

SKRIPSI

**PERILAKU TEGANGAN-REGANGAN PAVING BLOCK
YANG MENGGUNAKAN ABU PEMBAKARAN DARI HASIL
PEMBAKARAN SAMPAH TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR**

***STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF PAVING BLOCKS USING
COMBUSTION ASH FROM BURNING WASTE AT FINAL
DISPOSAL SITES***

**KRISATYA DICKY PADOLO
D011 20 1147**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Perilaku Tegangan-Regangan Paving Block Yang Menggunakan Abu Pembakaran Dari Hasil Pembakaran Sampah Tempat Pembuangan Akhir

Disusun dan diajukan oleh

KRISATYA DICKY PADOLO
D011 20 1147

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 6 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Krisatya Dicky Padolo
NIM : D011 20 1147
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**{PERILAKU TEGANGAN-REGANGAN PAVING BLOCK YANG
MENGUNAKAN ABU PEMBAKARAN DARI HASIL PEMBAKARAN
SAMPAH TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR}**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Desember 2023

Yang Menyatakan,


Krisatya Dicky Padolo

KATA PENGANTAR

Terhadap segala proses yang dilalui, penulis mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, entah berapa banyak emosi yang terbuang, berapa banyak kekecewaan yang terpendam, berapa banyak harapan yang terenggam mengiringi hari-hari penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng.**, 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 II 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 I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudi Djamaluddin, S.T., M.Eng.** 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 yang telah membagikan ilmu dan mempelajari bagi penulis.

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.

Karya ini teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yang doa serta cintanya selalu menyertai langkah penulis. Untuk bapak terkasih, Dr. Amson Padolo, S.Sos., M.Si. yang telah menyayangi, mendidik, serta banyak mendukung penulis baik dalam kasih sayang maupun materi selama ini. Juga untuk mamaku tersayang, Marselina Palinggi yang telah melahirkan, menyayangi dan mendidik penulis selama ini.
2. Seluruh rumpun keluarga, terlebih khusus untuk Saudara-saudara penulis yaitu Kakak Saldy, Adek Angel, dan Adek Joice yang selalu mendoakan dan mendukung penulis dalam segala hal.
3. Teman kelas Internasional angkatan 20 satu-satunya Yaitu Pago Dwi Utomo Kalan yang selalu bersama-sama sejak semester 1 baik dalam suka dan duka masa-masa perkuliahan hingga saat ini, dan juga kepada Gloria Arianti Soraya Mangontan yang selalu membantu kami dalam suka duka perkuliahan hingga saat ini
4. Teman-teman SMA saya yaitu Pzqb'20 dan juga teman-teman perkuliahan saya IPK 4 serta teman-teman KMKO SIPIL 2020 yang selalu ada bersama-sama dan mendukung penulis hingga saat ini.
5. Saudara-saudariku Entitas 2021, Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 2020, yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan dalam proses perkuliahan. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*
6. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Riset Eco Material, yang senantiasa membantu dan mendukung dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Gowa, 17 Desember 2023

Penulis

ABSTRAK

KRISATYA DICKY PADOLO. *Perilaku Tegangan-Regangan Paving Block yang Menggunakan Abu Pembakaran dari Hasil Pembakaran Sampah Tempat Pembuangan Akhir* (dibimbing oleh Dr.Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng. dan Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.)

Sampah merupakan salah satu masalah terbesar yang dialami oleh setiap masyarakat. Salah satu Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terbesar di Indonesia adalah Tempat Pembuangan Akhir Tamangapa. TPA ini berdiri sejak tahun 1993 memiliki luas lahan sebesar 20,1 hektar sudah tidak mampu lagi untuk menampung jumlah sampah yang dihasilkan di Kota Makassar. Untuk menangani permasalahan sampah yang dangat menumpuk maka perlu dilakukan alternatif pengolahan yang benar salah satu nya dengan menggunakan teknologi pembakaran yang terkontrol atau insinerasi dengan menggunakan incinerator, reduksi volume residu yang tersisa (fly ash dan bottom ash) yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal salah satu nya dalam pembuatan paving block. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) serta perilaku tegangan-regangan pada paving block yang menggunakan abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan agustus sampai september 2023. Bahan penyusun paving block yaitu air, semen, abu pembakaran sampah, fly ash, pasir, abu batu. Rancangan campuran variasi yaitu control, STPA-100 dan STPA-200 sebagai filler serta STPA-Pan 20%, STPA-Pan 40%, STPA-Pan 60% sebagai pengganti semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan benda uji umur 28 hari variasi STPA-Pan 20% memenuhi klasifikasi mutu B, variasi STPA-Pan 40% memenuhi klasifikasi mutu C dan STPA-60%, STPA-100 dan STPA-200 memenuhi klasifikasi mutu D. Untuk pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), nilai kecepatan gelombang ultrasonik untuk benda uji pada umur 28 hari variasi STPA-100, STPA-200, STPA-PAN 20%, STPA-PAN 40%, STPA-PAN 60% secara berturut-turut ialah sebesar 2798 m/s, 2818 m/s, 3499 m/s, 3257 m/s, 2997 m/s.

Kata Kunci: Abu Pembakaran Sampah, Paving Block, Kuat Tekan, *UPV*, Tegangan-Regangan.

ABSTRACT

KRISATYA DICKY PADOLO. *Stress-Strain Behavior of Paving Blocks Using Combustion Ash from Burning of Final Disposal Waste* (supervised by Dr.Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng. and Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.)

Waste is one of the biggest problems experienced by every society. One of the largest final disposal sites (TPA) in Indonesia is the Tamangapa Final Disposal Site. This TPA was established in 1993 and has a land area of 20.1 hectares and is no longer able to accommodate the amount of waste produced in Makassar City. To deal with the problem of waste that is piling up heavily, it is necessary to carry out correct processing alternatives, one of which is using controlled combustion technology or incineration using an incinerator, reducing the volume of remaining residue (fly ash and bottom ash) which can be utilized in various ways, one of which is in making paving blocks. The aim of this research is to determine the compressive strength and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) values as well as the stress-strain behavior of paving blocks that use ash from burning landfill waste. This research was carried out from August to September 2023. Materials The components of paving blocks are water, cement, ash from burning rubbish, fly ash, sand, stone ash. The mixed design variations are control, STPA-100 and STPA-200 as filler as well as STPA-Pan 20%, STPA-Pan 40%, STPA-Pan 60% as a cement substitute. The results of the research show that the compressive strength value of 28 day old test specimens, the STPA-Pan 20% variation meets quality classification B, the STPA-Pan 40% variation meets quality classification C and STPA-60%, STPA-100 and STPA-200 meets quality classification D .For Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) testing, the ultrasonic wave speed value for the test object at 28 days varies STPA-100, STPA-200, STPA-PAN 20%, STPA-PAN 40%, STPA-PAN 60% in sequence. also 2798 m/s, 2818 m/s, 3499 m/s, 3257 m/s, 2997 m/s.

Keywords: Burning Ash, Paving Block, Compressive Strength, UPV, Stress-Strain.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.1.1 Klasifikasi.....	11
2.1.2 Syarat Mutu.....	11

2.1.3 Bentuk dan Dimensi Paving Block.....	12
2.1.4 Keuntungan Paving Block.....	12
2.1.5 Kekurangan Paving Block.....	13
2.2 Bahan Penyusun Paving Block.....	13
2.2.1 Semen.....	13
2.2.2 Agregat Halus.....	17
2.2.3 Abu Pembakaran Sampah.....	18
2.2.4 Abu Batu.....	20
2.2.5 Air.....	20
2.3 Kuat Tekan.....	21
2.4 <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	22
BAB III. METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Metode Penelitian.....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.3 Jenis dan Sumber Penelitian.....	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.5 Desain Benda Uji.....	30
3.6 Analisa Rancangan Campuran Paving Block (<i>Mix Design</i>).....	31
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	31
3.8 Perawatan Benda Uji.....	33
3.9 Pengujian Kuat Tekan.....	33
3.10 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Rancangan Campuran Paving Block (<i>Mix Design</i>).....	36

4.2 Pengujian Kuat Tekan.....	36
4.3 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	39
4.4 Regangan Puncak	40
4.5 Hubungan Tegangan-Regangan	42
4.5.1 Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block Umur 7 Hari.....	42
4.5.2 Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block Umur 28 Hari	48
4.6 Modulus Elastisitas.....	54
4.7 Toughness.....	55
4.8 Toughness Index	56
4.9 Dynamic Modulus Elastisitas.....	57
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat-sifat fisika (SNI 03-0691-1996)	12
Tabel 2. Variasi Paving Block	30
Tabel 3. Mix Design Paving Block	31
Tabel 4. Rancangan Paving Block dalam 1m ³	36
Tabel 5. Data Pengujian Kuat Tekan Paving Block Umur 7 dan 28 Hari	37
Tabel 6. Data Pengujian UPV Paving Block Umur 7 dan 28 Hari	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Pembakaran Sampah	19
Gambar 2. Cara Pengukuran <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV)	22
Gambar 3. Skematik Peralatan untuk Pengujian	23
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 5. Abu Pembakaran TPA yang Lolos Saringan 100, 200,dan PAN	29
Gambar 6. Semen Portland Komposit (PCC)	29
Gambar 7. Agregat Halus	29
Gambar 8. Abu Batu	29
Gambar 9. Fly Ash.....	29
Gambar 10. Air Tawar	29
Gambar 11. Benda Uji	30
Gambar 12. Curing Lapangan.....	33
Gambar 13. Universal Testing Machine, Data Logger, Satu Set Komputer	33
Gambar 14. Pengujian Kuat Tekan.....	34
Gambar 15. Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	35
Gambar 16. Grafik Tegangan Maksimum Paving Block 7 dan 28 Hari.....	38
Gambar 17. Data Nilai <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) Umur 7 dan 28 Hari	40
Gambar 18. Data Nilai Regangan Maksimum Paving Block 7 dan 28 Hari	41
Gambar 19. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block Control Umur 7 Hari ..	42
Gambar 20. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-100 Umur 7 Hari	43

Gambar 21. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-200 Umur 7 Hari	44
Gambar 22. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 20% Umur 7 Hari	45
Gambar 23. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 40% Umur 7 Hari	46
Gambar 24. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 60% Umur 7 Hari	47
Gambar 25. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block Control Umur 28 Hari	48
Gambar 26. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-100 Umur 28 Hari	49
Gambar 27. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-200 Umur 28 Hari	50
Gambar 28. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 20% Umur 28 Hari	51
Gambar 29. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 40% Umur 28 Hari	52
Gambar 30. Hubungan Tegangan-Regangan Paving Block STPA-PAN 60% Umur 28 Hari	53
Gambar 31. Grafik Modulus Elastisitas Paving Block Umur 7 dan 28 Hari	54
Gambar 32. Grafik Toughness Paving Block Umur 7 dan 28 Hari	55
Gambar 33. Grafik Toughness Paving Block Pada Umur 7 dan 28 Hari	56
Gambar 34. Grafik Dynamic Modulus Elastisitas Paving Block Pada Umur 7 dan 28 Hari	57

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Persiapan Material	64
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Benda Uji	65
Lampiran 3. Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	65
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Benda Uji	65

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
STPA	Sampah Tempat Pembuangan Akhir
kN	KiloNewton
$f'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm ²)
A	Luas penampang melintang benda uji (mm ²)
cm	Sentimeter
gr	Gram
kg	Kilogram
KT	Kuat tekan (N/mm ²)
L	Jarak antara pusat permukaan transduser (m)
UTM	Universal Testing Machine
m	Meter
mm	Milimeter
N	Newton
FM	Fine Modulus
P	Gaya tekan aksial (N)
PCC	Portland Composite Cement
s	Sekon/detik
SNI	Standar Nasional Indonesia
T	Waktu tempuh (s)
UPV	Ultrasonic Pulse Velocity (m/s)
V	Kecepatan rambat gelombang (m/s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan salah satu masalah terbesar yang dialami oleh setiap masyarakat khususnya pemerintah dalam penanganan masalah sampah yang harus segera di cari alternatif penyelesaiannya. Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengolahan sampah, menjelaskan bahwa sampah merupakan permasalahan nasional sehingga pengolahannya perlu dilakukan secara komprehensif dan terpadu dari hulu ke hilir agar memberikan manfaat secara ekonomi, sehat bagi masyarakat, dan aman bagi lingkungan, serta dapat mengubah perilaku masyarakat.

Salah satu Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang terbesar di Indonesia adalah Tempat Pembuangan Akhir Tamangapa yang berada di Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. TPA Tamangapa yang berdiri sejak tahun 1993 memiliki luas lahan sebesar 20,1 hektar sudah tidak mampu lagi untuk menampung jumlah sampah yang dihasilkan di Kota Makassar Sebagian besar sampah berasal dari aktivitas para penduduk seperti di mall, pasar, hotel, pusat perdagangan, dan lain sebagainya, dengan jumlah penduduk Kota Makassar sebanyak 1,3 juta jiwa menghasilkan jumlah sampah perhari sekitar 3800 m³, untuk TPA Tamangapa sendiri masih menerapkan metode pembuangan sampah dengan cara *open dumping* atau terbuka cara ini merupakan cara pembuangan yang paling sederhana dimana sampah hanya dihamparkan pada suatu lokasi dan dibiarkan terbuka tanpa adanya pengamanan, cara ini sebenarnya sangat tidak direkomendasikan dikarenakan dapat menimbulkan banyak potensi pencemaran lingkungan.

Untuk menangani permasalahan sampah secara menyeluruh maka perlu dilakukan alternatif pengolahan yang benar salah satu nya dengan menggunakan teknologi pembakaran yang terkontrol atau insinerasi dengan menggunakan incinerator, teknologi ini hanya memerlukan luas lahan yang lebih kecil dan

disertai dengan reduksi volume residu yang tersisa (fly ash dan bottom ash) yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal salah satunya dalam pembuatan paving block.

Paving block merupakan material penutup atau pengerasan permukaan tanah yang sangat luas penggunaannya sangat sering ditemui untuk trotoar jalan, pengerasan jalan kawasan pemukiman, memperindah taman, pengerasan area parkir dan lain sebagainya. Menurut SNI 03-0691-1996 menjelaskan bahwa paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton. Dimana pada SNI 03-0691-1996 juga menyatakan beberapa syarat dalam pembuatan paving block seperti sifat tampaknya yaitu bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapuhkan dengan kekuatan jari tangan, yang kedua ukurannya yaitu bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi + 8%, yang ketiga sifat fisiknya yang terdapat pada **Tabel.1**.

Oleh karena itu, penulis mengangkat suatu judul ***“PERILAKU TEGANGAN-REGANGAN PAVING BLOCK YANG MENGANDUNG ABU PEMBAKARAN DARI HASIL PEMBAKARAN SAMPAH TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR”***.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dirumuskan beberapa masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen terhadap nilai kuat tekan paving block?
2. Bagaimana pengaruh abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen terhadap nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) paving block?
3. Mengetahui perilaku tegangan-regangan yang terjadi pada paving block yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengidentifikasi nilai dari kuat tekan paving block yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen.
2. Untuk mengidentifikasi nilai dari *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen.
3. Untuk mengidentifikasi perilaku tegangan-regangan yang terjadi pada paving block yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai kuat tekan, nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) paving block yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen, serta manfaat lain dari penelitian ini yaitu untuk memberikan wawasan tentang perilaku tegangan-regangan pada paving block yang mengandung abu pembakaran sampah tempat pembuangan akhir sebagai pengisi/filler dan pengganti semen.

1.5 Ruang Lingkup

Mengingat akan banyaknya hal yang dapat mempengaruhi dalam pembuatan paving block, maka permasalahan dalam penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

- a. Abu pembakaran sampah berasal dari hasil pembakaran sampah tempat pembuangan akhir (TPA) Tamangapa.
- b. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Komposit (PCC).
- c. Limbah abu batu didapatkan pada Pabrik Bata Ringan CSB.
- d. Air tawar berasal dari Pabrik Bata Ringan CSB.
- e. Fly ash berasal dari hasil pembakaran batu baru PLTU Bosowa Energi Jeneponto yang didapatkan pada Pabrik Bata Ringan CSB.
- f. Pasir berasal dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa.
- g. Benda uji berbentuk persegi Panjang dengan ukuran 20cm x 10 cm x 8 cm.

- h. Pengujian kuat tekan dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dilakukan pada umur 7 dan 28 hari bertempat di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- i. Pedoman yang dijadikan sebagai acuan adalah SNI 03-0691-1996.
- j. Pembuatan benda uji dilakukan dengan mesin khusus pembuat paving block yang berada di Pabrik Bata Ringan CSB.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara keseluruhan, penulisan ini disusun dalam 5 bab yang meliputi Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan Pengujian, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut ini adalah gambaran umum mengenai kandungan yang terdapat pada setiap bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup, dan juga sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, membahas tentang kumpulan informasi, teori, temuan penelitian sebelumnya, atau kerangka pemahaman yang menjadi dasar atau landasan bagi penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini, membahas mengenai waktu dan lokasi penelitian, variable penelitian, bahan uji dan alat yang akan digunakan, teknik pengumpulan data pengujian, teknik analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, membahas mengenai rancangan campuran paving block (mix design), kuat tekan paving block, ultrasonic pulse velocity paving block, regangan puncak, hubungan tegangan-regangan, modulus elastisitas, toughness, toughness index, dan dynamic modulus elastisitas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, membahas mengenai kesimpulan dari hasil analisis penelitian yang telah dilakukan dan juga saran serta rekomendasi yang dapat diambil untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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 (SNI 03-0691-1996).

(Cheng et al., 2023) Melakukan penelitian yang berjudul Komposit semen yang direkayasa menggunakan bubuk yang dihasilkan dari abu dasar pembakaran sampah kota sebagai bahan tambahan semen (*Engineered cementitious composites using powder regenerated from municipal solid waste incineration bottom ash as supplementary cementitious material*), dimana dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, ecotype Engineered Cementitious Composites (ECC) tidak hanya dapat mengkonsumsi limbah padat dalam jumlah besar, mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan manusia, namun juga mengurangi tingginya biaya produksi bahan-bahan tersebut. Dalam penelitian ini, abu dasar pembakaran sampah kota (MSWI) digunakan untuk mengembangkan ekotipe ECC yang ekonomis dan dapat diterapkan. Pertama, sifat fisik dan kimia abu dasar MSWI dengan ukuran partikel berbeda dianalisis, dan partikel abu dasar dengan reaktivitas tinggi disaring dan digiling menjadi bubuk. Kemudian uji tarik uniaksial dan uji tekuk empat titik digunakan untuk mempelajari kekuatan mekanik dan sifat pengerasan regangan ECC yang mengandung bubuk abu dasar. Hasilnya menunjukkan bahwa serbuk yang digiling dengan partikel abu dasar berukuran 2,36–9,5 mm memiliki partikel yang lebih halus dan reaktivitas yang lebih tinggi. Rasio optimal bubuk abu dasar terhadap semen untuk ECC dapat ditentukan sebesar 2,2:1. Di sini ECC tidak hanya memiliki kekuatan mekanik yang tinggi tetapi juga menunjukkan sifat pengerasan regangan yang luar biasa dan berbagai kapasitas perengkahan mikro. Peningkatan kandungan serat dan rasio

pengikat air bermanfaat bagi pengembangan keuletan yang sangat baik. Penelitian ini memberikan strategi untuk memproduksi ECC ekotipe berbiaya rendah dengan menggunakan bubuk abu dasar MSWI sebagai bahan pelengkap semen.

(Zhang et al., 2020) Melakukan penelitian yang berjudul Penggunaan campuran ramah lingkungan yang terbuat dari residu pembakaran sampah kota dalam beton (*Use of eco-admixture made from municipal solid waste incineration residues in concrete*), dimana dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, dengan tidak adanya pembangkit listrik tenaga batu bara di banyak negara maju, kekurangan abu terbang (fly ash) untuk keperluan konstruksi – bahan campuran mineral yang banyak digunakan dalam beton – tampaknya tidak bisa dihindari. Dalam studi ini, campuran ramah lingkungan yang dibuat dari campuran mentah residu pembakaran sampah kota (MSWI) diselidiki sebagai kemungkinan pengganti semen pada beton. Campuran ramah lingkungan ini disintesis pada suhu insinerasi 1100 °C dari kombinasi stoikiometri yang dipilih secara cermat dari tiga residu yang bersumber dari insinerator lokal dan sedikit tambahan kapur mati. Spesimen pasta dan beton disiapkan dengan penggantian semen 15% dan dibandingkan dengan campuran mineral komersial dan kontrol semen Portland biasa (OPC). Selain hidrasi normal, karbonasi dieksplorasi sebagai skenario pengawetan alternatif untuk mempercepat aktivasi kekuatan awal. Pengaruh substitusi semen terhadap sifat mekanik, kinerja pelindian, struktur mikro, dan ketahanan terhadap kerusakan beku-cair diperiksa. Komponen mineral reaktif utama dari eco-admixture ditemukan adalah belite dan chloro-ellestadite. Dalam hidrasi, spesimen pasta dan beton yang mengandung campuran ramah lingkungan memiliki kinerja yang sebanding dengan kontrol OPC lurus; namun, mereka menunjukkan kekuatan dan ketahanan yang jauh lebih baik ketika diaktifkan dengan karbonasi. Uji pelindian menegaskan stabilitas lingkungan dan kesesuaian eco-admixture sebagai bahan tambahan semen (SCM) pada beton. Untuk validasi lebih lanjut, produksi percontohan dilakukan di pabrik beton komersial untuk menghasilkan satu meter kubik unit pasangan bata beton (CMU) standar 20 cm. CMU dengan campuran

ramah lingkungan menunjukkan kekuatan yang sebanding dengan referensi OPC dan memenuhi semua kinerja fisik yang disyaratkan oleh standar penahan beban.

(Shen et al., 2020) Melakukan penelitian yang berjudul Kemungkinan penggunaan abu dasar insinerasi limbah padat kota pada beton kinerja sangat tinggi (*Feasible use of municipal solid waste incineration bottom ash in ultra-high performance concrete*) dimana dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, abu dasar pembakaran sampah kota (IBA) digunakan kembali sebagai agregat halus untuk membuat beton kinerja ultra tinggi (UHPC). Pengaruh IBA terhadap sifat mekanik, kemampuan kerja, hidrasi, stabilitas volume dan struktur mikro UHPC diselidiki. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan IBA dalam jumlah yang tepat dapat meningkatkan kekuatan tekan UHPC karena efek pengawetan internal. Sedangkan penambahan IBA dalam jumlah berlebihan akan menurunkan kekuatan secara signifikan. Dari analisis struktur mikro, hidrasi UHPC ditingkatkan dengan menambahkan IBA, menghasilkan tingkat hidrasi yang lebih tinggi dan struktur mikro pasta yang lebih padat dibandingkan dengan sampel referensi. Penggunaan IBA pada UHPC dapat secara efektif membatasi pemuaiannya karena adanya logam Al, kaca, gipsium di dalam IBA karena matriks UHPC bertindak sebagai penghalang di sekitar partikel IBA, yang mencegah pembentukan dan penyebaran retakan. Selain itu, pasta semen UHPC yang sangat kedap air, penggunaan bahan tambahan semen, dan pengeringan mandiri UHPC yang tinggi semakin mencegah terjadinya reaksi kimia yang luas. Oleh karena itu, penerapan IBA pada UHPC dapat dilakukan tanpa mempertimbangkan risiko yang besar dan dengan pra-perawatan yang mudah, dan hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan IBA pada UHPC merupakan solusi yang layak untuk mendaur ulang IBA.

(Alderete et al., 2021) Melakukan penelitian yang berjudul Penggunaan abu dasar pembakaran limbah padat kota yang efektif dan berkelanjutan dalam beton dalam hal kekuatan dan daya tahan (*Effective and sustainable use of municipal*

solid waste incineration bottom ash in concrete regarding strength and durability) dimana dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, Pendekatan yang efektif untuk mengurangi sejumlah besar sampah tidak berbahaya yang tidak dapat didaur ulang (yaitu sampah kota, atau MSW) adalah dengan insinerasi. Insinerasi dapat menjadi solusi yang tepat mengingat penimbunan sampah kota memerlukan biaya yang mahal dan menimbulkan polusi. Abu dasar yang diperoleh merupakan material yang berpotensi besar untuk digunakan pada produk semen sebagai pengganti sebagian semen. Hal ini mempunyai keuntungan ganda, yaitu mengurangi timbunan sampah dan mengurangi kandungan semen dalam produk-produk yang mengandung semen (karena semen merupakan penyebab utama jejak karbon produk tersebut). Sejauh ini, sebagian besar penelitian telah dilakukan pada skala laboratorium dan terutama pada pasta dan mortar. Dalam penelitian ini, valorisasi abu dasar insinerasi MSW tanah (MSWI) sebagai pengganti semen Portland dalam beton dianalisis. Karya ini menyajikan wawasan yang diperoleh mengenai penggunaan abu MSWI sebagai bahan pengikat pada beton, dan perilaku konstitutifnya dalam hal sifat segar dan pengerasan, serta sifat daya tahan. Hasilnya, campuran beton berkinerja baik yang mengandung abu MSWI olahan sebagai 20% bahan pengikat telah dirancang. Kuantifikasi keberlanjutan secara keseluruhan, sehubungan dengan dampak lingkungan yang diperkirakan, juga dilakukan dengan mempertimbangkan penilaian awal siklus hidup. Valorisasi abu yang diteliti melalui penggunaannya dalam beton merupakan cara yang menjanjikan untuk meningkatkan keberlanjutan beton dan meningkatkan kualitas produk limbah.

(Magnuson et al., 2023) Melakukan penelitian yang berjudul *Memproses abu dasar pembakaran sampah kota untuk diintegrasikan ke dalam pembuatan produk semen (Processing municipal solid waste incineration bottom ash for integration into cement product manufacture)* dimana dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, Abu dasar (BA) pembakaran sampah kota (MSWI) mengandung komposisi unsur yang diperlukan untuk produksi semen dan beton dan merupakan

pengganti yang layak untuk pasar bernilai tinggi seperti umpan tanur semen (CKF) dan bahan semen tambahan (SCM), memberikan peluang untuk mendaur ulang material yang biasanya ditimbun. Studi ini mengeksplorasi sifat fisik dan kimia masing-masing komponen MSWI BA—kaca, keramik, beton, dan terak—untuk digunakan dalam pembuatan produk semen. Data unsur oksida mengungkapkan MSWI BA mengandung komposisi unsur bervariasi yang diperlukan untuk pembentukan klinker. Misalnya, beton MSWI BA memiliki kandungan kalsium (33–40%) serupa dengan batu kapur (64%) yang digunakan di CKF. Kuat tekan mortar yang dibuat dengan kaca dan keramik MSWI BA sekitar 75% dari kontrol. Analisis unsur dan kalorimetri isothermal mengkonfirmasi bahwa pecahan kaca dan keramik MSWI BA memiliki kekuatan dan komposisi unsur untuk digunakan sebagai SCM dibandingkan dengan terak dan beton.

(Putri et al., 2019) Melakukan penelitian yang berjudul Pemanfaatan limbah abu pembakaran sampah non organik sebagai bahan substitusi pasir pada pembuatan paving block dimana dalam penelitian ini disimpulkan bahwa, Paving block merupakan material penutup atau pengerasan permukaan tanah yang sangat luas penggunaannya terutama untuk trotoar jalan, pengerasan jalan kawasan pemukiman, memperindah taman, pengerasan area parkir dan lain sebagainya. Paving block dalam tinjauan ini adalah paving block yang dihasilkan dari pencampuran air, semen, pasir, limbah abu pembakaran sampah non organik sebagai pengganti sebagian pasir. Selama ini abu pembakaran sampah non organik belum banyak dimanfaatkan, bahkan dibuang begitu saja tanpa adanya pengolahan yang lebih bermanfaat sehingga menumpuk dan terkesan hanya mengotori lingkungan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan paving block bila pasirnya digantikan dengan limbah abu pembakaran sampah non organik menggunakan prosentase tertentu. Metode Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan dua tahap pengujian. Pada tahap awal penelitian dilakukan pengujian pendahuluan meliputi pengujian sifat fisik bahan. Tahap kedua dilakukan pembuatan benda uji menggunakan limbah abu

pembakaran sampah non organik sebagai substitusi pasir dengan prosentase abu 0%, 10%, 20% dan 30% dari berat pasir kemudian dilakukan uji tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Dari hasil pengujian, didapat hasil kuat tekan paving block menggunakan limbah abu pembakaran sampah masing-masing adalah 16 MPa, 17 MPa, 15 MPa dan 11 MPa. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kenaikan kuat tekan terbesar pada paving blok menggunakan campuran abu pembakaran sampah anorganik berada pada prosentase abu 10% dan terjadi penurunan kuat tekan pada paving block dengan persentase abu 30%. Hal tersebut menunjukkan, bahwa kita dapat menggunakan abu sisa pembakaran sampah anorganik sebagai salah satu alternatif material konstruksi ramah lingkungan.

2.1.1 Klasifikasi

Paving block juga memiliki beberapa klasifikasi mutu menurut SNI 03-0691-1996, diantaranya:

1. Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
2. Bata beton mutu B : digunakan untuk peralatan parkir
3. Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
4. Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya.

2.1.2 Syarat Mutu

Ketika menentukan syarat mutu paving block, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu memenuhi syarat menurut SNI 03-0691-1996, yaitu:

1. Sifat Tampak

Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapikan dengan kekuatan jari.

2. Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi +8%.

3. Sifat Fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada **Tabel.1**

Tabel.1 Sifat-sifat fisika (SNI 03-0691-1996)

Mutu	Kuat Tekan		Ketahanan Aus		Penyerapan Air
	(MPa)		(mm/menit)		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

2.1.3 Bentuk dan Dimensi Paving Block

Bata beton (*paving block*) dengan berbagai bentuk dan ketebalannya sering dijumpai di pasaran. Pada umumnya, bata beton (*paving block*) dibuat dengan panjangnya 200-250 mm, dengan lebarnya 100-112 mm. Ketebalan bata beton (*paving block*) biasanya bervariasi dari 60 hingga 100 mm. Sedangkan untuk bentuk bata beton (*paving block*) rata-rata berbentuk segi empat (*holand*), segi enam (*hexagonal*), dan lain sebagainya dengan ketebalan yang berbeda-beda sesuai permintaan. Seiring dengan perkembangan permintaan pasar, maka bentuk dan variasi bata beton (*paving block*) mulai dikembangkan dan dijual dipasaran.

2.1.4 Keuntungan Paving Block

Menurut Iwan Mustaqim, dkk menyebutkan keuntungan dari paving block, sebagai berikut:

1. Mudah dalam pemasangan dan pemeliharaan
2. Mudah dibongkar dan dipasang Kembali tanpa memerlukan peralatan berat
3. Dapat diproduksi baik secara mekanis, semi mekanis, maupun di cetak tangan
4. Tidak mudah rusak oleh kendaraan
5. Memperindah lapisan permukaan
6. Ukuran lebih terjamin
7. Konsep pembangunan berwawasan lingkungan
8. Perkerasan *paving block* sangat cocok untuk mengendalikan kecepatan kendaraan di lingkungan pemukiman dan perkotaan yang padat, karena penggunaan paving block kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi.

9. Daya serap terhadap air hujan cukup baik, sehingga dapat mengurangi genangan air di halaman, karena pemasangan antara satu dengan yang lain tanpa menggunakan perekat/adukan semen.

2.1.5 Kekurangan Paving Block

Menurut Iwan Mustaqim, dkk menyebutkan kekurangan dari paving block yang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

1. Mutu bahan susun yang tidak memenuhi syarat
2. Pengaruh dari gerusan air hujan
3. Banyaknya roda kendaraan yang melintas yang melebihi ketahanan paving block
4. Muda bergelombang jika pondasinya kurang kuat dan tidak nyaman untuk dilintasi saat kecepatan tinggi.

2.2 Bahan Penyusun Paving Block

Material dari penyusun paving block adalah agregat halus, semen, air, atau bahan tambah lainnya.

2.2.1 Semen

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) menyatakan bahwa semen merupakan serbuk atau tebuk dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata atau membuat tembok, dan sebagainya. Sedangkan di dalam bahasa latin kata semen berasal dari *caementum* yang berarti bahwa “memotong menjadi bagian-bagian kecil tak beraturan”.

Menurut SNI 15-2049-2004, Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling Bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh di tambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti bahwa sangat senang untuk bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolus akan bereaksi dengan air sangat cepat. Semen Portland bersifat hidrolus karena didalamnya terkandung kalsium silikat dan juga kalsium sulfat yang memiliki sifat hidrolis dan sangat cepat Ketika bereaksi dengan air. Reaksi yang terjadi antara semen dan

air berlangsung secara *irreversible*, artinya bahwa hanya dapat terjadi satu kali atau tidak dapat Kembali ke kondisi semula.

1. Semen dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

- a. Semen non hidraulis adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak stabil dalam air.

Contoh: Kapur yang dapat dihasilkan dengan membakar batu kapur atau kalsium karbonat Bersama beserta bahan-bahan pengotornya yaitu magnesium, silikat, besi, alkali, alumina, dan belerang

- b. Semen hidraulis adalah semen yang dapat mengeras di dalam air yang menghasilkan padatan yang stabil dalam air.

Contoh: Kapur hidrolik, semen polozan, semen terak, semen alam, semen Portland, dan semen campuran lainnya.

2. Jenis-Jenis Semen

a. Super Masonry Cement

Semen ini dapat digunakan untuk konstruksi perumahan Gedung, jalan dan irigasi yang struktur betonnya mencapai nilai kuat tekan maksimal sesuai dengan K 225. Dapat juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan genteng beton, hollo brick, paving block, tegel dan bahan bangunan lainnya.

b. Oil well Cement, Class G-HSR (High Sulfate Resistance)

Semen ini merupakan semen khusus yang dapat digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi ataupun gas alam dengan konstruksi sumur minyak di bawah permukaan laut atau bumi, OWC yang telah diproduksi yaitu class G, HSR (High Sulfat Resistance) disebut juga sebagai "BASIC OWC". Adaptif dapat di tambahkan untuk pemakaian dengan berbagai temperature dan kedalaman.

c. Semen Putih

Semen ini sering digunakan untuk tahap penyelesaian akhir (*finishing*) ataupun untuk keperluan dekorasi suatu ruangan, pada umumnya digunakan untuk melapisi sambungan keramik, permukaan teras, dan lain sebagainya.

d. Super “Portland Pozzolan Cement” (PCC)

Semen yang memenuhi persyaratan mutu semen Portland pozzoland SNI 15-0302-2004 dan juga ASTM C 595 M-05 s. Semen ini dapat digunakan secara luas, seperti:

- Konstruksi beton massa (bendungan, dam dan irigasi)
- Konstruksi beton yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat (bangunan tepi pantai, tanah rawa)
- Bangunan/instalasi yang memerlukan kedekatan yang tinggi
- Pekerjaan pasangan dan plesteran.

e. Portland Composite Semen (PCC)

Semen ini dapat digunakan secara luas seperti pada konstruksi umum yang semuanya beton, struktur bangunan bertingkat, struktur jembatan, struktur jalan beton, bahan bangunan, beton pra tekan dan pra cetak, pasangan bata, plestersan dan acian, panel beton, paving block, dan lain sebagainya. Semen ini juga lebih mudah dikerjakan, suhu beton yang lebih rendah sehingga tidak mudah untuk retak, lebih tahan terhadap sulfat, lebih kedap air, dan permukaan acian lebih halus.

Semen portland dibagi dalam beberapa tipe, yaitu:

a. Semen Portland Tipe I

Semen Portland tipe 1 dapat digunakan untuk keperluan konstruksi yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat 0,0% - 0,10% dan dapat digunakan untuk membangun rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat, pekerasan jalan, struktur rel, dan lain sebagainya.

b. Semen Portland Tipe II

Semen portland tipe II dapat digunakan pada konstruksi bangunan dari beton massa yang memerlukan ketahanan sulfat (pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0,10 – 0,20 %) dan pans hidrasi sedang, misalnya pada bangunan pinggir laut, bangunan bekas tanah rawa, saluran irigasi, beton massa untuk dam dan landasan jembatan.

c. Semen Portland Tipe III

Semen portland tipe III dapat digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misalnya untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan tingkat tinggi, bangunan-bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.

d. Semen Portland Tipe IV

Semen Portland tipe IV dapat 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.

e. Semen Portland Tipe V

Semen portland tipe V dapat digunakan untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah/ air yang mengandung sulfat melebihi 0, 20 % dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku : batu gamping/kapur sebagai bahan utama, yaitu bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida (CaO), dan lempung/tanah liat yaitu

bahan alam yang mengandung senyawa: Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO) atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (bulk), tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air.

Fungsi utama dari semen adalah untuk mengikat partikel agregat yang terpisah sehingga menjadi satu kesatuan. Bahan dasar pembentuk semen adalah :

- a. $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (tricalcium silikat) disingkat C3S (58% - 69%)
- b. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (dicalcium silikat) disingkat C2S (8% - 15%)
- c. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (tricalcium aluminate) disingkat C3A (2% - 15%)
- d. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetracalcium alummoferrit) disingkat C4AF (6-14%)

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang paling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C3S dan C2S adalah 70% - 80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen. Semen dan air saling bereaksi, persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, dan hasilnya dinamakan hidrasi semen.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus atau yang biasa di kenal dengan sebutan pasir adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau yang lolos pada saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Agregat halus berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*Stone Crusher*). Pasir umumnya terdapat disungai-sungai yang besar. Akan tetapi sebaiknya pasir yang digunakan untuk bahan-bahan bangunan dipilih memenuhi syarat.

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material oleh material lain, sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari

agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *Fine Modulus*.

Agregat ini berukuran 0,063 mm – 4,76 mm yang meliputi pasir kasar (coarse sand) dan pasir halus (fine sand). Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh nilai atau angka modulus kehalusan (Fine Modulus).

Melalui Fine Modulus, maka pasir dapat digolongkan menjadi 3 jenis pasir yaitu:

- a) Pasir kasar : $2,9 < FM < 3,2$
- b) Pasir sedang : $2,6 < FM < 2,9$
- c) Pasir halus : $2,2 < FM < 2,6$

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus juga disebut dengan pasir. Adapun syarat-syarat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton, antara lain sebagai berikut:

1. agregat halus tidak boleh mengandung kadar lumpur lebih dari 5%,
2. agregat halus tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan tidak boleh gelap dari warna standar atau pembanding,
3. agregat halus memiliki modulus butir halus antara 1,50-3,80,
4. agregat halus tidak boleh reaktif terhadap alkali,
5. kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan jika di pakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%.

2.2.3 Abu Pembakaran Sampah

Pemanfaatan limbah abu pembakaran sebagai bahan bangunan menjadi salah satu solusi dalam mengatasi timbulan abu pembakaran yang semakin meningkat. Abu (Ashes) adalah sampah yang berasal dari sisa pembakaran dari zat yang mudah terbakar seperti rumah, kantor maupun di pabrik-pabrik industri. Sampah dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis yaitu sampah organik dan non organik. Contoh dari Sampah organik dedaunan, sisa-sisa

makanan, dan sejenisnya, sedangkan contoh dari sampah non organik botol plastik, wadah plastik dan sejenisnya. Sampah jenis ini dapat diolah dengan cara insenerasi atau pembakaran pada suhu tinggi. Umumnya digunakan pada suhu 800oC atau 1000oC bahkan lebih. Pembakaran pada suhu tinggi ini dilakukan untuk mencegah terbentuknya dioksin, yaitu suatu senyawa beracun yang bersifat lipofil dan dapat terakumulasi dalam tubuh, sebagai hasil samping pembakaran plastik pada suhu rendah. Contoh dari pembakaran sampah menjadi limbah abu dapat dilihat pada **Gambar.1** dibawah ini:

a.)Insinerator

b.)Limbah Abu



Gambar.1 Proses Pembakaran Sampah

Inceneration atau insinerasi merupakan suatu metode pemusnahan sampah dengan cara membakar sampah secara besar-besaran dengan menggunakan fasilitas pabrik. Manfaat sistem ini, antara lain :

- a. Volume sampah dapat diperkecil sampai sepertiganya.
- b. Tidak memerlukan ruang yang luas.
- c. Panas yang dihasilkan dapat dipakai sebagai sumber uap.
- d. Pengelolaan dapat dilakukan secara terpusat dengan jadwal jam kerja yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

Adapun kerugian yang ditimbulkan akibat penerapan metode ini yaitu biaya besar, lokalisasi pembuangan pabrik sukar didapat karena keberatan penduduk.

2.2.4 Abu Batu

Abu batu berasal dari limbah industri yaitu pemecahan batu yang jumlahnya sangat banyak. Abu batu mempunyai kriteria lolos saringan dengan diameter 4,75 mm dan tertahan pada saringan 0,075 sehingga membuat abu batu menjadi limbah yang sangat bermanfaat sebagai bahan campuran material bangunan konstruksi hal ini dikarena abu batu dapat berfungsi sebagai agregat halus pengganti pasir. Material yang dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti sebagian pasir harus memberikan peningkatan mutu pada beton sebagai bahan konstruksi yang umumnya digunakan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah pemanfaatan limbah batuan yang berupa abu batu. Pemanfaatan limbah abu batu masih sangat minim pemanfaatannya akan tetapi abu batu memiliki harga yang relatif lebih murah jika dibandingkan dengan harga pasir. Abu batu juga memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat. amun, penambahan abu batu pada campuran beton akan menyebabkan workabilitas pada beton segar menurun.

2.2.5 Air

Air merupakan salah satu material penyusun beton yang paling penting dan paling murah. Air sangat dibutuhkan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam proses pekerjaan beton. Pasta semen merupakan hasil dari reaksi kimia antara semen dengan air. Air yang berlebihan akan menimbulkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Air yang akan digunakan sebagai campuran haruslah dalam keadaan bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak struktur pada paving Block. Apabila digunakan dalam pencampuran paving block akan menurunkan kualitas dari paving block itu sendiri.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 menyatakan bahwa, air yang 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.

Mengutip dari PBI 1971 menyatakan bahwa pemakaian air pada beton harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) yang lebih dari 2 gr/liter
2. Tidak mengandung gram-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organic, dan lain sebagainya) yang lebih dari 15 gr/liter
3. Tidak mengandung klorida (Cl) yang lebih dari 0,5 gr/liter
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat yang lebih dari 1 gr/liter

2.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin Ulybeton yang harus dihasilkan.

Mengutip dari SNI 1974-2011 menyatakan bahwa, kuat tekan ($f'c$) beton mengacu pada besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton runtuh ketika dikenai gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh suatu tekan. Nilai dari kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum yang dibebankan pada benda uji selama pengujian dengan luas penampang rata-rata yang ditentukan dengan cara mengkalikan Panjang dan lebar dari paving block yang di uji. Dimana untuk menghitung nilai kuat tekan dari paving block dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa atau N/mm²)

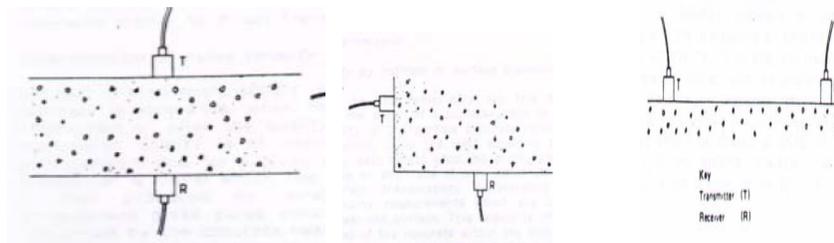
P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

2.4 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Karakteristik gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), seperti amplitudo, kecepatan, redaman, frekuensi dan energi, memainkan peran penting dalam memperkirakan kekuatan dan mengevaluasi kerusakan dan cacat pada struktur komposit. Fitur yang paling signifikan dari teknik *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) adalah kemampuannya untuk secara tidak langsung berkorelasi dan terhubung dengan sifat fisik dan mekanik komposit semen dan polimer. Gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dapat dianggap sebagai metode yang paling dapat diandalkan untuk mengevaluasi keseluruhan integritas dan kegagalan material, serta menentukan sifat elastisnya.

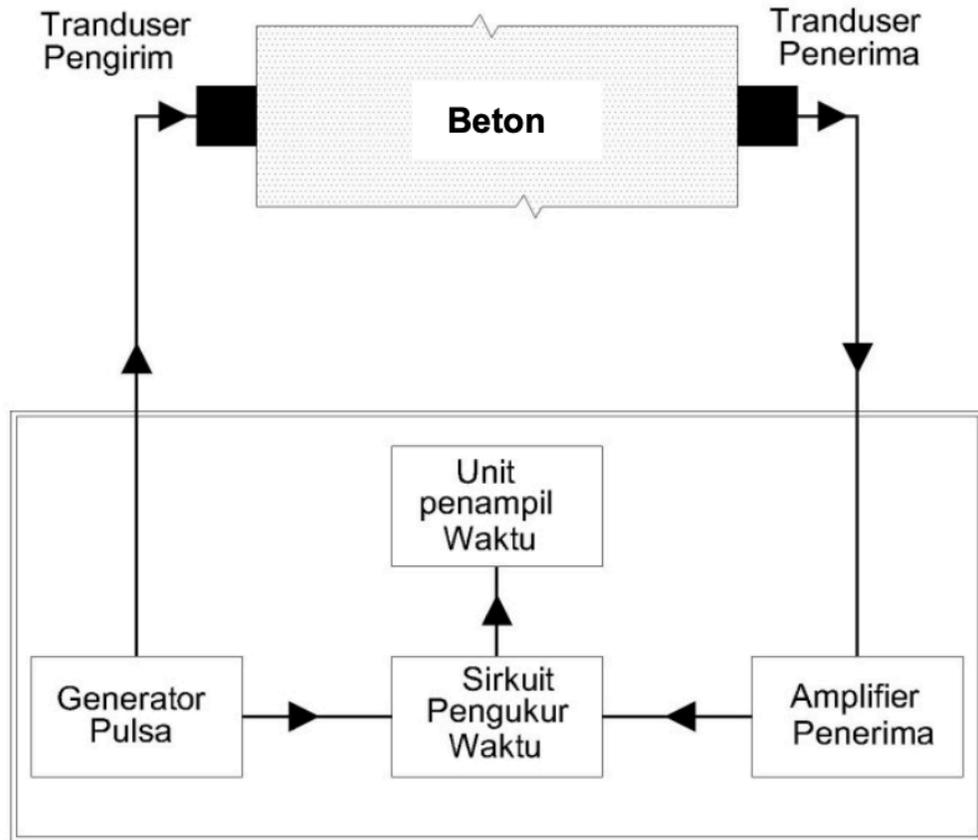
Menurut SNI ASTM C597-2012 menyatakan bahwa Metode uji Ultrasonic Pulse Velocity dapat digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman dan mutu relatif beton, mendeteksi adanya rongga dan retak, dan untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk mengetahui adanya perubahan sifat – sifat beton, dan pada pemeriksaan suatu struktur, untuk memperkirakan tingkat kerusakan atau retakan pada beton. Apabila digunakan untuk mengamati perubahan – perubahan kondisi pada periode tertentu, lokasi uji harus diberi tanda pada struktur untuk memastikan pengujian dapat diulang pada posisi yang sama. Tes UPV dapat di-lakukan dalam tiga cara yaitu: (1) langsung, (2) semi langsung, dan (3) tidak langsung, cara untuk mengukur gelombang Ultrasonic Pulse Velocity disajikan pada **Gambar.2**



a. Cara langsung. b. Cara Semi Langsung. c. Cara Tidak Langsung

Gambar.2 Cara Pengukuran *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Skematik peralatan pada pengujian Ultrasonic Pulse Velocity disajikan pada **Gambar. 3**



Gambar.3 Skematik Peralatan untuk Pengujian

Cara kerja alat UPV, dengan memberi getaran gelombang longitudinal lewat tranduser elektro-akustik, melalui cairan perangkai yang berwujud gemuk ataupun sejenis pasta selulose, yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Saat gelombang merambat melalui media yang berbeda, yaitu gemuk dan beton, pada batas gemuk dan beton akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang geser dan longitudinal. Gelombang geser merambat tegak lurus lintasan, dan gelombang longitudinal merambat sejajar lintasan.

Tes UPV dapat digunakan untuk: (1) mengetahui keseragaman kualitas beton, (2) mengetahui kualitas struktur beton setelah umur beberapa tahun, (3) mengetahui ke-kuatan tekan beton, serta (4) menghitung modulus elastisitas dan koefisien Poisson beton (International Atomic Energy Agency, Vienna,

2002). Untuk mengetahui kecepatan gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* dari benda uji dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$V = L/T$$

Keterangan:

v : Kecepatan gelombang longitudinal (m/s)

L : Panjang lintasan beton yang dilewati (m)

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