

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK PAVING BLOK YANG TERBUAT DARI
LIMBAH BATU BATA TAHAN API DAN SEMEN PORTLAND
KOMPOSIT**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANUGRAH PASAPAN
D011 19 1097**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KARAKTERISTIK PAVING BLOK YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU BATA TAHAN API DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

Disusun dan diajukan oleh

Anugrah Pasapan
D011 19 1097

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 1968052920021210

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Anugrah Pasapan
NIM : D011191097
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Karakteristik Paving Blok yang Terbuat dari Limbah Batu Bata Tahan Api dan Semen Portland Komposit}

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, 23 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Handwritten signature of Anugrah Pasapan.

Anugrah Pasapan

ABSTRAK

ANUGRAH PASAPAN. *Karakteristik Paving Blok yang Terbuat dari Limbah Batu Bata Tahan Api dan Semen Portland Komposit* (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng dan Dr.Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng.)

Perkembangan teknologi membuat kebutuhan bahan-bahan konstruksi salah satunya batu bata tahan api semakin meningkat. Saat ini, PT. Vale Indonesia memproduksi sekitar 4.500 ton dinding tungku per tahun yang tergolong limbah. Penggunaan bata tahan api sebagai pengganti agregat saat ini masih terbatas karena bata remanufaktur terkontaminasi logam berbahaya dari proses peleburan bijih nikel internal PT. Vale Indonesia. Penerapan bata tahan api sebagai agregat, jika digunakan secara luas akan memberikan dampak ekonomi yang sangat besar bagi dunia usaha, pemerintah dan masyarakat sekitar. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kuat tekan pada paving blok, menganalisis *ultrasonic pulse velocity test (UPV)* pada paving blok, dan untuk menganalisis kadar air pada paving blok yang menggunakan batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Universitas Hasanuddin. Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2022 hingga Maret 2023. Bahan penyusun paving blok berupa agregat halus, batu bata tahan api, semen, abu batu dan air. Rancangan campuran variasi yaitu kontrol, dan 15% RB, 30% RB, 50% RB, 100% RB sebagai substitusi agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan untuk sampel RB Converter, RB Furnace Roof, RB Furnace Sidewall memenuhi klasifikasi mutu B. Untuk pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, nilai kecepatan gelombang ultrasonik tertinggi untuk sampel RB Converter, RB Furnace Roof, RB Furnace Sidewall berturut-turut ialah sebesar 3,896 km/s; 3,753 km/s; dan 3,687 km/s. Sedangkan untuk pengujian penyerapan air, nilai penyerapan air menunjukkan bahwa semua variasi paving Blok memenuhi klasifikasi penyerapan air paving blok mutu A.

Kata Kunci: Batu Bata Tahan Api, Paving Blok, Kuat Tekan, *UPV*, Penyerapan Air

ABSTRACT

ANUGRAH PASAPAN. *Characteristics of Paving Bloks Made from Waste Refractory Bricks and Composite Portland Cement* (supervised by Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng and Dr.Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng.,)

Technological developments have increased the need for construction materials, one of which is refractory bricks. Currently, PT. Vale Indonesia produces around 4,500 tonnes of furnace wall per year which are classified as waste. The use of refractory bricks as a substitute for aggregate is currently still limited because the remanufactured bricks are contaminated with harmful metals from PT. Vale Indonesia. The application of refractory bricks as an aggregate, if widely used, will have a huge economic impact on the business world, the government and the surrounding community. The aims of this study were to analyze the compressive strength of paving Bloks, to analyze the ultrasonic pulse velocity test (UPV) on paving Bloks, and to analyze the water content of paving Bloks using alumina and magnesia refractory bricks as a substitute for sand. This research was conducted at the Structures and Materials Laboratory, Hasanuddin University. The research was conducted from September 2022 to March 2023. The ingredients for paving Bloks are fine aggregate, refractory bricks, cement, rock ash and water. The mixed design variations were control, and 15% RB, 30% RB, 50% RB, 100% RB as fine aggregate substitution. The results showed that the compressive strength values for the samples RB Converter, RB Furnace Roof, RB Furnace Sidewall met the quality classification B. For the Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test, the highest ultrasonic wave velocity value was for the samples RB Converter, RB Furnace Roof, RB Furnace Sidewall successively is 3,896 km/s; 3,753 km/s; and 3,687 km/s. As for the water absorption test, the water absorption value showed that all paving Blok variations met the water absorption classification of quality A paving Bloks.

Keywords: Refractory Bricks, Paving Bloks, Compressive Strength, UPV, Water Absorption

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	11
BAB I PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	14
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan	14
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan	15
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	16
2.1 Penelitian Terdahulu	16
2.1.1 Klasifikasi	22
2.1.2 Syarat Mutu.....	22
2.1.3 Bentuk dan Dimensi <i>Paving</i> Blok	23
2.1.4 Keuntungan <i>Paving</i> Blok	24
2.1.5 Kelemahan <i>Paving</i> Blok	24
2.2 Bahan Penyusun <i>Paving</i> Blok.....	24
2.2.1 Semen.....	25
2.2.2 Agregat Halus	28
2.2.3 Refractory Brick	30
2.2.4 Air	32
2.3 Pengujian Kuat Tekan.....	33
2.4 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	34
2.5 Penyerapan Air <i>Paving</i> Blok.....	35
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Metode Penelitian.....	36
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.3 Jenis dan Sumber Penelitian.....	38
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	39
3.5 Desain Benda Uji	40
3.6 Pembuatan Benda Uji.....	41
3.7 Perawatan Benda Uji.....	43
3.8 Pengujian Benda Uji	43
3.8.1 Uji Kuat Tekan <i>Paving</i> Blok.....	43
3.8.2 Uji Penyerapan Air <i>Paving</i> Blok	45
3.8.3 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Karakteristik Agregat	47

4.2 Rancangan Campuran Beton.....	48
4.3 Kuat Tekan Bata Beton (Paving Blok).....	49
4.4 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	53
4.5 Penyerapan Air.....	57
4.6 Hubungan Kuat Tekan dan Penyerapan Air.....	61
BAB V KESIMPULAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram Alur Penelitian	38
Gambar 2 Refractory Brick Furnace Sidewall tipe Alumina	39
Gambar 3 Refractory Brick Furnace Roof tipe Alumina	39
Gambar 4 Refractory Brick Converter tipe Magnesia.....	40
Gambar 5 Abu Batu.....	40
Gambar 6 Air tawar	40
Gambar 7 Semen Portland Komposit (PCC).....	40
Gambar 8 Agregat Halus	40
Gambar 9 Benda Uji.....	41
Gambar 10 Curing Lapangan	43
Gambar 11 Universal Testing Machine (UTM)	43
Gambar 12 Data logger beserta satu set komputer	44
Gambar 13 Pengujian Kuat Tekan Paving Blok.....	44
Gambar 14 Pengujian Penyerapan Air Paving Blok	45
Gambar 15 Pengujian UPV Paving Blok	46
Gambar 16 Kuat tekan paving blok substitusi agregat halus RB Converter pada umur 28 hari	49
Gambar 17 Kuat tekan paving blokk substitusi agregat halus RB Furnace Roof pada umur 28 hari.	50
Gambar 18 Kuat tekan paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Sidewall pada umur 28 hari.	51
Gambar 19 Grafik gabungan kuat tekan paving blok substitusi agregat halus RB pada umur 28 hari.....	53
Gambar 20 UPV paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Converter pada umur 28 hari.	54
Gambar 21 UPV paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Roof pada umur 28 hari.....	55
Gambar 22 UPV paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Sidewall pada umur 28 hari	57
Gambar 23 Grafik gabungan UPV paving blok substitusi agregat halus RB pada umur 28 hari	58
Gambar 24 Penyerapan air paving blok substitusi agregat halus RB Converter ..	59
Gambar 25 Penyerapan air paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Roof	59
Gambar 26 Penyerapan air paving blok substitusi agregat halus RB Furnace Sidewall	59
Gambar 27 Grafik gabungan penyerapan air paving blok substitusi agregat halus <i>refractory brick</i>	60
Gambar 28 Hubungan antara kuat tekan dengan penyerapan air paving blok substitusi agregat halus <i>RB Converter</i>	61
Gambar 29 Hubungan antara kuat tekan dengan penyerapan air paving blok substitusi agregat halus <i>RB Furnace Roof</i>	61
Gambar 30 Hubungan antara kuat tekan dengan penyerapan air paving blok substitusi agregat halus <i>RB Furnace Sidewall</i>	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat-sifat fisik (SNI 03-0691-1996)	23
Tabel 2 Jenis <i>Refractory</i>	31
Tabel 3 Bahan Baku <i>Refractory</i> Jenis Netral	32
Tabel 4 Variasi Benda Uji Paving Blok	41
Tabel 5 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	48
Tabel 6 Komposisi Campuran Paving Blok	48

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
FM	<i>Fine Modulus</i>
RB	<i>Refractory Brick</i>
$f'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm ²)
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang melintang benda uji (mm ²)
v	Kecepatan gelombang longitudinal (km/s)
L	Panjang lintasan beton yang dilewati (km)
T	Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan L (s)
a	Berat bata beton basah
b	Berat bata beton kering

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Persiapan Material.....	67
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	67
Lampiran 3. Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	68
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Benda Uji.....	68

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 terganggu 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 I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membagikan ilmu dan mempelajaran 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 mama tersayang, Rante Pasapan yang telah melahirkan, menyayangi dan mendidik penulis selama ini. Juga bapa terkasih, Salvinus Ranggatau yang telah menyayangi, mendidik, serta banyak mendukung penulis selama ini.
2. Seluruh rumpun keluarga, terlebih khusus untuk nenek, kak Nancy, kak Ani serta keluarga lainnya yang doa dan dukungannya baik secara spiritual dan materi yang selalu mendukung penulis.
3. Keluarga besar KMKT yang menjadi rumah kedua beratapkan doa dalam amin yang sama, yang telah memberi banyak kesempatan, pembelajaran, serta kasih persaudaraan. Salam Solitas, Jayalah KMKT-UH.
4. Teman-teman KMKO Sipil 2019, yang senantiasa memberi warna kebersamaan dan keseruan dalam hari-hari penulis.
5. Saudara-saudariku Portland 2020, Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 2019, 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, 23 Oktober 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan konstruksi yang lebih modern baik itu memiliki sifat anti panas ataupun tahan api kini sangat dibutuhkan. 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. Penggunaan bata tahan api sebagai pengganti agregat saat ini masih terbatas karena bata remanufaktur terkontaminasi logam berbahaya dari proses peleburan bijih nikel internal PT.Vale Indonesia. Penerapan bata tahan api sebagai agregat, jika digunakan secara luas akan memberikan dampak ekonomi yang sangat besar bagi dunia usaha, pemerintah dan masyarakat sekitar.

Paving Blok 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 (SNI 03-0691-1996). Syarat mutu paving Blok yaitu pertama sifat tampak, bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirapihkan dengan kekuatan jari tangan. Kedua ukuran, bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi + 8%. Ketiga sifat fisika, bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 1 (SNI 03-0691-1996).

Refraktori adalah suatu bahan yang kekuatannya bertahan pada suhu tinggi. Batu bata tahan api yang digunakan sebagai isolator panas, refraktori bekas

diproduksi di semua unit pengolahan (*dryer, reduction kiln, furnace* dan *converter*). Berdasarkan komposisi kimia penyusunnya, material refraktori dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu refraktori asam seperti silika, refraktori netral seperti alumina dan refraktori basa seperti magnesit, serta refraktori khusus seperti karbo, silikon karbida, dan lainnya. Kemudian penulis berinisiatif untuk mengangkat judul **“KARAKTERISTIK PAVING BLOK YANG TERBUAT DARI LIMBAH BATU BATA TAHAN API DAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dirumuskan beberapa masalah:

1. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir terhadap nilai kuat tekan paving blok?
2. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir terhadap nilai *ultrasonic pulse velocity test* pada paving blok?
3. Bagaimana pengaruh limbah batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir terhadap nilai kadar air pada paving blok?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengidentifikasi nilai kuat tekan pada paving blok yang menggunakan batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir.
2. Untuk mengidentifikasi nilai *ultrasonic pulse velocity test* pada paving blok yang menggunakan batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir.
3. Untuk mengidentifikasi kadar air pada paving blok yang menggunakan batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui nilai kuat tekan, *ultrasonic pulse velocity test* dan nilai kadar air pada paving blok dengan limbah batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia sebagai pengganti pasir.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan

Mengingat banyak hal yang dapat mempengaruhi dalam suatu perencanaan paving blok, maka permasalahan dalam penulisan tesis ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. *Refractory Brick* (batu bata tahan api) yang digunakan ialah batu bata tahan api tipe alumina dan magnesia.
2. Pedoman yang dipakai sebagai acuan adalah SNI 03-0691-1996.
3. Semen yang digunakan pada penelitian ini diproduksi oleh PT. Semen Tonasa dan memenuhi standar SNI-2049-2015.
4. Limbah batu bata tahan api yang digunakan sebagai pengganti pasir berasal dari PT. Vale Indonesia.
5. Air yang digunakan adalah air sumur bor yang berada di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
6. Benda uji berbentuk persegi panjang dengan ukuran = 20 x 10 x 6 cm.
7. Jumlah benda uji yang direncanakan 5 variasi masing-masing terdiri dari 5 benda uji.
8. Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara manual menggunakan cetakan khusus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Bata beton (*paving* Blok) 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).

Ksenija Jankovic dkk (2011) melakukan penelitian yang berjudul *Paving Blok Beton Dan Bendera Dibuat Dengan Batu Bata Hancur Sebagai Agregat (Concrete Paving Blok 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 Blok 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 Blok 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%.

Manuel Cabrera dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul *Kelayakan Penggunaan Kelayakan Peggunaan 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 (dan agregat daur ulang dengan AW) 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.

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 hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 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 Blok (*Influence Of Brick Waste And Brick Waste Fines As Fine Aggregate On The Properties Of Paving Blok*). 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 Blok 3% lebih tinggi dari nilai batas.
4. Peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tekan Paving Blok 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 Blok Beton Yang Ramah Lingkungan (Solid Waste Management In Developing Countries: Reusing Of Steel Slag Aggregate In Eco-Friendly Interlocking Concrete Paving Bloks Production)*. Studi ini mengevaluasi kinerja slag tungku sebagai pengganti pasir alam dalam produksi paving Blok beton interlocking. Berikut kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini 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 Blok beton. 3.Studi ini juga menunjukkan penurunan kekuatan tarik belah paving Blok 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 Blok 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 Blok beton interlocking yang mengandung slag tungku memenuhi standar yang ditentukan dalam hal kekuatan untuk unit paving Blok 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 Blok 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. Namun, perhatian khusus harus difokuskan pada kebutuhan pelapukan agregat slag yang memadai sebelum digunakan dalam beton.

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

(A.Luther Ola dkk, 2019) Limbah padat fly ash dihasilkan dalam jumlah besar di pabrik minyak nabati. Limbah tersebut tidak dapat ditimbun sembarangan. Oleh sebab itu, ketidakterediaan lokasi penimbunan di luar pabrik akan menimbulkan berbagai masalah bagi pabrik, seperti penurunan ruang terbuka dan nilai estetika, pencemaran debu, dan lain sebagainya. Penelitian pemanfaatan fly ash dari limbah padat industri minyak nabati telah dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk paving Blok. Perlakuan penelitian adalah variasi volume fly ash, pasir kasar, sedangkan agregat pasir halus dan semen

Portland adalah konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fly ash dari limbah padat batubara pabrik minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan pengisi paving Blok. Hasil uji fisik sampel penelitian dengan merujuk pada SNI. 03-0691-1996 menunjukkan bahwa perlakuan A1B2 menghasilkan produk dengan kuat tekan tertinggi (22,34 MPa) sedangkan perlakuan A3B3 menghasilkan produk dengan kuat tekan terendah (18,58 MPa). Hasil uji penyerapan air untuk semua perlakuan memberikan nilai dengan kisaran (2,41-4,48) %, dan dengan demikian memenuhi syarat standar yang ada. Berdasarkan pengamatan dan hasil uji fisik, produk paving Blok pada perlakuan-perlakuan A1B1, A1B2, A1B3, A2B1, A2B2 dan A2B3 memenuhi syarat mutu B (dapat digunakan untuk pelataran parkir), sedangkan perlakuan A3B2 dan A3B3 memenuhi syarat mutu C (digunakan untuk pejalan kaki). Komposisi terbaik untuk memproduksi paving Blok adalah perlakuan A1B2 yaitu 2 bagian fly ash, 8 bagian pasir, dan 2 bagian semen Portland, yang menghasilkan produk dengan kuat tekan 22,34 MPa dan penyerapan air 2,60 %.

2.1.1 Klasifikasi

Terdapat beberapa klasifikasi dalam paving Blok 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 lain.

2.1.2 Syarat Mutu

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan mutu paving Blok yaitu memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996 diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sifat Tampak

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

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 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 Bentuk dan Dimensi *Paving* Blok

Paving Blok banyak ditemui dipasaran dengan beraneka bentuk dan ketebalan. Pada umumnya dipasaran *paving* Blok dibuat dengan panjang antara 200~250 mm, dengan lebar antara 100~112 mm. Ketebalan *paving* Blok berkisar antara 60~100 mm. Sedangkan untuk bentuk *paving* Blok sendiri rata berbentuk segi empat (*holand*), segi enam (*hexagonal*), dan lain sebagainya dengan ketebalan yang bervariasi menurut kebutuhan. Seiring dengan berkembangnya kebutuhan pasar maka bentuk dan variasi *paving* Blok mulai dikembangkan dan dipasarkan (Nugroho, 2013).

2.1.4 Keuntungan Paving Blok

Nugroho (2013) menyebutkan keuntungan *Paving* Blok :

1. Pelaksanaannya mudah dan tidak memerlukan alat berat serta dapat diproduksi secara masal.
2. Pemeliharaannya mudah dan dapat dipasang kembali setelah dibongkar.
3. Tahan terhadap beban statis, dinamik dan kejut.
4. Tahan terhadap tumpahan bahan pelumas dan pemanasan oleh mesin kendaraan.

2.1.5 Kelemahan Paving Blok

Nugroho (2013) menyebutkan kelemahan *paving* Blok :

1. Mudah bergelombang bila pondasinya tidak kuat dan kurang nyaman untuk kendaraan dengan kecepatan tinggi.
2. Perkerasan *paving* Blok sangat tidak cocok untuk mengendalikan kecepatan kendaraan dilingkungan permukiman dan perkotaan yang padat.

2.2 Bahan Penyusun *Paving* Blok

Material yang digunakan dalam pembuatan *paving* Blok sama dengan material yang digunakan pada pembuatan beton biasanya. Hanya saja ada sebagian yang tidak menggunakan agregat kasar (kerikil). Ditinjau dari fungsinya material pembentuk *paving* Blok mempunyai fungsi yaitu semen dan sedikit air membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai perekat. Kemudian pasta semen dan campuran agregat halus (pasir) membentuk mortar untuk mengikat agregat kasar (jika pembuatannya menggunakan kerikil) menjadi kesatuan yang kompak dengan campuran yang merata menghasilkan campuran plastis (antara cair dan padat) sehingga dapat dituang dalam acuan serta membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi kering atau padat (Dian, 2010).

2.2.1 Semen

Semen berasal dari kata *caementum* (bahasa latin) yang artinya memotong menjadi bagian-bagian kecil tak beraturan. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia Semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok.

Semen dalam pengertian umum adalah bahan yang mempunyai sifat adhesive dan cohesive, digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*), yang dipakai bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir.

Menurut SNI 7064 – 2014, semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama – sama slag semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain slag tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen portland komposit.

1. Semen dapat dibagi atas dua kelompok yaitu :

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

Contoh: semen non hidraulis (*hydraulic binder*) adalah *lime* dimana *lime* ini merupakan perekat klasik dalam bangunan yang dibuat dengan memanaskan *limestone* pada suhu 850°C.

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

Sifat semen hidraulis yaitu : dapat mengeras bila dicampur air, dapat mengeras bila dicampur air, tidak larut dalam air

Contoh: semen hidraulis adalah semen Portland, semen campur, semen khusus dan sebagainya.

2. Jenis-Jenis Semen

a. Semen Putih (*Gray Cement*)

Semen putih adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), seperti sebagai filler atau pengisi. semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.

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

Semen sumur minyak adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai.

c. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis dengan gips sebagai bahan tambahan.

Semen portland di Indonesia dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu:

a. Tipe I

Tipe I adalah perekat hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Semen Portland Tipe I dipergunakan pengerasan jalan, gedung, jembatan, dan lain-lain.

b. Tipe II

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton masa yang membutuhkan panas hidrasi rendah.

c. Tipe III

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan.. Semen Portland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.

d. Tipe IV

Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (setting time lama).

e. Tipe V

Semen portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah bahan yang berbahan mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*).

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan berfungsi untuk mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan menunjukkan kategori jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *FinenessModulus*.

Berdasarkan SNI 1969-2016, Agregat halus mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm. Agregat halus yang digunakan pada campuran beton hendaknya tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 5%, tidak mengandung zat – zat organik yang turut serta mengurangi mutu dari beton, tidak mengandung bahan reaktif alkali, memiliki kehalusan butir pada rentang 2 mm – 5 mm, serta agregat halus terdiri dari butir yang keras dan tidak mudah pecah.

Melalui *Fineness Modulus* ini dapat digolongkan 3 jenis pasir yaitu :

Pasir kasar : $2,9 < FM < 3,2$

Pasir sedang : $2,6 < FM < 2,9$

Pasir halus : $2,2 < FM < 2,6$

Agregat halus sering disebut dengan pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian maupun hasil pemecahan. Pada umumnya yang dimaksud dengan agregat halus adalah agregat dengan besar butir kurang dari 4,80 mm. Agregat halus mempunyai peran penting sebagai pembentuk beton dalam pengendalian *workability*, kekuatan (*strength*), dan keawetan beton (*durability*). Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

Syarat-syarat agregat halus (pasir) dalam Mulyono (2005) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

1. Material dari bahan alami dengan kekasaran permukaan yang optimal sehingga kuat tekan beton besar.
2. Butiran tajam, keras, awet (*durable*) dan tidak bereaksi dengan material beton lainnya.
3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan padat dan awet.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* karena akan membutuhkan semen lebih banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk yang baik adalah bulat, karena akan saling mengisi rongga dan jika ada bentuk yang pipih dan lonjong dibatasi maksimal 15% berat total agregat.

Pemeriksaan agregat halus perlu dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan yang akan digunakan dan juga dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus ini memenuhi persyaratan atau tidak. Hasil pemeriksaan ini juga dapat digunakan sebagai data rencana adukan beton yang akan digunakan dalam pembuatan *paving* Blok.

Pemeriksaan agregat halus meliputi:

1. Kadar Lumpur

Pengujian kandungan lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Yang dimaksud lumpur adalah bagian yang lolos saringan 200 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus dicuci.

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. Gradasi Pasir atau Modulus Halus Butir Agregat

Gradasi pasir adalah distribusi ukuran butir pasir. Bila butir-butir pasir mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar.

Sebaliknya bila ukuran butirannya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi lebih sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi.

2.2.3 Refractory Brick

Refractory Brick (Batu Bata Tahan Api) adalah material inorganik natural maupun sintesis, tahan terhadap temperatur yang lebih besar dari 1500°C tanpa terjadinya perubahan bentuk ataupun peleburan akibat tingginya suhu yang dikenainya. Syarat dari batu bata tahan api ini ialah mampu mempertahankan bentuk dan kekuatan pada temperatur yang tinggi serta dalam berbagai kondisi. Tujuan dari penggunaan batu bata tahan api ini ialah untuk menahan laju perpindahan panas di dalam tungku pembakaran dapur (*furnace*) ke luar.

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

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

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

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

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* 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>

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 (H. Fang, 1998).

Tabel 3 Bahan Baku Refraktori Jenis Netral

Bauxite	<ul style="list-style-type: none"> -Campuran antara diaspore α-AlO.OH, gibbsite $\{\text{Al(OH)}_3\}$ dan boechmit (AlO.OH). -Hasil pelapukan dan leaching silika dari batuan yang kaya alumina (granit, syenit).
Corundum / Alumina	<ul style="list-style-type: none"> -Formula Al_2O_3 -Kadar Al_2O_3 88 – 99% -Titik lebur 1850 – 2050 °C -Merupakan mineral tambahan pada batuan metamorf (mica-schist, gneiss)
Carbon	<ul style="list-style-type: none"> -Coke, Antrachite, Bituminous, Graphite, Charcoal -Titik lebur 2000 – 2990 °C -Termal ekspansi rendah -Ketahanan terhadap suhu kejut bagus -Tidak mudah terbasahi oleh cairan besi
Silicon Carbide	<ul style="list-style-type: none"> -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 Air

Salah satu bahan penting pembuatan beton adalah air. Air sangat diperlukan pada saat pembuatan beton untuk membantu memicu reaksi kimia pada semen, air berfungsi membasahi agregat sehingga memberikan kemudahan dalam pekerjaan. Oleh karena itu, air sangat diperlukan untuk memulai reaksi

pada semen, serta sebagai bahan pelumas antar butir-butir pada agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang dapat diminum pada umumnya bisa digunakan sebagai campuran. Air yang digunakan sebagai campuran haruslah bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak struktur pada paving Blok. Dan bila dipakai dalam campuran paving Blok akan menurunkan kualitas pada paving Blok.. Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan (PBI 1971):

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

2.3 Pengujian Kuat Tekan

Menurut SNI 1974-2011, 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 kuat tekan beton dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang dipikul benda uji selama pengujian dengan luas penampang rata-rata yang 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)

2.4 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Ultrasonic Pulse Velocity Ada beberapa metode pengujian untuk mengetahui nilai kuat tekan beton, yaitu pengujian-pengujian yang bersifat merusak benda uji (Destructive test), dan pengujian-pengujian yang tidak merusak benda uji (Non Destructive test). Destruktif tes dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat kuat tekan beton (compression testing machine), dari pengujian ini diperoleh data kekuatan beton yang bersifat aktual . Sedangkan untuk pengujian non destruktif tes biasanya dilakukan untuk keperluan evaluasi beton existing, pelaksanaannya dilakukan di lapangan (insitu). Akan tetapi data hasil non destruktif ini belum dapat mewakili kekuatan suatu struktur, sehingga diperlukan hubungan koreksi dengan beberapa pengujian kuat tekan lain. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah salah satu metode pengujian beton yang bersifat non destruktif dan memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan hantaran gelombang (pulse velocity) ultrasonik yang melewati suatu struktur.

Secara umum, penggunaan UPV test pada beton adalah untuk memperkirakan kekuatan beton , mengetahui homogenitas beton, dan mendeteksi kerusakan beton, seperti adanya rongga ataupun retak (crack) . 36 Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dengan kuat tekan paving Blok pada berbagai variasi umur dan campuran paving Blok, memperkirakan nilai kuat tekan paving Blok dengan menguji UPV dan membandingkannya terhadap hasil uji tekan paving Blok . Tes UPV dapat dilakukan dalam tiga cara yaitu: (1) langsung, (2) semi langsung, dan (3) tidak langsung Gambar 6. (a)Cara Langsung (b)Cara Semi Langsung (c)Cara Tidak Langsung Gambar 6. Cara Pengukuran UPV Test (Sumber: International Atomic Energy Agency, 2002: 101 – 102) Waktu tempuh T yang dibutuhkan untuk merambatkan gelombang pada lintasan beton sepanjang L dapat diketahui, sehingga kecepatan gelombang dapat dicari dengan Persamaan (1) (Lawson, 2011)

$$v = L / T \dots\dots\dots (2)$$

v : Kecepatan gelombang longitudinal (km/s)

L : Panjang lintasan beton yang dilewati (km)

T : Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan L (s) 37

Berikut adalah tabel klasifikasi pada ultrasonic pulse velocity test : Tabel 5.
 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasar-kan Kecepatan Gelombang Kecepatan
 Gelombang Longitudinal Kualitas Beton Km/(detik.103) Ft/detik >4,5 >15
 Sangat bagus 3,50-4,50 12-15 Bagus 3,00-3,50 10-12 Diragukan 2,00-3,00 7-10
 Jelek

2.5 Penyerapan Air *Paving* Blok

Penyerapan air *paving* Blok adalah persentase berat air yang mampu diserap melalui pori-pori oleh *paving* Blok. Hasil ini bisa didapatkan dengan membandingkan berat *paving* Blok kering dan basah (setelah perendaman didalam air). Berat *paving* Blok kering didapatkan dari pengovenan benda uji pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 24 jam.

Dari percobaan maka didapatkan berat basah dan berat kering *paving* Blok sehingga daya serap air dapat dicari berdasarkan SNI 03-0691-1996 seperti pada persamaan berikut :

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

a = berat bata beton basah

b = berat bata beton kering