

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PERENDAMAN NATRIUM SULFAT TERHADAP
PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK**

***THE EFFECT OF NATRIUM SULFATE SUBMERSION
AGAINST MECHANICAL BEHAVIOR OF PAVING BLOCK***

THEO HERYANTO SEMUEL

D011 17 1303



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


LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**PENGARUH PERENDAMAN NATRIUM SULFAT TERHADAP PERILAKU
MEKANIK PAVING BLOCK****Disusun dan diajukan oleh:****THEO HERYANTO SEMUEL****D011 17 1303**

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. Wiharidi Tiaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Theo Heryanto Samuel
Nim : D011 17 1303
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul :

**PENGARUH PERENDAMAN NATRIUM SULFAT TERHADAP
PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK**

Adalah karya tulisan saya 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, 20 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,

A 10000 Rupiah Indonesian postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and '51EAJX919374277'.

Theo Heryanto Samuel
NIM: D011 17 1303

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 **“PENGARUH PERENDAMAN NATRIUM SULFAT TERHADAP PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK”** 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 Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, 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. 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 ayahanda **Semuel, SE** dan ibunda **Fince Lalong, SE** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Adik tercinta **Kristin** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. Pacar Terkasih **Hesti Linggalo, SE** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
4. Seluruh rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

5. Saudara-saudari **Plastis 2018** 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, 20 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 menentukan besar nilai kuat tekan, menganalisis berat volume *paving block*, 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, dan PT. Cahaya Surya Persada dengan rentang waktu penelitian selama 1 bulan dimulai dari April 2022 sampai dengan Mei 2022.

Berat volume pada *paving block curing Asam Sulfat dan Udara yang* dimulai dari siklus perendaman 1 hari sampai dengan siklus perendaman 16 hari dan siklus udara 1 hari sampai dengan siklus udara 16 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi. Dimana presentasi peningkatan terbesar pada variasi rendaman asam sulfat terdapat pada variasi 100% *Bottom Ash I* yaitu sebesar 3,26 %, sedangkan presentasi peningkatan terbesar pada variasi curing udara terdapat pada variasi 100% *Bottom Ash II* yaitu sebesar 1,24 %. Nilai kuat tekan pada *paving block* siklus 16 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi Dimana presentasi peningkatan nilai kuat tekan maksimum terdapat pada variasi Control yaitu sebesar 35,69 %. *Ultrasonic Pulse Velocity Test* pada setiap variasi campuran *paving block* berbanding lurus dengan nilai kuat tekan *paving block*.

ABSTRACT

Around 80-90% Fly Ash (fly ash) and 10-20% Bottom Ash (base 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, 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, and PT. Cahaya Surya Persada with a research period of 1 month starting from April 2022 to May 2022.

The volume weight of the sulfuric acid curing and air curing paving blocks starting from submersion cycle 1 day to submersion cycle 16 day and air cycle 1 day to air cycle 16 day has increased from each variation. Where the presentation of the largest increase in the variation of sulfuric acid bath was found in the 100% Bottom Ash I variation, which was 3.26%, while the largest increase in the air curing variation was found in the 100% Bottom Ash II variation, which was 1.24%. The value of the compressive strength of the 16-day cycle paving block has increased from each variation. Where the percentage increase in the maximum compressive strength value is found in the Control variation, which is 35.69%. 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	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian.....	7
E. Batasan Masalah	7
F. Sistematika Penulisan.....	8

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Penelitian Terdahulu.....	10
B. Teori dan Aplikasi Paving block.....	17
C. Teori dan Aplikasi Natrium Sulfat.....	20
C.1 Pengaruh Sulfat Terhadap Beton.....	20
C.2 Sumber-Sumber Sulfat.....	20
C.3 Mekanisme Serangan Sulfat Pada Beton.....	21
C.4 Faktor Utama Yang Mempengaruhi Serangan Sulfat.....	21
C.5 Faktor Yang Mempengaruhi Ketahanan Beton Terhadap Sulfat.....	22
D. Material Penyusun Paving block.....	25
D.1 Semen Portland (Portland Cement).....	25
D.1.1 Jenis-Jenis Semen.....	27
D.1.2 Tipe-Tipe Semen.....	28
D.2. Abu Batu.....	30
D.3 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	31
D.3.1 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>) Jenis Siliceous.....	32
D.3.2 Abu Terbang Berkapur (<i>Calcareous Fly Ash</i>).....	33
D.3.3 Kategori abu terbang (<i>Fly Ash</i>).....	33
D.4 Abu Endapan (<i>Bottom Ash</i>).....	35

D.5. Air	37
D.5.1 Spesifikasi Air Sabagai Bahan Bangunan	38
E. Kuat Tekan	39
F. Berat Volume	40
G. Ultrasonic Pulse Velocity	41
H. Pengujian ketahanan terhadap <i>Natrium Sulfat</i>	44
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	45
A. Prosedur Penelitian	45
B. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	47
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	47
D. Alat dan Bahan Penelitian	47
E. Pemeriksaan Karakteristik Material	50
E.1 Abu Batu	50
E.2 Abu Endapan (Bottom Ash)	50
E.3 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	51
F. Pembuatan Benda Uji.....	51
G. Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	53
H. Pengujian Kuat Tekan.....	54
I. Pengujian ketahanan terhadap <i>Natrium Sulfat</i>	55
J. Ultrasonic Pulse Velocity Test.....	57

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	59
A. Karakteristik Material.....	59
A.1 Agregat Halus (Abu Batu)	59
A.2 Fly Ash (FA).....	60
A.3 Bottom Ash (BA).....	62
A.4 Semen	64
A.5 Natrium Sulfat	65
B. Rancangan Campuran <i>Paving block</i>.....	65
C. Berat volume <i>Paving block</i>	66
C.1 Berat volume Berbentuk Kubus Pada <i>Paving block</i> Kendari curing Asam Sulfat dan Udara.....	66
C.2 Berat volume Berbentuk Kubus Pada <i>Paving block</i> Ampana curing Asam Sulfat dan UDARA	69
D. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	72
D.1 Pengujian Kuat Tekan <i>Paving block</i> Kendari Curing Asam Sulfat dan Udara	72
D.2 Pengujian Kuat Tekan <i>Paving block</i> Ampana Curing Asam Sulfat dan Udara	74
E. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity <i>Paving Block</i>	76
E.1. Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV) pada Kendari Curing Asam Sulfat dan Udara	76

E.2 Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV) pada Ampa Curing Asam Sulfat dan Udara	79
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	83
A. Kesimpulan.....	83
B. Saran	84
UCAPAN TERIMA KASIH.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1 Aplikasi Penggunaan Paving block Di Lapangan	20
Gambar. 2 Diagram Balok Terbentuknya Fly Ash	32
Gambar. 3 Pengujian Kuat Tekan Paving block	40
Gambar. 4 Pengujian Berat Volume Paving block	41
Gambar. 5 Cara Pengukuran UPV Test	43
Gambar. 6 Flowchart Pengujian	46
Gambar. 7 Material Campuran Paving Block.....	49
Gambar. 8 Proses Curing Benda Uji	53
Gambar. 9 Pengujian Kuat Tekan Pada Paving block.....	55
Gambar. 10 Sampel Benda Uji dengan ukuran 10 x 10.....	57
Gambar. 11 Alat UPV yang digunakan	58
Gambar. 12 Metode Pengujian dengan 1 titik.....	58
Gambar. 13 Morfologi FA	62
Gambar. 14 Morfologi BA.....	63
Gambar. 15 Grafik Kendari Siklus 1 – 16	69
Gambar. 16 Grafik Ampana Siklus 1 – 16.....	71
Gambar. 17 Grafik Nilai Kuat Tekan Kendari	73
Gambar. 18 Grafik Nilai Kuat Tekan Ampana	75
Gambar. 19 Grafik Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test Kendari	79
Gambar. 20 Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test Ampana.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tipe-Tipe <i>Paving block</i>	18
Tabel 2. Sifat-sifat Fisik Natrium Sulfat Anhidrat dan Dekahidrat	25
Tabel 3. Karakteristik Fisik <i>Fly Ash</i> (ASTM C618-03).....	34
Tabel 4. Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> (ASTM C618-03)	35
Tabel 5. Sifat Fisik Khas <i>Bottom Ash</i>	36
Tabel 6. Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang	43
Tabel 7. Pemeriksaan karakteristik abu batu.....	50
Tabel 8. Pemeriksaan karakteristik abu endapan	51
Tabel 9. Pemeriksaan karakteristik abu terbang	51
Tabel 10. Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu	59
Tabel 11. Hasil pengujian Karakteristik fisik <i>Fly Ash</i>	60
Tabel 12. Komposisi kimia <i>Fly Ash</i>	61
Tabel 13. Komposisi kimia <i>Bottom Ash</i>	63
Tabel 14. Hasil pengujian karakteristik <i>Bottom Ash</i>	64
Tabel 15. Komposisi Kimia Pada Semen	64
Tabel 16. Perhitungan Volume Asam Sulfat	65
Tabel 17. Rancangan campuran <i>paving block</i> dalam 1m ³	66
Tabel 18. Berat Volume <i>Paving Block</i> Kendari Curring Asam Sulfat dan Udara	68

Tabel 19. Berat Volume <i>Paving Block</i> Ampana Curring Asam Sulfat dan Udara	71
Tabel 20. Hasil Pengujian Kuat Tekan Kendari	73
Tabel 21. Nilai Pengujian Kuat Tekan Ampana.....	75
Tabel 22. Nilai Ultrasonic Pulse Velocity Kendari Asam Sulfat dan Udara.....	78
Tabel 23. Nilai Ultrasonic Pulse Velocity Ampana Asam Sulfat dan Udara.....	81

BAB I 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 mortar sekitar 65% - 75% total volume. Sehingga penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti pasir dapat mengurangi tumpukan limbah tersebut di PLTU.

Seiring dengan bertambahnya penduduk Indonesia maka semakin banyak pula produk-produk yang harus disediakan untuk memenuhi kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari. Industri yang memenuhi kebutuhan - kebutuhan tersebut antara lain industri pulp dan kertas, deterjen, pembuatan flat glass, tekstil, keramik, farmasi, zat pewarna, dan lain sebagainya. Natrium sulfat banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri tersebut. Natrium Sulfat (Na_2SO_4) adalah hasil garam natrium dari asam sulfur (H_2SO_4) dan sulfat (NaCl), senyawa ini dipakai sebagai campuran antara lain untuk pembuatan detergen, sampo serta pembuatan sabun, fungsi natrium sulfat (Na_2SO_4) sendiripada proses pembuatan detergen, sampo dan sabun adalah untuk mempercepat pencampuran dan kelarutan bahan yang lain, selain itu natrium sulfat (Na_2SO_4) juga berfungsi untuk mempercepat pengangkatan kotoran dan juga sebagai pengental. Akan tetapi apabila penggunaan natrium sulfat (Na_2SO_4) terlalu banyak akan memberikan efek negatif bagi penggunaanya seperti kulit menjadi kering, mudah terkena iritasi dan kulit terasa panas

(Eric Schweiger, M.D 2018). Penggunaan natrium sulfat (Na_2SO_4) ini harus diperhatikan karena apabila digunakan lebih dari 4 % maka dapat menimbulkan iritasi dan kulit terasa panas (William dan Schmitt 2014).

Natrium Sulfate (Na_2SO_4) merupakan salah satu bahan yang sangat diperlukan sebagai produk hulu. Natrium sulfat (Na_2SO_4) banyak digunakan sebagai salah satu bahan pembuat kertas, deterjen, gelas dan

lain-lain. Natrium sulfat (Na_2SO_4) pada zaman dahulu dapat diperoleh dari danau yang ada di Amerika. Selain itu dapat diperoleh dengan mereaksikan senyawa natrium dengan asam sulfat, misalnya NaCl dan H_2SO_4 . Yang merupakan senyawa natrium yang pertama kali ditemukan oleh Sir Humphry pada tahun 1807. Senyawa natrium di alam terdapat banyak dalam jumlah yang berlimpah dan dalam bentuk yang alami, Misalnya NaCl dalam air laut, NaNO_3 di Chili dan Peru, Na_2CO_3 di Australia dan Afrika Timur, Borak ($\text{Na}_2\text{BO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) di Indi, Tibet dan California.

Pengolahan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) dari air danau (Searles Lake) yang berasal dari California ini dimulai pada tahun 1916 sebagai hasil samping pembuatan KCl , sedangkan yang berasal dari batuan (mineral) diproduksi secara besar-besaran pada tahun 1980. Pada tahun 1884 telah dikembangkan proses *kraft paper pulp*, Pengembangan ini menjadikan Natrium sulfat (Na_2SO_4) merupakan bahan yang sangat penting. Penelitian dan pengembangan sodium sulfat dari tahun ke tahun semakin maju dan berkembang dan telah dilakukan penyempurnaan dalam pembuatannya sehingga banyak dikenal metode proses pembuatannya. Pada pabrik - pabrik kertas yang banyak memakai kraft maka banyak pula Natrium sulfat (Na_2SO_4) yang digunakan. Sebagian besar dari produk natrium sulfat (Na_2SO_4) dipergunakan untuk pabrik kertas dengan proses kraft

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 mortar, beton dan *paving block* dapat secara signifikan mengurangi Emisi CO_2 dari produksi semen, yang menghasilkan 0,9 ton CO_2 untuk setiap 1,0 ton semen . Sekitar 8% dari total emisi CO_2 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 kuat tekan dari berbagai macam variasi perbandingan campuran paving block, untuk mengetahui nilai *ultrasonic pulse velocity* pada tiap-tiap variasi pada campuran *paving block* , dan untuk mengetahui nilai berat jenis yang terdapat pada setiap variasi campuran *paving block*.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

**“ PENGARUH PERENDAMAN NATRIUM SULFAT TERHADAP
PERILAKU MEKANIK PAVING BLOCK “**

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 tekan ?
3. 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 tekan pada *paving block* yang menggunakan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai pengganti semen dan abu batu .
3. 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 berat volume, 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. Rendaman Air yang digunakan merupakan cairan natrium sulfat (Na_2SO_4) dengan Nilai pH untuk larutan Na_2SO_4 5 % adalah 7,45.

4. Penelitian menggunakan benda uji berbentuk kubus
10 cm x 10 cm
5. *Ultrasonic pulse velocity test* dilaksanakan pada umur 5 hari, 10 hari dan 15 hari
6. Perawatan benda uji dilakukan dengan pendinginan pada sampel dengan total jangka waktu 3 jam dan dilakukan secara berulang selama 16 hari
7. Perawatan benda uji dengan dua kondisi yaitu dengan curing air natrium sulfat dan curing udara
8. 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 konversasi 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 Jepara. Batubara yang digunakan untuk sumber energi akan menghasilkan residu berupa *Fly Ash* dan *Bottom Ash*. Di Indonesia khususnya di Jepara 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*

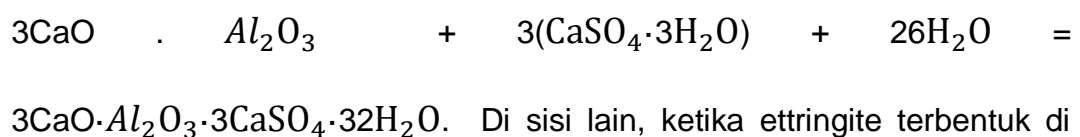
Ash : binder. Metode perbandingan komposisi campuran *paving block* diatur dengan mutu beton k 175 dan k 225 dengan memaksimalkan substitusi *Fly Ash* dan *Bottom Ash* pada campuran pembuatan *paving block*. Hasil yang diperoleh setelah pengujian selama 28 hari paving menggunakan polimer lebih tinggi 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.

(Vadim Turchin dkk, 2013) Korosi pada konstruksi bangunan dan material yang berbahan dasar semen menyebabkan penurunan sifat fisik kimianya sebagai hasil kristalisasi natrium sedikit larut yang meningkatkan benda padat. Selain itu, korosi juga merupakan kompleks proses kimia

dan fisika-kimia yang menyebabkan tekanan yang signifikan pada kapiler dan dinding pori, dan mereka juga mencegah pertumbuhan kristal. Akibatnya, tekanan ini menyebabkan kerusakan struktur. Ini adalah kristalisasi korosi. Selain itu, jenis korosi ini muncul selama sulfat berinteraksi, karena kerusakannya disebabkan oleh peningkatan jumlah kristal gipsum, serta ettringite dan thaumasite. Mereka percaya bahwa jika ettringite terbentuk dalam campuran yang baru dibuat dan ditata dengan cukup homogen, itu tidak dapat penyebab kerusakan material semen. Menurut Klasifikasi Internasional DEF, jenis ettringite ini adalah disebut Formasi Ettringite Awal atau EEF. Salah satu contoh pembentukan ettringit awal adalah reaksi antara kalsium sulfat dehidrasi dan trikalsium aluminat dengan air, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan. (1):



Di sisi lain, ketika ettringite terbentuk di batu semen yang mengeras, tidak ada bentangan homogen dalam struktur kaku. Inilah alasan munculnya jeda mikro dan berkembangnya proses pemecahan. Menurut International Klasifikasi ettringit jenis ini disebut Formasi Ettringit Terlambat atau Delayed Ettringite (DEF). Efek merusak yang dihasilkan setelah pembentukan ettringite tertunda tergantung pada tingkat konsentrasi reaktan pada bagian lokal dari struktur semen dan kristal sosok formasi baru. Selanjutnya, ada dua jenis ettringite tertunda. Itu tergantung pada apakah sulfat menyerang batu semen dari luar lingkungan, atau apakah mereka bertindak sebagai

sumber sulfat internal. Jenis pertama diakui secara internasional sebagai "Sulfat Eksternal Serang" (ESA). Tipe kedua adalah "Serangan Sulfat Internal" (ISA). Serangan sulfat eksternal berlangsung selama filtrasi lingkungan korosi di seluruh material. Serangan Sulfat Internal terjadi ketika media cairan non sulfat berinteraksi, asalkan bahan tersebut memiliki sumber sulfat internal seperti agregat yang mengandung sulfat tinggi atau agregat yang mengandung gipsum.

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 komplek 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/cm² 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. Teori dan Aplikasi Natrium Sulfat

C.1 Pengaruh Sulfat Terhadap Beton

Pada konstruksi beton bertulang, korosi sebenarnya tidak hanya terjadi pada baja tulangan, tapi juga terjadi pada bahan betonnya sendiri, terutama pada lingkungan agresif, yaitu lingkungan yang banyak mengandung unsur-unsur garam sulfat, klorida atau asam lainnya.

C.2 Sumber-Sumber Sulfat

Menurut Mishra (2010), sumber sulfat yang dapat mengakibatkan kerusakan pada beton adalah sebagai berikut:

1. Sumber Internal Meskipun jarang ditemukan, namun sulfat dapat berasal dari dalam beton itu sendiri, yaitu berasal dari bahan-bahan beton seperti semen hidrolis, fly ash, agregat, dan bahan lainnya.
2. Sumber Eksternal Sulfat memang umum terdapat pada tanah atau air tanah, atau juga berasal dari limbah industri yang ada di sekitar struktur beton tersebut.

C.3 Mekanisme Serangan Sulfat Pada Beton

Supartono (1996) mengatakan bahwa konstruksi beton yang dibangun dibawah tanah maupun di laut, lingkungannya dapat mengandung sodium, kalsium, magnesium klorida dan magnesium sulfat. Kalsium hidroksida atau kapur yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan sulfat dan air, kemudian menghasilkan kalsium sulfat atau gypsum. Terbentuknya kalsium sulfat ini bila kemudian keadaannya kering, gips akan membentuk kristalnya yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi sekitarnya sehingga terjadi pengrusakan pada sisi sekitar itu dan dapat terlihat pasta atau adukan betonnya merapuh. Bila setelah terbentuk gips keadaannya basah atau lembab maka gips akan bereaksi dengan C3A atau kalsium aluminat hidrat yang ada dalam beton membentuk garam kalsium sulfo aluminat atau sering disebut ettringite, yang mempunyai sifat mengembang. Karena pengembangan volume yang lebih besar yakni melampaui volume asalnya, maka proses kimiawi ini akan menimbulkan penggelembungan, retak-retak, dan terkelupasnya beton. Dengan keadaan beton yang demikian, maka kekuatan tekan hancurnya akan menurun. Selanjutnya kerusakan menjalar sampai ke dalam sehingga korosi menyerang tulangan.

C.4 Faktor Utama Yang Mempengaruhi Serangan Sulfat

Menurut Cement Concrete and Aggregates Australia (2002), dalam tingkat keparahan serangan sulfat pada beton tergantung pada beberapa faktor antara lain sebagai berikut.

1. Jenis sulfat, magnesium dan ammonium sulfat adalah yang paling merusak beton.
2. Konsentrasi sulfat, makin besar kadar sulfat maka akan lebih merusak beton.
3. Cara kontak antara sulfat dan beton. Pada kasus air yang mengalir, keparahan serangan sulfat makin meningkat. Serangan yang lebih intensif terjadi pada beton yang terkena siklus pembasahan dan pengeringan daripada beton yang terus menerus tenggelam dalam larutan sulfat.
4. Tekanan. Adanya tekanan dari luar beton cenderung memaksa larutan sulfat masuk ke beton mengakibatkan meningkatnya keparahan serangan sulfat.
5. Suhu. Seperti kebanyakan reaksi kimia lainnya, laju reaksi meningkat dengan suhu.
6. Keberadaan ion lain. Ion lain yang hadir dalam larutan sulfat mempengaruhi keparahan serangan. Misalnya sodium hidroksida dapat mengurangi ekspansi sulfat, sodium klorida dapat memperlambat pembentukan ettringite, dan magnesium klorida dapat mencegah terbentuknya ettringite secara sempurna.

C.5 Faktor Yang Mempengaruhi Ketahanan Beton Terhadap Sulfat

Serangan sulfat pada beton akan terjadi ketika larutan sulfat menembus dan bereaksi dengan beton, terutama dengan semen. Dengan demikian, faktor yang mempengaruhi ketahanan beton terhadap sulfat

tidak hanya pada apa yang mempengaruhi reaksi kimia dengan senyawa pada semen, tetapi juga pada apa yang mempengaruhi permeabilitas dan kualitas keseluruhan dari beton. Menurut Cement Concrete and Aggregates Australia (2002), faktor-faktor tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Jenis semen Jenis semen yang digunakan pada suatu campuran beton merupakan faktor yang mempengaruhi ketahanan beton terhadap sulfat. Semen portland yang mengandung trikalsium aluminat kurang dari 5 % diklasifikasikan sebagai semen yang tahan terhadap sulfat.
2. Kadar semen Tingkat kerusakan terhadap sulfat menurun seiring dengan bertambahnya kadar semen, bahkan pada beton yang terbuat dari semen Portland biasa. Dengan kata lain, untuk menghasilkan beton tahan sulfat, penggunaan semen tahan sulfat harus dikombinasikan dengan penggunaan kadar semen minimum.
3. Faktor Air Semen Apabila semua faktor lainnya dalam beton sama, material yang berkualitas bagus, proporsi campuran yang tepat dan pengerjaan baik, ketahanan terhadap sulfat meningkat seiring dengan penurunan nilai faktor air semen.
4. Bahan Tambahan Pemakaian bahan tambahan yang memiliki efek terhadap pengurangan faktor air semen atau meningkatkan kemampuan kerja beton dapat meningkatkan ketahanan beton pada sulfat, asalkan tidak digunakan untuk mengurangi kadar semen. Pemakaian bahan

tambahan yang mengandung kalsium klorida juga mempengaruhi ketahanan beton terhadap sulfat.

5. Pelaksanaan Pembangunan Pengecoran, pemadatan, dan perawatan beton merupakan faktor penting untuk memproduksi beton dengan permeabilitas yang rendah. Penambahan air selama pengecoran untuk mengurangi nilai slump atau untuk membantu selama proses finishing akhir akan mengganggu ketahanan beton terhadap sulfat. Pemadatan yang memadai dan perawatan yang tepat diperlukan untuk memproduksi beton padat dengan permeabilitas rendah. Membuat permukaan beton yang halus padat, bebas dari lubang dan cacat dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfat.
6. Desain dan Detail Beton Suatu struktur yang dirancang dengan detail yang menyediakan untuk penguatan yang memadai untuk meminimalkan retak atau untuk meminimalkan genangan penting untuk mengurangi intensitas serangan sulfat, sehingga meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfat.

Dari pembahasan di atas, dapat dikatakan bahwa ketahanan beton terhadap sulfat dapat ditingkatkan dengan membuat beton dengan permeabilitas rendah yang dibuat dari semen tahan sulfat, dengan nilai faktor air semen yang kecil, kadar semen yang cukup, dimana pengecoran, pemadatan dan perawatan yang dilakukan dengan baik pula. Berikut ini tabel sifat-sifat fisik dan kimia natrium sulfat anhidrat dan dekahidrat :

Tabel 2. Sifat-sifat Fisik Natrium Sulfat Anhidrat dan Dekahidrat

Sifat	Na_2SO_4	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Bentuk kristal	Rombik	Monoklinik
Ukuran kristal	Kristal / serbuk halus	Kristal butir / jarum kecil
Warna	Tak berwarna	Tak berwarna
Berat molekul (g/mol)	142,05	322,21
Berat jenis (g/mL)	2,671	1,464
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	888	32,4

D. Material Penyusun Paving block

D.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/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO_2) – dari lempung,
3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).

D.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.

D.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 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, 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.

D.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.

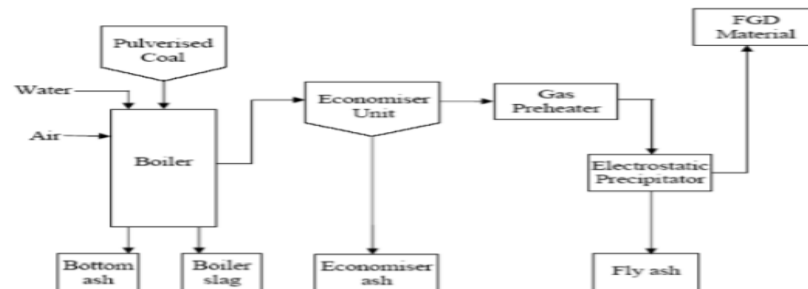
D.3 Abu Terbang (*Fly Ash*)

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 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.



Gambar. 2 Diagram Balok Terbentuknya Fly Ash

(Agus Suprihanto, 2006)

D.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.

D.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

D.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 3**. 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 3. 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°	75°	75°
With portland cement, at 28 days min, percent of control	75°	75°	75°
Water requirement, max,percent of control	115	105	105
<i>Soundness:</i>			
Autoclave expansion or cantraction, 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 4. Kandungan Kimia *Fly Ash* (ASTM C618-03)

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide</i> (SiO ₂) plus <i>aluminium oxide</i> (Al ₂ O ₃) plus <i>iron oxide</i> (Fe ₂ O 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

D.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 5**.

Tabel 5. 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).

D.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.

D.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 SO_3 ;

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.

E. 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

F. 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 :

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 :

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. 4 Pengujian Berat Volume Paving block

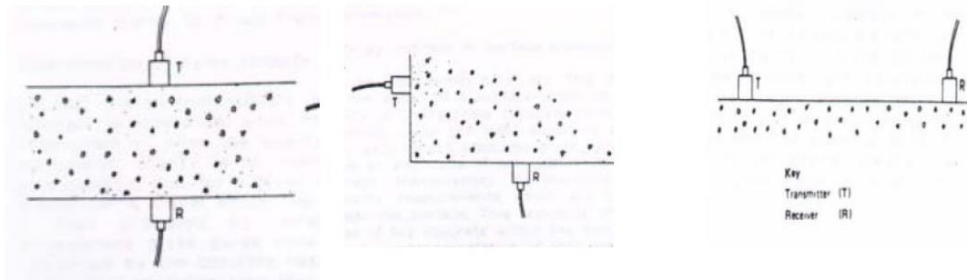
G. Ultrasonic Pulse Velocity

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 5.**



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

Gambar. 5 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 6. Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang

Kecepatan Gelombang Longitudinal		Kualitas Beton
Km/(detik.103)	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)*

H. Pengujian ketahanan terhadap *Natrium Sulfat*

Benda uji dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran yang melekat kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105° hingga beratnya tetap lalu di dinginkan. Uji ketahanan natrium sulfat dilakukan dengan cara merendam paving kedalam larutan garam natrium sulfat selama 8 sampai 16 jam kemudian paving dicuci dengan air bersih dan dikeringkan, setelah paving kering sampel lalu timbang lagi dan kemudian direndam kembali sampai berulang 5 kali untuk mengetahui ketahanan paving terhadap garam natrium sulfat apakah paving mengalami kerusakan atau masih utuh sesuai standar SNI-03-0691.

Untuk mempercepat proses pencucian dapat pula dilakukan pencucian dengan air panas pada suhu kurang lebih 40 - 50°C. Kemudian benda uji dikeringkan dalam oven Setelah dingin kemudian sampel di timbang sampai tingkat ketelitian 0,1 gram. Lalu amati keadaan sampel atau benda uji, apakah setelah perendaman nampak adanya retakan, gugusan ataupun cacat lainnya. Apabila selisih penimbangan sebelum dan sesudah perendaman tidak lebih besar dari 1% dan benda uji tidak cacat maka dapat dinyatakan bahwa benda uji tersebut baik dan sebaliknya