

TESIS

**KINERJA *PAVING BLOCK* DENGAN LIMBAH BATU
BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI
PENGANTI PASIR**

A.VIRANTHY DIAN PERTIWI

D012212014



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2023

PENGAJUAN TESIS

KINERJA PAVING BLOCK DENGAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI PASIR

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**A. VIRANTHY DIAN PERTIWI
D012212014**

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN
UJIAN TUTUP TESIS**

**KINERJA PAVING BLOCK DENGAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API
TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI PASIR**

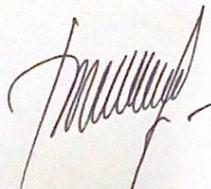
Disusun dan diajukan oleh :

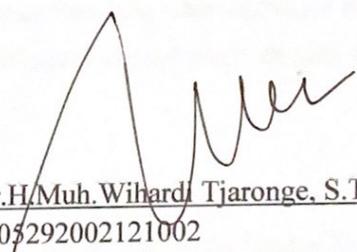
A. VIRANTHY DIAN PERTIWI
D012212014

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng
NIP. 198604092019043001


Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng
NIP. 196805292002121002



Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, S.T., M.Eng., PM.
NIP. 197303061998021001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : A. Viranthy Dian Pertiwi
Nomor mahasiswa : D012212014
Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Kinerja Paving Block dengan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Alumina sebagai Pengganti Pasir” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng dan Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diproses di *International Journal of Pavement Research and Technology A: Basics* dengan status *under review (revise)* sebagai artikel dengan judul (“*Producing Eco-Friendly Concrete Paving Block Using Waste Refractory Brick Aggregates*”)

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 07 Desember 2023

Yang menyatakan,



A. VIRANTHY DIAN PERTIWI

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah, sehingga kami dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“KINERJA PAVING BLOCK DENGAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI PASIR”**.

Kami mengucapkan terima kasih dan menyampaikan penghargaan sangat tinggi kepada pembimbing satu bapak **Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST, M. Eng**, dan pembimbing dua **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng** yang selalu memberikan arahan, petunjuk, memotivasi, membantu dan membimbing dalam menyelesaikan dan penyusunan laporan tesis ini.

Kami beranggapan bahwa tesis ini merupakan karya terbaik yang dapat kami persembahkan. Tetapi kami juga menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan didalamnya terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca agar kami dapat menyempurnakan tesis ini dan menyusun tesis yang lebih baik di kemudian hari. Akhir Kata, Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kami khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya. Amin ya rabbal alamin.

Wassalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Gowa, 2023

Penyusun

A.VIRANTHY DIAN PERTIWI

ABSTRAK

A. Viranthy Dian Pertiwi, Kinerja *Paving Block* Beton Menggunakan Agregat Alumina Bata Tahan Api Limbah Sebagai Pengganti Pasir, (dibimbing oleh : **Muhammad Akbar Caronge dan M. Wihardi Tjaronge**).

Pembongkaran material sisa konstruksi yang perlu diangkut ke tempat pembuangan akhir yang sesuai, salah satunya adalah batu bata tahan api. Penerapan batu bata tahan api sebagai agregat jika dimanfaatkan secara luas akan memberikan dampak ekonomi yang sangat besar bagi masyarakat sekitar. Penelitian ini menggunakan limbah batu bata tahan api jenis alumina sebagai pengganti pasir pada konsentrasi 15, 30, 50, dan 100% dan kinerjanya dibandingkan dengan agregat batu bata tahan api tanpa agregat. Dari hasil pengujian menunjukkan nilai kuat tekan mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah batu bata tahan api agregat pada campuran. Unsur alumina (Al_2O_3) yang terkandung di dalamnya berfungsi sebagai bahan pengisi dan pengikat, yang kemudian menyatu dengan partikel semen sehingga jumlah pengikat beton bertambah serta menyebabkan penurunan porositas. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian *ultrasonic pulse velocity* (UPV), penyerapan air, abrasi, dan ketahanan sulfat (Na_2SO_4) yang lebih bagus jika dibandingkan dengan benda uji tanpa batu bata tahan api. Hasil yang diperoleh dari hasil penelitian ini menunjukkan batu bata tahan api dapat menjadi alternatif agregat pengganti pasir pada pembuatan *paving block* dengan kinerja lebih baik.

Kata Kunci : Batu Bata Tahan Api, Kuat Tekan, *Ultrasonic Pulse Velocity*, Penyerapan Air, Abrasi dan Natrium Sulfat.

ABSTRACT

A. Viranthy Dian Pertiwi, Performance of Concrete Paving Block using Waste Refractory Brick Alumina Aggregates as Sand Replacement, (supervised by: **Muhammad Akbar Caronge and M. Wihardi Tjaronge**).

Demolition of construction waste materials that need to be transported to an appropriate landfill is become a big obstacle, one of them is refractory bricks waste. The application of refractory bricks as aggregate, if used widely, will have a huge environment and economic impact on the surrounding community. This study use alumina-type refractory brick waste as a substitute for sand at 15, 30, 50, and 100%, and their performance are compared to those without refractory brick aggregate. The test results show that the compressive strength value increases as the number of aggregate refractory bricks in the mixture increases. The alumina element (Al_2O_3) contained in it functions as a filler and binder, which then combines with the cement particles so that the amount of concrete binder increases and causes a decrease in porosity. This is in line with the results of ultrasonic pulse velocity (UPV), water absorption, abrasion and sulfate resistance (Na_2SO_4) which are better when compared to specimens without refractory bricks. The results obtained shows that refractory bricks waste can be an alternative aggregate to replace sand in making paving blocks with better performance.

Keywords : Refractory Brick, Compressive Strength, Ultrasonic Pulse Velocity, Water Absorption, Abrasion and Sodium Sulfate.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Paving Block</i>	5
2.1.1 Klasifikasi	5
2.1.2 Syarat Mutu.....	5
2.1.3 Bentuk dan Dimensi <i>Paving Block</i>	6
2.1.4 Keuntungan <i>Paving Block</i>	7
2.1.5 Kelemahan <i>Paving Block</i>	7
2.2 Bahan Penyusun <i>Paving Block</i>	7
2.2.1 Semen	7
2.2.2 Agregat Halus	10
2.2.3 <i>Refractory Brick</i>	12
2.2.4 Abu Batu	15
2.2.5 Air	15
2.3 Kuat Tekan.....	16
2.4 Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	16

2.5 Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles.....	17
2.5.1 Jenis-jenis Keausan Dan Penyebabnya	17
2.5.2 Peristiwa Yang Terjadi Dalam Proses Keausan.....	17
2.5.3 Pembagian Gradasi	18
2.6 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat (Na ₂ SO ₄)	19
2.7 Penelitian Terdahulu	20

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

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	27
3.5 Desain Benda Uji	29
3.6 Analisa Rancangan Campuran (<i>Mix Design</i>)	30
3.7 Pembuatan Benda Uji	30
3.8 Pengujian Benda Uji	31
3.8.1 Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	31
3.8.2 Pengujian Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	33
3.8.3 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	34
3.8.4 Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles...35	
3.8.5 Pengujian Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat (Na ₂ SO ₄)	36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan	37
4.2 Hasil Pengujian Penyerapan Air	39
4.3 Hasil Berat Jenis <i>Paving Block</i>	42
4.4 Hasil Pengujian UPV	43
4.5 Ketahanan Aus	44
4.6 Na ₂ SO ₄	46
4.7 Indeks Kekuatan.....	47
4.8 Hubungan – Hubungan Antara Pengujian	49
4.8.1 Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Penyerapan Air.....	49
3.8.2 Hubungan antara Kuat Tekan dengan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> ...50	

3.8.3 Hubungan antara <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Penyerapan Air	51
---	----

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat-sifat Fisik (SNI 03-0691-1996)	6
Tabel 2 Jenis <i>Refractory</i>	13
Tabel 3 Bahan Baku <i>Refractory</i> Jenis Netral	14
Tabel 4 Variasi Benda Uji <i>Paving Block</i>	29
Tabel 5 <i>Mix Design Paving Block</i>	30
Tabel 6 Syarat Mutu Pada Sifat Fisik Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	33
Tabel 7 Syarat Mutu Pada Sifat Fisik Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	34
Tabel 8 Indeks Kekuatan	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Klasifikasi <i>Paving Block</i>	5
Gambar 2.	<i>Refractory Brick</i>	13
Gambar 3	Diagram Alur Penelitian	25
Gambar 4	<i>Refractory Brick Furnace Roof</i> Tipe Alumina	28
Gambar 5	<i>Refractory Brick Furnace Sidewall</i> Tipe Alumina.....	28
Gambar 6	Abu Batu.....	28
Gambar 7	Pasir	28
Gambar 8	Semen Portland Komposit (PCC).....	28
Gambar 9	Air Tawar	28
Gambar 10	Benda Uji	29
Gambar 11	Pembuatan Benda Uji	31
Gambar 12	<i>Universal Testing Machine</i>	32
Gambar 13	Data <i>Logger</i> dan Satu Set Komputer	32
Gambar 14	Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	32
Gambar 15	Pengujian Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	34
Gambar 16	Pengujian UPV <i>Paving Block</i>	35
Gambar 17	Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles ...	35
Gambar 18	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	38
Gambar 19	Hasil Pengujian Penyerapan Air.....	41
Gambar 20	Hasil Berat Jenis <i>Paving Block</i>	42
Gambar 21	Hasil Pengujian UPV	43
Gambar 22	Benda Uji Pengujian Abrasi Untuk Putaran 100 Dan Putaran 500 .	45
Gambar 23	Grafik Abrasi <i>Paving Block RBF</i>	45
Gambar 24	Grafik Abrasi <i>Paving Block RBS</i>	45
Gambar 25	Keadaan Sebelum Dan Sesudah Perendaman Benda Uji	46
Gambar 26	Grafik Na_2SO_4 <i>Paving Block</i>	47
Gambar 27	Hubungan antara Kuat Tekan dengan Penyerapan Air.....	49
Gambar 28	Hubungan antara Kuat Tekan dengan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> ...	50
Gambar 29	Hubungan antara <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Penyerapan Air	51

DAFTAR NOTASI

- $f'c$ = Kuat Tekan Beton (Mpa)
- P = Gaya Tekan Aksial (N)
- A = Luas Penampang Melintang Benda Uji (mm^2) / Berat Bata Beton Basah/
Berat Sampel Dalam Air (gram)
- B = Berat Bata Beton Kering / Berat Sampel Kondisi SSD (gram)
- C = Berat Sampel Kering Oven (gram)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi membuat kebutuhan bahan-bahan konstruksi salah satunya batu bata tahan api semakin meningkat. Pembongkaran menciptakan sejumlah besar bahan limbah yang perlu diangkut ke area limbah yang sesuai. PT Vale Indonesia Tbk, produsen nikel Indonesia, memproduksi produk matte setengah jadi dari bijih laterit di fasilitas penambangan dan pengolahan terintegrasi di dekat Sorowako di pulau Sulawesi. Saat ini, PT.Vale Indonesia memproduksi sekitar 4.500 ton atau 150 meter kubik dinding tungku per tahun yang tergolong limbah. Oleh karena itu, pembuangan limbah batu bata refraktori akan berdampak pada lingkungan sekitar tambang. Penerapan bata tahan api sebagai agregat, jika digunakan secara luas akan memberikan dampak ekonomi yang sangat besar bagi dunia usaha, pemerintah dan masyarakat sekitar.

Refraktori adalah suatu bahan yang kekuatannya bertahan pada suhu tinggi. Batu bata tahan api digunakan sebagai insulasi, refraktori limbah dihasilkan di semua unit pengolahan (*dryer, reduction kiln, furnace dan converter*). Tergantung pada komposisi kimia penyusunnya. Refraktori dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu Refraktori Asam seperti silika, netral seperti alumina, dan refraktori basa seperti magnesit, dan konstruksi khusus seperti karbo, silikon karbida dan lagi.

Paving block adalah bahan konstruksi yang terdiri dari campuran semen portland atau perekat hidrolis sejenisnya, air dan bahan tambahan dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mengurangi mutu batu bata (SNI 03-0691-1996). Syarat *Paving block* ini adalah sifat pertama yang terlihat, batu bata harus mempunyai permukaan yang halus, tidak retak atau cacat, tidak dapat digunakan sudut dan rusuk yang mudah dipotong dengan jari. Pada kedua jenis tersebut, *Paving block* harus memiliki ketebalan minimal 60 mm dan toleransi 8%. Proses daur ulang dan penggunaan limbah konstruksi sebagai bahan daur ulang untuk proyek teknik sipil, yaitu konstruksi dan pembangunan infrastruktur.

Penggunaan refraktori batu bata sebagai pengganti pasir diharapkan dapat mengurangi limbah tungku pembakaran pada perusahaan industri. Berdasarkan

latar belakang tersebut penulis mengangkat judul ***“Kinerja Paving Block Dengan Limbah Batu Bata Tahan Api Tipe Alumina Sebagai Pengganti Pasir”***.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas maka, dirumuskan beberapa masalah yakni:

1. Bagaimana perilaku kuat tekan *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir?
2. Bagaimana kinerja *Ultrasonic Pulse Velocity* dari *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir?
3. Bagaimana durabilitas *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa perilaku kuat tekan *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir.
2. Untuk menganalisa kinerja *Ultrasonic Pulse Velocity* dari *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir.
3. Untuk mengevaluasi durabilitas *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yakni memberikan wawasan mengenai kinerja *paving block* dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti pasir. Sehingga, dapat mengetahui pemanfaatan dan penggunaan *paving block* yang ramah lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah dalam penulisan tesis ini, dimana dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. *Refraktori Brik* (batu bata tahan api) yang digunakan ialah batu bata tahan api tipe alumina dan limbah batu bata tahan api yang digunakan sebagai pengganti pasir berasal dari PT. Vale Indonesia. .
2. Pedoman yang dipakai sebagai acuan adalah SNI 03-0691-1996 dan beberapa jurnal terdahulu.
3. Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah tipe semen portland komposit (PCC) dan memenuhi standar SNI-2049-2015.
4. Berdasarkan Tabel 4, Lampiran IX PP No. 22 Tahun 2021, Limbah Refraktori dikategorikan sebagai Limbah B3 dengan kode limbah B417 dengan kategori bahaya termasuk Kategori 2.
5. Bentuk dari benda uji adalah persegi panjang dengan ukuran = 20 x 10 x 6
6. Jumlah benda uji yang direncanakan 5 variasi masing-masing terdiri dari 5 benda uji.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan teks, diskusi hasil uji laboratorium terhadap **KINERJA PAVING BLOCK DENGAN LIMBAH BATU BATA TAHAN API TIPE ALUMINA SEBAGAI PENGGANTI PASIR**, penulis memberikan gambaran mengenai garis besar dan menjelaskan secara ringkas tentang sistematika penulisan hasil studi diuraikan dalam komposisi bab-bab sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, penulis akan menjelaskan uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini, penulis akan mengemukakan tentang *paving block*, semen, agregat halus, *refractory brick*, abu batu, air, kuat tekan, keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles, ketahanan terhadap natrium sulfat (Na₂So₄) dan penelitian terdahulu.

Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini penulis akan menjelaskan rincian penelitian, tempat dan waktu penelitian, metode pengumpulan data, bahan penelitian, alat penelitian, pelaksanaan penelitian dan bagan organisasi penelitian.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam bab ini penulis akan mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasan mengenai tujuan penelitian dari penulis.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini penulis akan menguraikan tentang kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Paving Block

Bata beton (*paving block*) terdiri dari komposisi bahan bangunan yang terdiri dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolik sejenis, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan tambahan yang tidak mengganggu keutuhan bata beton (SNI 03-0691- 1996). Gambar 1 yang disajikan berikut ini menunjukkan pemanfaatan *paving block* dalam konteks jalan (a), area parkir (b), jalur pejalan kaki (c), ruang rekreasi (d), dan penerapan lainnya.



Gambar 1 Klasifikasi *Paving Block*

2.1.1 Klasifikasi

Terdapat beberapa klasifikasi dalam *paving block* diantaranya:

1. Bata beton mutu A = Digunakan untuk jalan.
2. Bata beton mutu B = Digunakan untuk area parkir.
3. Bata beton mutu C = Digunakan untuk pejalan kaki.
4. Bata beton mutu D = Digunakan untuk taman dan keperluan lain.

2.1.2 Syarat Mutu

Terdapat beberapa faktor yang memerlukan pertimbangan menyeluruh ketika mengevaluasi kualitas *paving block*, khususnya memastikan kepatuhan terhadap spesifikasi yang diuraikan dalam SNI 03-0691-1996, yang mencakup hal-hal berikut:

1. Sifat Tampak

Bata beton harus memiliki permukaan yang rata, tanpa celah atau cacat. Terlebih lagi, sudut dan rusuk batu bata ini tidak boleh mudah dipotong hanya dengan kekuatan manual.

2. Ukuran

Batu bata beton harus memiliki ketebalan nominal minimal 60 mm, dengan toleransi deviasi sebesar +8% . .

3. Sifat Fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Sifat-sifat fisik (SNI 03-0691-1996)

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

2.1.3 Dimensi dan Bentuk *Paving Block*

Paving block dengan berbagai bentuk dan ketebalan dapat dengan mudah ditemukan di pasaran. Umumnya panjang *paving block* berkisar antara 200 hingga 250 mm, sedangkan lebarnya bervariasi antara 100 hingga 112 mm. Ketebalan balok-balok ini berkisar antara 60 hingga 100 mm. *Paving block* sendiri tersedia dalam bentuk persegi panjang (*holand*) dan heksagonal (*heksagonal*) antara lain dengan ketebalan yang disesuaikan dengan kebutuhan tertentu. Dengan semakin majunya permintaan

pasar, bentuk dan jenis *paving block* semakin dikembangkan dan diperkenalkan.

2.1.4 Kelebihan *Paving Block*

Kelebihan *Paving Block* adalah sebagai berikut:

- a. Penerapan metode ini mudah dan tidak memerlukan penggunaan mesin yang ekstensif sehingga dapat diproduksi dalam skala besar.
- b. Pemeliharaan sistem ini tidak rumit dan dapat dengan mudah disusun kembali setelah dibongkar.
- c. Sistem ini menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap beban statis, dinamis, dan kejut.
- d. Efektif menahan tumpahan pelumas dan panas yang dihasilkan mesin kendaraan.

2.1.5 Kelemahan *Paving Block*

Kelemahan *paving block* adalah sebagai berikut:

1. Adanya ketidakrataan dapat dengan mudah dialami jika landasan di bawahnya kurang stabil, sehingga menyebabkan pengendaraan menjadi kurang mulus dan kurang nyaman untuk mobil yang bergerak cepat.
2. Akibatnya, penggunaan perkerasan *paving blok* mungkin terbukti tidak sesuai untuk menjaga pengaturan kecepatan kendaraan yang efektif di kawasan perumahan dan perkotaan yang padat.

2.2 Bahan Penyusun *Paving Block*

Bahan yang digunakan dalam pembuatan *paving block* sama dengan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton. Namun, ada subkelompok yang tidak menggunakan agregat kasar, yang biasa disebut kerikil. Jika ditelaah kegunaannya, terlihat bahwa bahan pembentuk paving block berfungsi setara dengan semen, yaitu membutuhkan sedikit air untuk menghasilkan pasta semen yang berfungsi sebagai perekat. Oleh karena itu, pasta semen bersama dengan campuran agregat halus yaitu pasir menghasilkan mortar yang mengikat agregat kasar, jika melibatkan kerikil, menjadi suatu kesatuan kompak yang ditandai dengan amalgamasi yang homogen. Hal ini menghasilkan komposisi plastik yang terletak di antara wujud cair dan padat, sehingga memungkinkannya dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian dicetak

menjadi konfigurasi yang diinginkan, yang pada akhirnya mengeras setelah tanpa kelembapan.

2.2.1 Semen

Latin *caementum*, yang berarti memotong menjadi potongan-potongan kecil yang tidak beraturan, berasal dari kata semen dalam bahasa Inggris. Semen diartikan sebagai tepung atau bubuk yang terbuat dari kapur dan bahan lain yang digunakan untuk membuat beton, merekatkan batu bata, atau membangun tembok dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia.

Secara umum semen merupakan suatu bahan yang jika digabungkan dengan pasir dan kerikil akan berfungsi sebagai bahan pengikat serta mempunyai sifat kohesif dan perekat.

Menurut SNI 7064 - 2014, semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan mencampurkan bubuk semen portland dengan bubuk dari bahan anorganik lainnya atau dengan menggiling bersama terak semen portland dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik ini, yang membentuk antara 6% dan 35% massa semen portland komposit, termasuk batu kapur, pozzolan, terak tanur tiup, dan senyawa silikat.

2.2.1.1 Semen dibagi atas dua kelompok, yaitu :

- a. Semen yang tidak stabil atau tidak dapat mengeras dalam air disebut semen non-hidrolik .

Kapur merupakan salah satu contoh bahan pengikat hidrolis yang bukan semen hidrolis. Perekat konstruksi tradisional ini diproduksi dengan memanaskan batu kapur hingga 850°C

- b. Semen yang mempunyai kemampuan memadat di dalam air hingga membentuk padatan yang stabil disebut semen hidrolis.

Semen hidrolis mempunyai ciri-ciri sebagai berikut: tidak larut dalam air, dapat mengeras jika bercampur air, dapat berupa semen portland, semen campuran, atau semen khusus.

2.2.1.2 Jenis-Jenis Semen

a. Semen Putih (*Gray Cement*)

Semen putih digunakan untuk pekerjaan finishing, seperti filler, dan lebih murni dibandingkan semen abu. Batu kapur murni merupakan bahan utama dalam semen jenis ini.

b. Semen Sumur Minyak (*Oil Well Cement*)

Semen sumur minyak adalah jenis semen khusus yang digunakan dalam pengeboran darat dan lepas pantai untuk gas alam atau minyak bumi.

c. Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolik yang terbuat dari klinker tanah, yang bahan utamanya terdiri dari kalsium silikat hidrolik ditambah gipsum.

2.2.1.3 Semen portland di Indonesia dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu:

a. Tipe I

Tipe I adalah perekat hidrolisis yang dibuat dengan cara menggiling klinker, yang sebagian besar terdiri dari kalsium silikat, beserta satu atau lebih senyawa kristal kalsium sulfat sebagai bahan tambahan. Jembatan, gedung, dan bangunan lainnya diaspal menggunakan semen Portland tipe I.

b. Tipe II

Jenis ini memerlukan panas sedang untuk hidrasi dan ketahanan terhadap sulfat. Bendungan, sistem irigasi, dan beton massal yang memerlukan sedikit panas untuk hidrasi merupakan aplikasi untuk semen Portland tipe II.

c. Tipe III

Bila menggunakan semen jenis ini, diperlukan kekuatan yang tinggi pada tahap pertama setelah pengikatan. Untuk struktur seperti jembatan dan pondasi kokoh yang memerlukan kuat tekan tinggi (sangat kuat), digunakan semen Portland tipe III.

d. Tipe IV

Panas hidrasi rendah diperlukan saat menggunakan semen Portland. Saat pengecoran tanpa menghasilkan panas, seperti saat penyemprotan (yang memerlukan waktu pengerasan lama), digunakan semen Portland tipe IV.

e. Tipe V

Semen Portland , yang penerapannya hanya memerlukan tingkat ketahanan sulfat yang tinggi . Fasilitas tenaga nuklir, konstruksi bawah air, jembatan, terowongan, dan pabrik yang mengolah limbahnya termasuk di antara banyak aplikasi semen Portland tipe V.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah adalah bahan pengisi berbahan dasar mineral alami yang digunakan dalam campuran beton dengan ukuran butir kurang dari 5 mm atau lolos saringan No. 4 , tersisa pada mesh No. 200 saringan. Pasir buatan yang terbuat dari mesin penghancur batu (*stone crusher*) atau hasil disintegrasi alami batuan alam merupakan sumber agregat halus.

Gradasi agregat halus yang baik sangat penting untuk menghasilkan beton padat dan meminimalkan penyusutan. Agregat halus mengisi rongga-rongga yang tidak dapat diisi oleh bahan lain. Kategori jenis agregat halus akan diketahui melalui analisis saringan. Jumlah Modulus Kehalusan akan dipastikan dengan analisis saringan.

Agregat halus mempunyai ukuran butiran terbesar yaitu berukuran 4,75 mm sesuai SNI 1969-2016. Agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus mempunyai kehalusan butiran antara 2 sampai 5 mm, bebas dari bahan organik yang menurunkan mutu beton, dan merupakan agregat halus yang terbuat dari butiran keras dan tahan pecah. Agregat juga tidak boleh mengandung kadar lumpur lebih dari 5%.

Pasir adalah istilah umum untuk agregat halus, yang dapat berupa pasir alami yang diambil dari tanah galian atau sungai, atau dapat juga merupakan hasil pemecahan . Agregat dengan ukuran butir kurang dari 4,80 mm umumnya disebut agregat halus. Dalam mengatur kemampuan kerja, kekuatan, dan daya tahan beton, agregat halus merupakan komponen penting bagi pembuat beton.

Syarat-syarat agregat halus (pasir) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

1. Bahan terbuat dari sumber daya alam dengan tingkat kekasaran permukaan yang ideal untuk beton kuat tekan tinggi.
2. Butiran keras, awet (*durable*), tajam dan tidak bereaksi dengan material

beton lainnya.

3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan awet dan padat.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* karena akan membutuhkan semen lebih banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk bulat adalah yang terbaik, karena akan saling mengisi rongga dan jika ada bentuk yang lonjong dan pipih dibatasi maksimal 15% dari berat total agregat.

Pemeriksaan agregat halus diperlukan untuk memastikan kualitas dan atribut bahan yang akan digunakan serta apakah agregat halus memenuhi persyaratan atau tidak. Temuan pemeriksaan ini juga dapat dijadikan informasi dalam desain campuran beton yang akan digunakan untuk pembuatan *paving block*.

Pemeriksaan agregat halus meliputi:

1. Kadar Lumpur

Penentuan jumlah lumpur pada pasir merupakan tujuan pengujian kadar lumpur . Komposisi lumpur tidak boleh lebih dari 5% agregat halus. Bagian yang lolos saringan 200 mm disebut lumpur . Agregat halus perlu dicuci jika kadar lumpurnya melebihi 5%.

2. Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/pasir.

3. Modulus Halus Butir Agregat atau Gradasi Pasir

Distribusi ukuran butiran pasir dikenal dengan gradasi pasir . Volume pori akan tinggi jika ukuran butiran pasir seragam. Sebaliknya, volume pori akan kecil jika ukuran butirnya bervariasi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa butiran kecil menyumbat pori-pori yang dihasilkan oleh butiran yang lebih besar, sehingga pori-pori menjadi lebih sedikit secara keseluruhan— tingkat kompresi yang tinggi.

2.2.3 *Refractory Brick*

Refractory Brick (Batu Bata Tahan Api) bahan anorganik yang bersifat alami atau sintesis dan dapat menahan suhu hingga 1500°C tanpa meleleh atau berubah bentuk. Batu bata tahan api harus mampu mempertahankan kekuatan dan bentuknya dalam berbagai situasi dan suhu tinggi. Batu bata tahan api digunakan untuk menahan laju perpindahan panas dari tungku ke bagian luar.

Beberapa sifat dari *Refractory Brick* yang diperlukan ialah sebagai berikut:

1. Tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak
2. Tahan terhadap suhu tinggi
3. Tahan terhadap beban dan gaya abrasi
4. Tahan terhadap lelehan slag logam, kaca, dan gas panas
5. Menghemat panas
6. Tidak boleh mencemari bahan yang bersinggungan
7. Memiliki koefisien ekspansi panas yang rendah

Beberapa sifat fisik dari batu bata tahan api ini sebagai berikut.

1. Titik leleh
2. Porositas
3. Ekspansi Thermal
4. Konduktivitas panas
5. Temperatur Pengolahan
6. Susut
7. Kekuatan terhadap panas dan dingin

Menurut ketahanannya terhadap temperatur pembagian dari *Refractory Brick*, yaitu sebagai berikut.

1. *Refractory* biasa (1580°C – 1770°C)
2. *Refractory* tinggi (1780°C – 2000°C)
3. *Refractory* super (>2000°C)

Adapun beberapa jenis *Refractory* pada Tabel 2 dan pada Gambar 2 adalah gambar *Refractory Brick* sebagai berikut:

Tabel 2 Jenis *Refractory*

<i>Acid</i>	<i>Basic</i>	<i>Neutral</i>	<i>Special</i>
<i>Fire brick</i>	<i>Magnesite</i>	<i>Chromite</i>	<i>Pure alumina</i>
<i>Semi silika</i>	<i>Dolomite</i>	<i>Carbon</i>	<i>Zirconthoria</i>
<i>Silika</i>	<i>Chrome Magnesite</i>	<i>Grafit</i>	<i>Spinel</i>
	<i>Forsterite</i>	<i>Silicon Carbide</i>	<i>Boran nitride</i>



Gambar 2 *Refractory Brick*

Refraktori netral yang paling umum adalah alumina dan kromia. Produksi refraktori Chromia telah menurun selama dekade slaghir karena masalah lingkungan dengan pembentukan kromium heksavalen. Oleh karena itu, refraktori alumina adalah bahan netral yang paling tersedia. Bahan-bahan ini digunakan secara luas oleh industri logam karena suhu lelehnya yang tinggi, harga sedang, dan kemampuan untuk digunakan dalam lingkungan asam dan basa, Berikut Tabel 3 bahan baku refraktori jenis netral.

Tabel 3 Bahan Baku Refraktori Jenis Netral

<i>Bauxite</i>	-Campuran antara boechmit (AlO.OH) dan diaspore (α -AlO.OH), gibbsite {Al(OH) ₃ }. -Hasil leaching pelapukan silika dari batuan yang kaya alumina (granit, syenit).
Corundum / Alumina	-Formula Al ₂ O ₃ -Kadar Al ₂ O ₃ 88 – 99% -Titik lebur 1850 – 2050 °C -Merupakan mineral tambahan pada batuan metamorf (mica-schist, gneiss)
Carbon	-Coke, Antrachite, Bituminous, Graphite, Charcoal -Titik lebur 2000 – 2990 °C -Termal ekspansi rendah -Ketahanan terhadap suhu kejut bagus -Tidak mudah terbasahi oleh cairan besi
<i>Silicon Carbide</i>	-SiC (85-99 %) -Titik lebur 1730 – 2000 °C -Ketahanan terhadap suhu kejut bagus -Kekuatan pada suhu tinggi bagus

Pemanfaatan *Refractory Brick* (Batu Bata Tahan Api)

Berdasarkan Tabel 4, Lampiran IX PP No. 22 Tahun 2021, Limbah Refraktori dikategorikan sebagai Limbah B3 dengan kode limbah **B417** dengan kategori bahaya termasuk **Kategori 2**.

2.2.4 Abu Batu

Abu batu merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan untuk membuat campuran bahan bangunan karena dapat digunakan sebagai agregat halus pengganti pasir pada

campuran beton dan aspal. Abu batu merupakan agregat halus yang lolos saringan diameter 4,75 mm dan tertahan oleh saringan 0,075 mm . Saat ini banyak sekali hasil samping dari industri pemecah batu , salah satunya adalah abu batu. Karena sebagian besar lapisan beton aspal telah menggantikan Lapen dalam konstruksi perkerasan jalan, abu batu saat ini tidak terlalu laku di pasaran karena penggunaannya yang terbatas di industri. Abu batu pada alat pemecah batu menjadi bahan limbah yang perlu ditangani karena lapisan perkerasan lapen yang biasanya ditanami abu batu pada lapisan atasnya telah tergantikan dengan pasir.

2.2.5 Air

Air adalah salah satu komponen kunci beton. Air digunakan dalam produksi beton untuk membantu memulai reaksi kimia pada semen dan membasahi agregat, sehingga pekerjaan menjadi lebih mudah. Oleh karena itu, air diperlukan untuk memulai reaksi semen dan bertindak sebagai pelumas di antara butiran agregat untuk memfasilitasi pemadatan.

Umumnya campuran dapat dibuat dengan air minum. Air yang digunakan sebagai bahan campuran harus murni dan bebas dari bahan-bahan yang dapat merusak struktur *paving block*, seperti minyak, asam, alkali, atau bahan organik . Selain itu, penggunaannya dalam campuran *paving block* akan menurunkan kualitasnya. Pemakaian air untuk *paving block* sebaiknya memenuhi persyaratan (PBI 1971):

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

2.3 Kuat Tekan

Besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton runtuh karena gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh suatu pengepresan disebut dengan kuat tekan beton (f'_c), menurut SNI 1974-2011 . Dengan membagi beban maksimum yang ditopang benda uji selama pengujian dengan luas penampang rata-rata yang ditentukan, nilai kuat tekan beton dapat ditentukan.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

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

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

SNI 03 - 0691 - 1996 menyatakan bahwa nilai kuat tekan batako (paving block) termasuk dalam kategori batako beton (paving block). Pengkategorian ini didasarkan pada empat mutu yaitu mutu A, B, C, dan D yang ditentukan berdasarkan kelas mutu dan nilai uji kuat tekan.

2.4 Penyerapan Air Pada *Paving Block*

Persentase berat air yang dapat diserap oleh *paving block* melalui pori-porinya disebut serapan air. Berat *paving block* kering dan basah (setelah direndam dalam air) dapat dibandingkan untuk mendapatkan hasil tersebut. Benda uji dipanggang selama 24 jam pada suhu ± 105 °C untuk mengetahui berat *paving block* kering.

Percobaan menghasilkan berat basah dan berat kering paving block, sehingga dapat dilakukan perhitungan kapasitas resapan air menggunakan SNI 03-0691-1996 dan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

A = berat bata beton basah

B = berat bata beton kering

2.5 Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Keausan (*wear*) adalah proses hilangnya lapisan permukaan suatu benda akibat gesekan antar permukaannya. Dengan menggunakan prosedur keausan agregat kasar ,

metode pengujian ini menggunakan 75 mm (3 inci) sampai dengan ukuran 2.36 mm (saringan No.8) dengan menggunakan mesin abrasi *los angeles* (SNI 2417:2008).

2.5.1 Jenis-jenis keausan dan penyebabnya :

Keausan mekanis di terbagi 4, yaitu:

a. Abrasive wear

Keausan akibat permukaan lunak terpotong oleh permukaan kasar dan keras, sehingga kehilangan material pada permukaan lunak.

b. Adhesive wear

Permukaan lunak yang bergesekan dengan permukaan keras menyebabkan keausan ini.

c. Flow wear

Saat permukaan lunak meleleh dan bergerak sebagai respons terhadap kontak dengan benda lain, keausan seperti ini terjadi.

d. Fatigue wear

Permukaan benda yang terkena beban berulang-ulang akan menjadi aus dan akibatnya retak.

2.5.2 Hal-hal yang terjadi selama proses keausan, yaitu:

1. Teori *sliding contact*

Akibat gesekan permukaan benda yang bersentuhan. Semua benda bergesek, termasuk udara, air, dan benda padat. Gesekan dapat menyebabkan benda padat dengan permukaan licin aus.

2. Teori *rolling contact*

Dapat terjadi dengan atau tanpa gesekan; dalam kasus terakhir, hanya ada perubahan sudut dan tidak ada perpindahan.

3. Teori *sliding-rolling contact*

Keadaan dimana terjadi gesekan antara dua benda akibat putaran dan beban.

2.5.3 Pembagian Gradasi

Pembagian ini di buat karena adanya perbedaan ukuran tiap butiran agregat, sehingga dibagi menjadi 8, yaitu

1. Gradasi A

Agregat yang lolos pada saringan $1^{1/2}$ in dan tertahan pada saringan 3/8 in dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 5000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 12 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 500 putaran.

2. Gradasi B

Agregat yang lolos pada saringan $3/4$ in dan tertahan pada saringan 3/8 in dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 5000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 11 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 500 putaran.

3. Gradasi C

Agregat yang lolos pada saringan 3/8 in dan tertahan pada saringan No. 4 dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 5000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 8 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 500 putaran.

4. Gradasi D

Agregat yang lolos pada saringan $1/4$ in dan tertahan pada saringan No. 8 dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 5000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 6 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 500 putaran.

5. Gradasi E

Agregat yang lolos pada saringan 3 in dan tertahan pada saringan $1^{1/2}$ in dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 10000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 12 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 1000 putaran.

6. Gradasi F

Agregat yang lolos pada saringan 2 in dan tertahan pada saringan 1 in dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 10000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 12 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 1000 putaran

7. Gradasi G

Agregat yang lolos pada saringan 1^{1/2} dan tertahan pada saringan 3/4 in dan contoh massa agregat yang diambil sebanyak 10000 gram dan bola baja digunakan sebanyak 12 biji dengan jumlah putaran pada mesin abrasi los angeles yaitu 1000 putaran.

Untuk menghitung hasil pengujian, berdasarkan SNI 2417:2008 maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Keausan = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

A = berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram

B = berat benda uji tertahan saringan No.12 (1.70 mm), dinyatakan dalam gram

2.6 Ketahanan Terhadap Natrium Sulfat (Na₂SO₄)

Senyawa natrium sulfat (Na₂SO₄) dihasilkan ketika asam sulfat (H₂SO₄) dan sulfat (NaCl) bereaksi membentuk garam natrium. Senyawa ini digunakan dalam berbagai proses, termasuk produksi deterjen, sampo, dan sabun. Natrium sulfat (Na₂SO₄) sendiri berfungsi untuk mempercepat proses pencampuran. Pengujian ketahanan *paving block* terhadap Na₂SO₄ bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan kimia pada *paving block* yang dibuat.

2.7 Penelitian Terdahulu

Ksenija Jankovic dkk (2011) melakukan penelitian yang berjudul *Paving Block Beton Dan Bendera Dibuat Dengan Batu Bata Hancur Sebagai Agregat (Concrete Paving Block And Flags Made With Crushed Brick As Aggregate)*. Dimana

kesimpulan dari penelitian tersebut yaitu kepadatan beton menurun karena persentase agregat bata daur ulang meningkat. Penyerapan air beton meningkat dengan tingkat penggantian bata hancur. Beton dengan 100% substitusi agregat alam memiliki daya serap air 12% lebih tinggi dari pada beton dengan 25% bata daur ulang sebagai agregat, tetapi memenuhi uji freeze/thaw yang berarti beton berbahan dasar bata pecah memiliki kinerja daya tahan yang baik. Kuat tekan dan tarik balok beton dan kuat lentur paving flag menurun dengan meningkatnya persentase agregat bata daur ulang. Penyerapan air paving block dan bendera melebihi batas 6%. Mass loss untuk semua jenis balok beton dan bendera setelah uji freeze/thaw adalah 61,0 kg/m², sehingga memenuhi persyaratan kelas ketahanan cuaca terbaik menurut standar Eropa. Ketahanan abrasi elemen paving menurun karena persentase agregat daur ulang meningkat. Semua jenis beton mampu memenuhi persyaratan minimum standar Eropa. Dimungkinkan untuk menggunakan hingga 32,5% bata daur ulang sebagai agregat untuk membuat paving block beton yang memenuhi persyaratan EN 1338. Produksi bendera paving beton dimungkinkan dengan batu bata daur ulang sebagai agregat. Kualitas elemen tergantung pada tingkat penggantian agregat alam. Dimungkinkan untuk mendapatkan bendera paving, menurut EN 1339, kekuatan lentur Kelas 1 dengan 65% bata daur ulang sebagai agregat, Kelas 2 untuk kekuatan lentur dengan tingkat penggantian 50% dan 60% dan yang terbaik, Kelas 3, dengan tingkat penggantian batu bata yang dihancurkan hingga 32,5%.

Ardalan Baradaran dkk (2017) melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Suhu Tinggi Terhadap Sifat Mekanika Beton Dengan Agregat Halus Bata Refraktori Daur Ulang Dan Semen Aluminat (*The Effect Of Elevated Temperatures On The Mechanical Properties Of Concrete With Fine Recycled Refractory Brick Aggregate And Aluminate Cement*). Dimana membahas tentang Sebuah program eksperimental untuk penggunaan kembali agregat halus bata refraktori dalam dua kelompok semen Portland biasa dan semen kalsium aluminat. Secara total, sepuluh campuran beton digunakan selama program ini, dan parameter kehilangan berat, kuat tekan, dan modulus elastisitas spesimen setelah terpapar suhu 110, 200, 400, 600, 800, dan 1000 C diselidiki. Berdasarkan temuan penelitian, kesimpulan berikut dapat diambil : 1.

Kekuatan tekan semua benda uji menurun dengan meningkatnya suhu, dengan hilangnya kekuatan tekan pada benda uji yang mengandung semen biasa setelah mengalami 400 °C menjadi lebih kuat dibandingkan dengan suhu lainnya. Kehilangan kekuatan tekan untuk spesimen yang mengandung semen aluminat tinggi pada 110 °C, dan lajunya menurun di atas suhu ini. Selain itu, pada 1000 °C, spesimen yang mengandung semen aluminat menunjukkan sedikit peningkatan kekuatan. 2. Pada suhu di atas 800 °C, benda uji yang mengandung bata tahan api dan semen aluminat menunjukkan kekuatan tekan yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton normal, yang disebabkan oleh pembentukan ikatan keramik dan persentase penggantian agregat halus bata tahan api. Dalam hal ini, kekuatan benda uji yang mengandung 100% bata tahan api dan semen aluminat diperoleh sekitar dua kali lipat kekuatan benda uji beton normal. 3. Modulus elastisitas semua spesimen menurun dengan meningkatnya suhu. Di atas suhu 200 °C dan mencapai 400 °C, penurunan drastis diamati pada modulus elastisitas, dengan spesimen yang mengandung semen aluminat menunjukkan nilai reduksi yang lebih tinggi, yang menunjukkan peningkatan tajam dalam tingkat porositas spesimen beton pada suhu ini. Pengurangan modulus rata-rata pada 400 °C dalam kaitannya dengan modulus suhu referensi untuk spesimen yang mengandung aluminat dan semen biasa masing-masing sekitar 90 dan 70%. 4. Berbeda dengan yang terlihat pada pengujian kuat tekan, penggunaan agregat halus bata tidak memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap peningkatan modulus elastisitas beton yang terkena api. Selanjutnya, mengingat struktur berpori, menggunakan semen aluminat menyebabkan penurunan yang signifikan dalam modulus elastisitas beton yang mengalami peningkatan suhu. 5. Kehilangan berat beton yang dipanaskan dalam spesimen dari masing-masing kelompok termal hampir mirip satu sama lain, dengan pengecualian suhu 800 dan 1000 °C, di mana perbedaan diamati di antara nilai kehilangan berat, karena resistensi dan refraktori yang lebih tinggi. agregat bata serta indeks tahan api mereka terhadap suhu tinggi. Namun, perbedaan ini lebih kecil pada spesimen dengan semen aluminat. 6. Melalui inspeksi visual permukaan beton setelah terpapar panas, perubahan warna diamati pada 200 °C, dan ketika suhu meningkat di atas itu, retakan secara bertahap muncul di permukaan beton,

dan dengan peningkatan suhu lebih lanjut, lebar dan kedalaman retakan ini berkembang. 7. Porositas dan penyerapan air semua benda uji yang mengandung semen biasa dan aluminat (kecuali RB100AC) diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan benda uji normal (RB00C), yang menunjukkan bahwa berbagai tingkat penggantian bata tahan api tidak menghasilkan porositas beton dan peningkatan penyerapan air. . Sehubungan dengan hasil percobaan, nilai porositas dan penyerapan air terendah dan tertinggi masing-masing dimiliki oleh spesimen RB250C dan RB100AC.

Sai Rahul D dkk (2020) melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Limbah Bata Dan Halus Limbah Bata Sebagai Agregat Halus Terhadap Sifat *Paving Block* (*Influence Of Brick Waste And Brick Waste Fines As Fine Aggregate On The Properties Of Paving Block*).

Dimana, kesimpulan dari penelitian tersebut yaitu 1. Meningkatnya kandungan limbah batu bata dan kadar halus batu bata mengakibatkan sifat RAPB berkurang. 2. RAPB yang memiliki 25% dan 50% penggantian agregat halus konvensional dengan limbah batu bata dengan kandungan halus hingga 20% dapat sesuai untuk kategori Non Lalu Lintas, karena memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata 28 hari. 3. Berdasarkan kriteria kuat tekan, persentase penggantian limbah batu bata dapat diperpanjang hingga 75%, dengan kadar halus campuran RAPB dibatasi hingga 10%. Padahal, daya serap air Paving block 3% lebih tinggi dari nilai batas. 4. Peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tekan Paving block diamati setelah 90 hari perawatan. 5. Dengan mengontrol kandungan fines dalam RAPB, penyimpangan sifat densitas dan kekuatan mekanik dapat dikontrol secara signifikan. 6. Pemanfaatan limbah batu bata C dan D dalam produksi RAPB mengarah pada pemanfaatan limbah C dan D yang lebih besar dan juga menghasilkan praktik konstruksi yang berkelanjutan.

Oluwarotimi Olofinnadea dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul Pengelolaan Sampah Padat Di Negara Berkembang: Penggunaan Kembali Agregat Slag Baja Dalam Produksi *Paving Block* Beton Yang Ramah Lingkungan (*Solid Waste Management In Developing Countries: Reusing Of Steel Slag Aggregate In Eco-Friendly Interlocking Concrete Paving Blocks Production*). Studi ini mengevaluasi kinerja slag tungku sebagai pengganti pasir alam dalam produksi paving block beton

interlocking. Berdasarkan temuan penelitian, kesimpulan berikut dapat diambil, yaitu

1. Studi ini menunjukkan kemungkinan penggunaan slag baja limbah dalam produksi unit blok beton interlocking yang ramah lingkungan dengan kepadatan lebih tinggi dibandingkan dengan paving beton interlocking konvensional.
2. Hasilnya menunjukkan peningkatan kekuatan tekan yang stabil dari batu paving yang saling mengunci dengan peningkatan proporsi slag tungku. Namun, itu hanya meningkat hingga 40% setelah itu ada kehilangan kekuatan. Oleh karena itu, ini menunjukkan bahwa 40% optimum adalah persentase maksimum slag tungku untuk menggantikan pasir alam tanpa mengurangi kekuatan paving block beton.
3. Studi ini juga menunjukkan penurunan kekuatan tarik belah paving block beton seiring dengan meningkatnya jumlah agregat slag. Namun, perkerasan beton dengan penggantian slag 20% optimal untuk pasir mencatat kekuatan tarik tertinggi dibandingkan dengan kontrol.
4. *Paving block* kontrol diamati menunjukkan kapasitas penyerapan air tertinggi. Sedangkan penyerapan air menurun dengan bertambahnya jumlah agregat WSF untuk semua sampel.
5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *paving block* beton interlocking yang mengandung slag tungku memenuhi standar yang ditentukan dalam hal kekuatan untuk unit *paving block* interlocking yang dapat digunakan di area untuk aplikasi non-lalu lintas seperti jalur pejalan kaki dan lanskap, atau untuk jalan masuk dengan lalu lintas sangat ringan untuk bangunan gedung dan area parkir mobil. Studi ini menunjukkan bahwa material slag baja bekas dapat dimanfaatkan dalam produksi paving block beton interlocking yang ramah lingkungan untuk membantu mencegah pencemaran lingkungan dan pembuangan sembarangan pada lingkungan. Studi ini juga dengan jelas menunjukkan bahwa slag dapat diadopsi sebagai bahan konstruksi inovatif alternatif dalam konstituen beton untuk mencapai pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan dan penghijauan lingkungan.

Manuel Cabrera dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul *Kelayakan Penggunaan Agregat Beton Daur Ulang Dengan Alumina Limbah Dalam Konstruksi Jalan (Feasible Use Of Recycled Concrete Aggregates With Alumina Waste In Road Construction)*. Dimana kesimpulan dari penelitian tersebut yaitu membahas tentang perilaku mekanik RCA dan kombinasi RCA dengan residu alumina dievaluasi dan

dibandingkan dengan kerikil buatan (AG). Campuran RCA dan alumina yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas muat yang lebih tinggi pada 28 hari (CBR = 105) daripada kerikil buatan (CBR = 95), menunjukkan kapasitas penyemenan RCA karena partikel semen yang tidak terhidrasi dan unsur komposisi residu alumina dengan persentase Al yang tinggi. Selama proses pemadatan, lapisan yang dibuat dengan RCA dan RCA + AW membutuhkan kelembapan yang lebih tinggi, serta kontrol yang lebih menuntut, daripada lapisan jalan yang dibuat dengan bahan alami. Telah ditunjukkan bahwa RCA, serta campuran RCA dengan AW, merupakan pilihan yang layak sebagai bahan mentah untuk lapisan struktural jalan yang tidak terkonsolidasi, memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh peraturan Spanyol (PG3) untuk digunakan sebagai bahan jalan. Evolusi jangka panjang yang dianalisis dengan penyimpangan dampak menunjukkan bahwa nilai modulus meningkat secara signifikan, menunjukkan pola yang sama di semua bagian, dengan perilaku mekanis dari sampel agregat daur ulang sama atau lebih baik daripada sampel agregat daur ulang (dan agregat daur ulang dengan AW). sampel kontrol. Secara umum, penggunaan bahan AWa yang dicampur dengan RCA dapat digunakan dalam konstruksi lapisan struktur jalan asalkan proses konstruksi yang sesuai dan spesifik diadopsi dalam penerapannya, menjadi alternatif untuk daur ulang dan ekonomi sirkular.