

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK PAVING
BLOCK BERBAHAN OFF-SPEK ABU ENDAPAN DAN ABU
TEBANG**

***EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL BEHAVIOR OF
PAVING BLOCK CONTAINING OFF-SPECT BATTOM ASH
AND FLY ASH***

**EHRUL ERIADARMA TIMANG PALEMBANGAN
D011 18 1333**



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

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK BERBAHAN OFF-SPEK ABU ENDAPAN DAN ABU TEBANG

Disusun dan diajukan oleh:

EHRUL ERIADARMA TIMANG PALEMBANGAN

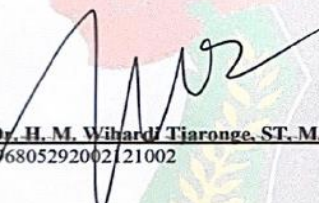
D011 18 1333


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 09 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I

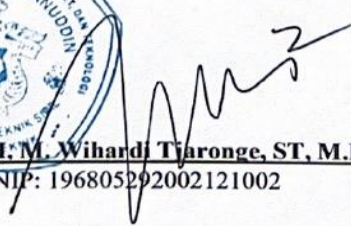
Pembimbing II


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


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

Ketua Program Studi,




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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Ehrul Eriadarma T P, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul ” **Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Paving Block Berbahan off-spek Abu Endapan Dan Abu Terbang**”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 6 April 2022



Yang membuat pernyataan,

EHRUL ERIADARMA T P
NIM: D111 18 1333

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 "**Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Paving Block Berbahan Off-Spek Abu Endapan Dan Abu Terbang**" 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. Teman-teman yang saya banggakan dan saya kasihi di **Laboratorium Riset Eco Material** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman **asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** Bersama kakanda hasan yang senantiasa membantu dalam pengujian sampel yang selalu menyemangati dalam pembuatan tugas akhir ini.
4. Anak-anak **se-Transisi 2019** dan **Level Up, Pia Toraya, Fredy Bonggatasik, pia ponsur** 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, 8 April 2022

Penulis

ABSTRAK

Untuk mengantisipasi ke butuhan energi yang semakin meningkat pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 yang mengandung Rencana Umum Energi Nasional yang di terapkan pada tahun 2017-2025. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah merencanakan untuk mengembangkan energi listrik sebesar 135,5 GW dimana 30% dari energi tersebut akan dihasilkan dari pembakaran batubara. Dalam beberapa dekate terakhir kebutuhan energi listrik di Indonesia sangat banyak disuplai oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang sumber bahan bakar utamanya adalah batubara yang telah mengalami pembakaran.

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 hidrolik semacam air dan agregat halus .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan, menganalisis berat volume paving block, menganalisis kuat lentur dan menganalisis pengujian kecepatan denyut ultrasonik pada paving block menggunakan Fly Ash dan Bottom Ash sebagai pengganti semen dan batu. Abu. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin PT. Citra Permai Makassar dan Laboratorium PT. Bosowa dengan masa penelitian selama 4 bulan dimulai dari bulan Desember 2021 sampai dengan Maret 2022. Berat volume pada paving block umur 28 hari dan 90 hari mengalami penurunan dari masing-masing variasi.

Berdasarkan hasil penelitian Pemeriksaan berat volume berbentuk kubus dimana pada variasi control terjadi penurunan sebesar nilai berat volume sebesar 7,61 %, pada variasi 100% *Bottom Ash* I terjadi penurunan sebesar 5,93 %, pada variasi 30% *Fly ash* : 100% *Bottom Ash* I terjadi penurunan sebesar 3,68 %, dan pada variasi 100% *Bottom Ash* II terjadi penurunan sebesar 13,32 % . pada variasi 30% *Fly ash* : 100% *Bottom Ash* I didapati kecepatan rata-ratanya sebesar 3,30 km/s dan pada variasi 100% *Bottom Ash* II didapati kecepatan rata-ratanya sebesar 2,93 km/s. penyusunnya lebih kuat sehingga menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi pada variasi 100% *Bottom Ash* I. Peningkatan nilai kuat tekan terbesar terdapat pada variasi control dengan sebesar 18,64%. Peningkatan nilai kuat lentur terbesar terdapat pada variasi 30% fly ash : 100% *Bottom Ash* I dengan sebesar 38,64% .

ABSTRACT

To anticipate the increasing demand for energy, the government has issued Presidential Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2017 which contains the General National Energy Plan which will be implemented in 2017-2025. Based on this, the government plans to develop electrical energy of 135.5 GW of which 30% of the energy will be generated from coal combustion. In recent years, the demand for electrical energy in Indonesia has been largely supplied by steam power plants (PLTU), whose main fuel source is coal which has been burnt.

Paving block is a construction material mainly used in roads, driveways, sidewalks, garages and parking lots. The Indonesian National Standard (SNI) 03-0691-1996 defines paving block as a composite material made of Portland material, cement or hydraulic adhesives such as water and fine aggregate.

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 location of the research was carried out at the Structure and Materials Laboratory of the 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.

Based on the results of the study, the volume weight examination is in the form of a cube where in the control variation there is a decrease in the volume weight value of 7.61%, in the 100% Bottom Ash I variation there is a decrease of 5.93%, in the 30% variation Fly ash: 100% Bottom Ash I there is a decrease of 3.68%, and in the variation of 100% Bottom Ash II there is a decrease of 13.32%. in the variation of 30% Fly ash: 100% Bottom Ash I, the average speed is 3.30 km/s and in the 100% Bottom Ash II variation, the average speed is 2.93 km/s. the composition is stronger so that it produces a high compressive strength value at the 100% Bottom Ash I variation. The largest increase in the compressive strength value is found in the control variation with 18.64%. The biggest increase in flexural strength value is found in the variation of 30% fly ash: 100% Bottom Ash I with 38.64%.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
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>)	25
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.....	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran.....	65
UCAPAN TERIMA KASIH.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar.1 Aplikasi Penggunaan <i>Paving block</i> Di Lapangan	16
Gambar 2. Diagram Balok Terbentuknya <i>Fly Ash</i>	24
Gambar 3. Penhujian 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 <i>UPV Test</i>	36
Gambar 7. Flowchart Pengujian	39
Gambar 8. Material Campuran <i>Paving block</i>	41
Gambar 9. Proses <i>Curing</i> Benda Uji	46
Gambar 10. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving block</i>	47
Gambar 11. Pengujian Kuat Lentur Pada <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.....	53
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> (ASTM C618-03)	26
Tabel 3. Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> (ASTM C618-03)	27
Tabel 4. Sifat Fisik Khas <i>Bottom Ash</i>	28
Tabel 5. Klasifikasi Kualitas Beton Berdasar-kan 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 15. Rancangan campuran <i>paving block</i> dalam 1m ³	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

untuk mengantisipasi ke butuhan energi yang semakin meningkat pemerintah telah menerbitkan. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 yang mengandung Rencana Umum Energi Nasional yang di terapkan pada tahun 2017-2025. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah merencanakan untuk mengembangkan energi listrik sebesar 135,5 GW dimana 30% dari energi tersebut akan dihasilkan dari pembakaran batubara. Dalam beberapa dekate terakhir kebutuhan energi listrik di Indonesia sangat banyak disuplai oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang sumber bahan bakar utamanya adalah batubara.

Tingginya konsumsi batu bara menyebabkan kapasitas FABA yang dihasilkan oleh PLTU menjadi sangat banyak. Pemanfaatan FABA di Indonesia baru mencapai 0-0,96% untuk *Fly ash* dan 0,05- 1,98% untuk Bottom Ash karena hanya beberapa PLTU nasional yang telah mengantongi izin pemanfaatan. FABA yang dihasilkan PLTU menumpuk di tempat penyimpanan yang tanpa mengikuti kriteria penyimpanan limbah B3. FABA yang tidak dikelola dengan baik ini justru dinilai lebih berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat di sekitar PLTU. Tumpukan FABA yang tidak terlindungi matahari, angin, dan hujan, memungkinkan FABA termobilisasi ke media lingkungan dan memapar manusia yang berada di sekitar PLTU.

Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus. *Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan, dan mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3) dan unsur tambahan lain. Penggunaan batubara sebagai sumber energi akan menghasilkan abu yaitu berupa abu layang (*Fly ash*) maupun abu dasar (Bottom Ash). Kandungan abu layang sebesar 84 % dari total abu batubara. Produksi abu layang batubara dunia yang diperkirakan tidak kurang dari 500 juta ton per tahun dan ini diperkirakan akan bertambah. Hanya 15 % dari produksi abu layang yang digunakan. *Fly ash* (FA) dan Bottom Ash (BA) dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU yang tersusun oleh komponen organik dan inorganik berukuran halus.

Bottom Ash batubara 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 dan terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai.

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 hidrolik 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 mortar, beton dan *paving block* dapat secara signifikan mengurangi Emisi CO₂ dari produksi semen, yang menghasilkan 0,9 ton CO₂ untuk setiap 1,0 ton semen . Sekitar 8% dari total emisi CO₂ 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 dapat mengetahui nilai kuat tekan dari berbagai macam variasi perbandingan campuran *paving block* , mengetahui nilai kuat lentur dari berbagai macam variasi campuran *paving block* , untuk mengetahui nilai *ultrasonic pulse velocity* pada tiap-tiap variasi pada campuran *paving block* , dan untuk mengetahui nilai berta jenis yang terdapat pada setiap variasi campuran *paving block* .

“STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK

BERBAHAN OFF-SPEK ABU ENDAPAN DAN ABU TEBANG”

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu terhadap nilai kuat tekan ?
2. Bagaimana berat volume *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu ?
3. Bagaimana pengaruh *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu terhadap nilai kuat lentur ?
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. Menganalisis berat volume paving block yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu.
2. Untuk menganalisis cepat rambat gelombang paving block yang berbahan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu menggunakan alat *ultrasonic pulse velocity test* pada *paving block*.

3. Untuk menganalisis besar nilai kuat tekan *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu.
4. Untuk menganalisis kuat lentur pada *paving block* yang menggunakan *Fly ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu .

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui nilai kuat lentur, kuat tekan ,berat volume 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 pembahasan diatas ditetapkan batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengujian kuat lentur, kuat tekan , berat volume dan *ultrasonic pulse velocity test* dilaksanakan pada umur 28 hari dan 90 hari .
2. Perawatan benda uji dengan dilakukan penyiraman pada sampel selama 14 hari dan di simpan di tempat yang teduh .

3. Pada *Fly ash* dan *Bottom Ash* yang digunakan sebagai pengganti 100% semen dan abu batu pada campuran *paving block* .
4. Untuk pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.
5. Pada semen yang digunakan adalah salah satu jenis semen campuran (*blended cement*), yaitu semen Portland Komposit (PCC).

F. Sistematika Penulisan

Untuk lebih terarah penulisan tugas akhir, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai 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

Sesudah pengujian dilakukan penyusunan 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

Mahdi Rafieizonooz dkk, (2016) Limbah yang terdiri dari abu dasar dan abu terbang. Menggunakan kembali limbah tersebut yang jika tidak dikirim ke tempat pembuangan sampah adalah pilihan yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, Tujuan utama dari studi penelitian ini adalah untuk menyelidiki penggunaannya dalam beton untuk menggantikan pasir dengan bagian bawah limbah abu dan semen dengan abu terbang. Spesimen beton disiapkan dengan menggabungkan 0, 20, 50, 75 dan 100% abu dasar menggantikan pasir dan 20% abu terbang batubara berdasarkan massa, sebagai pengganti Biasa semen portland. Sifat keadaan segar dan mengeras dari spesimen eksperimental ditentukan. Hasil menunjukkan bahwa kemampuan kerja beton berkurang ketika kadar abu dasar meningkat menggantikan pasir. Di sisi lain, pada usia awal 28 hari, tidak ada efek signifikan yang diamati pada gaya tekan, lentur dan kekuatan tarik semua sampel beton. Setelah perawatan pada umur 91 dan 180 hari, kuat tekan sampel beton eksperimen dan kontrol meningkat secara signifikan tetapi tetap hampir serupa. Namun, kekuatan tarik lentur dan pecah dari campuran eksperimental yang mengandung 75% abu dasar dan 20% fly ash melebihi lebih dari sampel kontrol. Selain itu, susut pengeringan campuran beton percobaan yang mengandung 50%, 75% dan 100% abu dasar dan 20% abu terbang lebih rendah daripada

campuran kontrol. Disimpulkan bahwa campuran beton eksperimental tersebut dapat digunakan pada beberapa struktur (pondasi, sub-base, trotoar, dll) yang akan meminimalkan biaya, energi dan masalah lingkungan untuk sebagian besar. Uygunolu dkk, (2012) membahas pengaruh kadar abu terbang dan penggantian agregat batu pasir pecah dengan beton limbah dan limbah marmer di blok beton (paving block) pra-fabrikasi. Penelitian tersebut membandingkan sifat-sifat pra-pabrikasi 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.

Avdeep Singh Dkk (2019) Coal bottom ash (CBA) adalah produk sampingan dari industri batu bara dan sebagian besar dihasilkan dari pembakaran batu bara pembangkit listrik termal. Pemanfaatan CBA dalam pembuatan beton menawarkan ekonomi dan cara ekologis pembuangannya. Secara bersamaan, penggunaannya melestarikan sumber daya alam dan mempromosikan keberlanjutan. Artikel ulasan ini berfokus pada pemanfaatan CBA yang digabungkan sebagai

pengganti Portland Semen (PC) digunakan dalam pembuatan beton. Pengurangan ukuran partikel CBA menyebabkan peningkatan di area permukaan sementara penggabungannya sebagai penggantian sebagian dari umpan balik PC dalam kekuatan yang ditingkatkan, daya tahan dan fitur mikrostruktur beton. Studi yang terkait dengan penggunaan CBA langka di kuantum sampai saat ini di mana berbagai sifat beton telah diselidiki. Sejak daerah saat ini membutuhkan lebih banyak perhatian karena sebagian besar investigasi lebih menyukai penggunaan CBA sebagai pengganti sebagian dari PC sedangkan beberapa dari mereka telah melaporkan menentang penggunaannya. Penyelidikan saat ini meninjau sifat segar, mekanis, daya tahan dan karakteristik mikro dari beton yang dibuat dengan penggabungan sebagian dari CBA. Literatur menunjukkan bahwa CBA memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan sebagai pengganti PC untuk beton kelas struktural.

(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.

Avdeep Singh Dkk (2019) Coal bottom ash (CBA) adalah produk sampingan dari industri batu bara dan sebagian besar dihasilkan dari pembakaran batu bara pembangkit listrik termal. Pemanfaatan CBA dalam pembuatan beton menawarkan ekonomi dan cara ekologis pembuangannya. Secara bersamaan, penggunaannya melestarikan sumber daya alam dan mempromosikan keberlanjutan. Artikel ulasan ini berfokus pada pemanfaatan CBA yang digabungkan sebagai pengganti Portland Semen (PC) digunakan dalam pembuatan beton. Pengurangan ukuran partikel CBA menyebabkan peningkatan di area

permukaan sementara penggabungannya sebagai penggantian sebagian dari umpan balik PC dalam kekuatan yang ditingkatkan, daya tahan dan fitur mikrostruktur beton. Studi yang terkait dengan penggunaan CBA langka di kuantum sampai saat ini di mana berbagai sifat beton telah diselidiki. Sejak daerah saat ini membutuhkan lebih banyak perhatian karena sebagian besar investigasi lebih menyukai penggunaan CBA sebagai pengganti sebagian dari PC sedangkan beberapa dari mereka telah melaporkan menentang penggunaannya. Penyelidikan saat ini meninjau sifat segar, mekanis, daya tahan dan karakteristik mikro dari beton yang dibuat dengan penggabungan sebagian dari CBA. Literatur menunjukkan bahwa CBA memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan sebagai pengganti PC untuk beton kelas struktural.

Ampol Wongsu (2015) agregat dipelajari. Larutan natrium silikat (NS) dan natrium hidroksida 10 M (NH) digunakan sebagai: aktivator alkali. Rasio NS/NH sebesar 0,5, 1,0, dan 1,5 dengan rasio cair/abu (L/A) sebesar 0,70, 0,75, dan 0,80 digunakan. tekankekuatan tarik membelah, ketahanan abrasi permukaan, kepadatan, konduktivitas termal, dan kecepatan pulsa ultrasonik (UPV) beton diuji. Hasil yang ditunjukkan bahwa fly ash dan bottom ash dapat digunakan untuk menghasilkan LWGC dengan kuat tekan 14,3–18,1 MPa, kekuatan tarik membelah 1,2–2,0 MPa, dan densitas 1661–1688 kg/m³. termal mereka koefisien konduktivitas 0,43–0,47 W/m K lebih rendah dibandingkan

beton geopolimer yang mengandung agregat alam. LWGCs dalam penelitian ini dengan demikian dapat digunakan untuk beton kekuatan sedang dan beton isolasi termal.

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^2 bergantung pada 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 Abu Batu

Abu batu adalah hasil sampingan dari pabrik 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.2 Semen

Semen merupakan zat yang digunakan untuk perekat batu, bata, batako, maupun bahan bangunan lainnya atau bahan pengikat hidrolik, 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 – samadengan 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/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO₂) – dari lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

C.2.1 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 karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran.

b. Super Masonry Cement

Digunakan lebih tepat 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.

c. Oil Well Cement

Adalah semen khusus yang lebih tepat digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi dan gas alam dengan konstruksi sumur minyakbawah 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.2.2 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 sulfat 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, sehinggadapat 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.3 Abu Terbang (*Fly ash*)

Fly ash atau abu terbang adalah salah satu hasil 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 hidrolis. 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.

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 (SiO_2) dan aluminium oksida (Al_2O_3) yang reaktif. Sisanya mengandung besi oksida (Fe_2O_3) dan senyawa lainnya. Kandungan kalsium oksida reaktif (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 (CaO), reaktif silikon dioksida (SiO₂) dan aluminium oksida (Al₂O₃). Sisanya mengandung besi oksida (Fe₂O₃) 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 µm 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 SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ 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,% ^A	34	34	34
<i>Strength activity index:^B</i>			
With portland cement, at 7 days min, percent of control	75 ^c	75 ^c	75 ^c
With portland cement, at 28 days min, percent of control	75 ^c	75 ^c	75 ^c
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_2) plus <i>aluminium oxide</i> (Al_2O_3) plus <i>iron oxide</i> (Fe_2O_3), min, %	70	70	50
<i>Sulfur trioxide</i> (SO_3), maks, %	4,0	5,0	5,0
Moisture, 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
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayak)	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%)

Spesifik gravitasi	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Spesifik gravitasi	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	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 mortar 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 mortar adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan mortar dengan kekuatan lebih dari 90% dari mortar

yang memakai air suling (ACI 318-83). Berdasarkan SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan sebagai pencampur mortar tidak dapat diminum dan tidak boleh digunakan pada adukan mortar kecuali pemilihan proporsi campuran mortar harus didasarkan pada campuran mortar 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 khlorida (Cl) tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO₃;

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.

A. 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 σ_c adalah kuat tekan (N/mm²), P adalah beban runtuh benda uji (N), dan A adalah luas permukaan benda uji(mm²).



Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan *Paving block*

B. 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 :

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

dimana σ_f adalah kuat lentur (N/mm^2), 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*

C. Berat Volume

Untuk pengujian berat volume beton terbagi atas dua cara, yaitu 1 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 :

1. Dengan pengukuran berat dan volume
 - 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 :

γ : berat volume (gr / cm³)

w : berat sampel beton (gram)

v : volume sampel beton (cm³)

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*

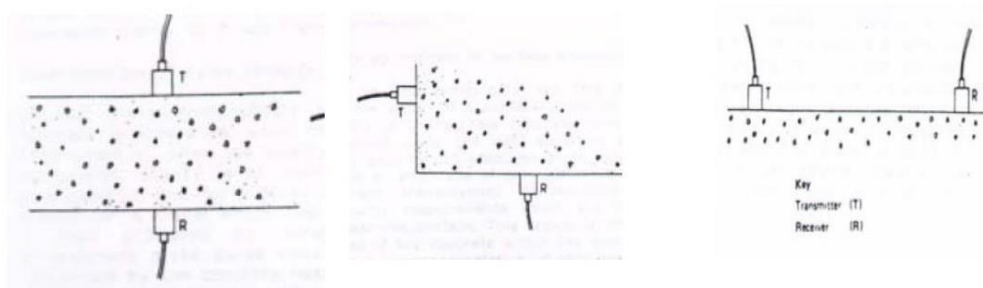
D. Ultrasonic Pulse Velocity

Dari beberapa metode pengujian untuk cara 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. Ada tiga cara untuk mengetahui Tes *UPV* yaitu: (1) cara langsung, (2) cara tidak langsung, (3) cara tidak langsung contoh pada **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

Kecepatan Gelombang		
Longitudinal		Kualitias Beton
Km/(detik.10 ³)	Ft/detik	
>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)