

**PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL DARI *HOME INDUSTRY* DI DESA  
KEPUH KIRIMAN KECAMATAN WARU KABUPATEN SIDOARJO  
SEBAGAI MATERIAL AGREGAT KASAR PADA BAHAN CAMPURAN  
PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai syarat memperoleh gelar (S.T) Sarjana Teknik pada Program Studi  
Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

**Disusun Oleh**

**IRA NUR RUWANTARI**

**NIM H95219046**

Dosen Pembimbing

Dyah Ratri Nurmaningsih, S.T., M.T

Yusrianti, M.T

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

**2023**

## PERSYATAAN KEASLIAN

Nama : Ira Nur Ruwantari  
Nim : H95219046  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul **“PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL DARI HOME INDUSTRY DI DESA KEPUH KIRIMAN KECAMATAN WARU KABUPATEN SIDOARJO SEBAGAI MATERIAL AGREGAT KASAR PADA BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PAVING BLOCK”**. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 11 Juli 2023

Yang Menyatakan

  
D 2B6AKX361987497

**(IRA NUR RUWANTARI)**

NIM. H95219046

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING  
SIDANG TUGAS AKHIR**

Nama : Ira Nur Ruwantari  
NIM : H95219046  
Judul Tugas Akhir : Pemanfaatan Limbah Sandal Dari *Home Industry* Di Desa Kepuh  
Kiriman Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo Sebagai Material  
Agregat Kasar Pada Bahan Campuran Pembuatan *Paving Block*

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 27 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1



**Dyah Ratri Nurmaningsih S.T M.T.**

NIP. 198503222014032003

Dosen Pembimbing 2



**Yusrlanti M.T.**

NIP. 198210222014032001

## LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Ira Nur Ruwantari  
NIM : H95219046  
Judul Tugas Akhir : Pemanfaatan Limbah Sandal Dari *Home Industry* di  
Desa Kepuh Kiriman Kecamatan Waru Kabupaten  
Sidoarjo Sebagai Material Agregat Kasar Pada Bahan  
Campuran Pembuatan Paving *Block*

Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi

Di Surabaya, 7 Juli 2023

Mengesahkan,

Dewan Penguji,

Penguji I



Dyah Ratri Nurmaningsih S.T M.T.  
NIP. 198503222014032003

Penguji II



Yustianti, M.T.  
NIP. 198210222014032001

Penguji III



Ir. Shinfy Wazna Auvaria, S.T., M.T  
NIP. 198603282015032001

Penguji IV



Amrullah, M.Ag  
NIP. 197309032006041001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Ampel Surabaya



Hamdani, M.Pd.  
NIP. 196507312000031002





UIN SUNAN AMPEL  
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300

E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : IRA NUR RUWANTARI  
NIM : H95219046  
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN  
E-mail address : iranurr21@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Sekripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (.....)  
yang berjudul:

**PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL DARI *HOME INDUSTRY* DI DESA**

**KEPUH KIRIMAN, KECAMATAN WARU, KABUPATEN SIDOARJO**

**SEBAGAI MATERIAL AGREGAT KASAR PADA BAHAN CAMPURAN**


**PEMBUATAN PAVING BLOCK**

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 16 Juli 2023

Penulis  
  
(Ira Nur Ruwantari)

## **ABSTRAK**

### **PEMANFAATAN LIMBAH SANDAL DARI HOME INDUSTRY DI DESA KEPUH KIRIMAN KECAMATAN WARU KABUPATEN SIDOARJO SEBAGAI MATERIAL AGREGAT KASAR PADA BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PAVING BLOCK**

Kegiatan industri merupakan salah satu faktor pendukung untuk menunjang pertumbuhan sektor ekonomi. Salah satu industri yang banyak berkembang pesat saat ini adalah slipper atau sandal. Dalam penelitian ini akan menggunakan campuran limbah sandal karet sebagai material agregat kasar. Limbah sandal dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki nilai jual, yaitu sebagai bahan campuran pembuatan paving block. Paving Block yang akan dibuat menggunakan kualitas mutu B K-200. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil kuat tekan, daya serap air, dan SEM. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Variasi paving yang dibuat Variasi limbah sandal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 10%, 15% dan 20% terhadap volume agregat kasar. Hasil optimal yang dihasilkan adalah pada variasi 15% dengan umur kuat tekan 28 hari dengan nilai rata-rata sebesar 18,8 Mpa, variasi 10% dengan umur kuat tekan 7 dan 14 hari dengan nilai rata-rata 21,2 Mpa dan 21,8 Mpa. Nilai hasil uji daya serap air yang paling optimal pada variasi 10% dengan nilai rata-rata 5%. Hasil uji SEM dengan variasi 15% dan 20% menunjukkan kandungan rongga udara dan penyebaran microcraks yang tinggi pada topografi benda uji. Sedangkan pada variasi 0% dan 10% penyebaran microcracks tidak terlalu signifikan dan benda uji memiliki kerapatan yang cukup tinggi.

**Kata Kunci:** Limbah Sandal, Paving Block, Kuat Tekan, Daya Serap Air, SEM

## ABSTRACT

### ***UTILIZATION OF SANDAL WASTE FROM HOME INDUSTRY IN KEPUH KIRIMAN VILLAGE, WARU DISTRICT, SIDOARJO REGENCY AS COARSE AGGREGATE MATERIAL IN MIXING MATERIALS FOR PAVING BLOCK PRODUCTION***

*Industrial activity is one of the supporting factors to support the growth of the economic sector. One industry that is currently growing rapidly is rubber sandals waste. This paper will use a mixture of rubber sandal waste as a coarse aggregate material. Sandal waste can be reused to produce products with a sale value, such as a mixture for making paving blocks. They were paving blocks that will be made using B-quality K-200. This paper aimed to determine compressive strength, water absorption, and SEM results. The method which is used in this research is descriptive quantitative. Paving Variations in sandal waste that is used in this study were 0%, 10%, 15%, and 20% of the volume of coarse aggregate. The optimal results produced are a 15% variation with a compressive strength age of 28 days with an average value of 18.8 MPa, a 10% variation with a compressive strength age of 7, and 14 days with an average value of 21.2 MPa and 21.8 MPa. The most optimal water absorption test results are at 10% variation with an average value of 5%. SEM test results with variations of 15% and 20% showed a high air voids content and microcracks spread in the specimen's topography. Whereas at 0% and 10%, the spread of microcracks is insignificant, and the test object has a fairly high density.*

*Keywords: Rubber Sandal Waste, Paving Block, Compressive Strength, Water Absorption, SEM*

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR RUMUS.....</b>	<b>2</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>3</b>
1.1. Latar Belakang.....	3
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Batasan Masalah .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Limbah Industri .....	8
2.1.1 Jenis – Jenis Limbah.....	9
2.2 Dampak Limbah Industri Terhadap Lingkungan .....	9
2.3 Limbah Sandal Karet .....	11
2.3.1 Senyawa pada Limbah Sandal Karet.....	12



2.3.2 Karakteristik Senyawa <i>Ethylene Vinyl Acetate</i> (EVA).....	13
2.4 Paving Block.....	15
2.3.1 Keuntungan Penggunaan <i>Paving Block</i> .....	18
2.3.2 Syarat Mutu <i>Paving Block</i> .....	19
2.4 Material Penyusun <i>Paving Block</i> .....	20
2.4.1 Semen .....	20
2.4.2 Agregat .....	22
2.4.3 Air.....	26
2.5 Daya Kuat Tekan.....	27
2.6 Daya Serap Air .....	28
2.7 Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	29
Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu.....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>40</b>
3.1. Jenis Penelitian.....	40
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	40
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	40
3.3.1 Alat .....	40
3.3.2 Bahan .....	43
3.4. Kerangka Pikir Penelitian .....	44
3.4 Tahapan Penelitian .....	45
3.4.1 Tahapan Persiapan Penelitian .....	47
3.4.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	47
3.5 Analisa Data .....	50
3.5.1 Analisa Hasil Prosentase Optimal Pada Variasi Limbah Sandal.....	50
3.5.2 Analisa Hasil Kuat Tekan, Daya Serap Air, dan Uji SEM.....	50

3.5.3 Analisa Hasil Karakteristik dari <i>Paving Block</i> yang Dihasilkan.....	51
3.5.4 Analisa RAB Untuk Produksi <i>Paving Block</i> .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>52</b>
4.1 Hasil Penelitian.....	52
4.1.1 Hasil Analisis Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> .....	52
4.1.2 Hasil Analisis Daya Serap Air <i>Paving Block</i> .....	59
4.1.3 Hasil Analisis Uji SEM <i>Paving Block</i> .....	61
4.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Produksi .....	69
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>77</b>

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Laju Pertumbuhan Industri Dasar Harga Konstan.....	14
Tabel 2. 2 Klasifikasi Blok Beton .....	17
Tabel 2. 3 Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i> .....	19
Tabel 2. 4 Sifat - Sifat Fisika <i>Paving Block</i> (Bata Beton).....	20
Tabel 2. 5 Kombinasi Pola Pemasangan, Mutu, dan Tebal <i>Paving Block</i> .....	20
Tabel 2. 6 Senyawa Utama Semen Portland.....	22
Tabel 2. 7 Batas Gradasi Agregat Kasar.....	23
Tabel 3. 1 Alat dan Fungsi dalam Penelitian.....	40
Tabel 3. 2 Bahan dan Kegunaan dalam Penelitian .....	43
Tabel 3. 3 Komposisi bahan Campuran <i>Paving Block</i> . ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 4 Jumlah Rencana Benda Uji .....	49
Tabel 4. 1 Jumlah Sampel Uji Kuat Tekan.....	54
Tabel 4. 2 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> 7 Hari .....	54
Tabel 4. 3 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> 14 Hari .....	55
Tabel 4. 4 Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i> 28 Hari .....	57
Tabel 4. 5 Hasil Uji Daya Serap Air pada <i>Paving Block</i> .....	59
Tabel 4. 6 Hasil Uji SEM Variasi 0% .....	61
Tabel 4. 7 Hasil Uji SEM Variasi 10% .....	64
Tabel 4. 8 Hasil Uji SEM Variasi 15% .....	66
Tabel 4. 9 Hasil Uji SEM Variasi 20% .....	67
Tabel 4. 10 Rencana Anggaran Biaya Produksi <i>Paving</i> .....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Limbah Sandal Karet Sisa Hasil Produksi.....	11
Gambar 2. 2 Ikatan Kopolimer Senyawa EVA .....	13
Gambar 2. 3 Jenis <i>Paving Block</i> .....	17
Gambar 2. 4 Proses Hidrasi Semen <i>Portland</i> .....	22
Gambar 2. 5 Agregat Kasar (Batu Split Pecah).....	23
Gambar 2. 6 Agregat Halus (Abu Batu).....	25
Gambar 2. 7 Alat Uji Kuat Tekan.....	28
Gambar 2. 8 Contoh Hasil Uji SEM Pada <i>Paving Block</i> .....	30
Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian.....	45
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	46
Gambar 4. 1 <i>Paving Block</i> Variasi 0%.....	52
Gambar 4. 2 <i>Paving Block</i> Variasi 10% .....	52
Gambar 4. 3 <i>Paving Block</i> Variasi 15% .....	53
Gambar 4. 4 <i>Paving Block</i> Variasi 20% .....	53
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Perendaman 7 Hari ....	55
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Perendaman 14 Hari ..	56
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Perendaman 28 Hari ..	58
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Uji Daya Serap Air pada <i>Paving Block</i> .....	60
Gambar 4. 10 Rongga Udara pada Beton.....	63

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR RUMUS

Persamaan 2. 1 Rumus Kuat Tekan.....	27
Persamaan 2. 2 Rumus Uji Daya Serap Air.....	28



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya laju urbanisasi tentunya menyebabkan perkembangan industri di Indonesia yang cukup signifikan. Kegiatan industri merupakan salah satu faktor pendukung untuk menunjang pertumbuhan sektor ekonomi. Keterkaitan antara industrialisasi dan urbanisasi sangat erat karena dengan meningkatnya laju urbanisasi penduduk juga diiringi dengan semakin tingginya permintaan produk berbagai macam produksi (Luo et al., 2020). Oleh karena itu sektor industri menjadi hal penting yang tercermin dari semakin besarnya pangsa industri dalam produk domestik bruto (PDB). Laju pertumbuhan sektor industri pada tahun 2018 adalah sebesar 17,7%. Menurut data dari laporan tahunan (Kementerian Perindustrian, 2018), salah satu industri yang banyak berkembang pesat saat ini adalah *slipper* atau sandal. Alas kaki yang umum dan sering digunakan di Indonesia oleh banyak orang adalah sandal, *home industry* yang memproduksi sandal akibat banyaknya permintaan dari masyarakat yang terus meningkat menyebabkan jumlah limbah atau sisa pembuatan sandal juga sangat tinggi (Kementerian Perindustrian, 2018). Menurut *United States of Environmental Protection Agency* atau U.S EPA limbah adalah setiap zat atau benda yang dibuang atau diharuskan dibuang oleh pemegangnya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan nasional yang berlaku.

Salah satu daerah di Jawa Timur yang merupakan pengrajin industri sandal adalah di Desa Kepuh Kiriman Waru Sidoarjo. Mayoritas penduduk di Desa tersebut bermata pencaharian sebagai pengrajin sandal dan beroperasi setiap hari untuk menghasilkan produk sandal yang akan dijual. Jenis sandal yang diproduksi bermacam – macam, seperti sandal wedges, sandal tali, sandal untuk olahraga, sandal flat, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini akan menggunakan campuran limbah sandal karet sebagai pengganti sebagian material agregat kasar. Limbah sandal tersebut merupakan sisa dari proses produksi *home industry* sandal yang banyak dihasilkan di Desa Kepuh

Kiriman. Hasil produksi sandal karet yang dihasilkan mencapai 400-500 pasang perharinya (Data Survei Pendahuluan, 2023). Limbah sandal karet tersebut berjumlah sangat banyak dan tidak dimanfaatkan lagi, banyak pengrajin yang membuang limbah tersebut ke sungai maupun membiarkannya begitu saja berserakan di depan halaman pabrik pembuatan sandal tersebut. Hal tersebut tentunya akan menyebabkan pencemaran dan kerusakan di daerah sekitarnya.

Allah SWT melarang untuk melakukan kerusakan dan mengeksploitasi alam tanpa memperhatikan pemeliharannya juga dinyatakan dalam Alquran Surat Ar-Rum (30): 41-42 berikut ini:

(41) *ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ*

(42) *قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلُ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُشْرِكِينَ*

*“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). Katakanlah: “Adakanlah perjalanan di muka bumi dan perhatikanlah bagaimana kesudahan orang-orang yang terdahulu. kebanyakan dari mereka itu adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah).” (QS. Ar Rum 41-42).*

Yang disebutkan ini “supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari akibat perbuatan mereka,” maksudnya, agar mereka tahu bahwasannya Allah memberikan balasan atas amal perbuatan. Jadi, Allah menyegerakan contoh (terlebih dahulu) dari balasan amal perbuatan mereka di dunia, “agar mereka kembali,” dari perbuatan mereka yang telah menimbulkan kerusakan bagi mereka sendiri, sehingga keadaan mereka menjadi baik,

Di Indonesia pemanfaatan limbah sandal masih jarang ditemui, banyak masyarakat yang menganggap limbah sandal hanya tumpukan sampah yang dibuang begitu saja dan menyebabkan banyak limbah yang berserakan seperti pada perlakuan limbah sandal karet di *home industry* Desa Kepuh Kiriman. Limbah sandal dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki nilai jual, salah satu inovasi yang akan diterapkan adalah

memanfaatkan limbah sandal ini sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar pada campuran pembuatan *paving block* (bata beton) (Al-Tarbi et al., 2022)

Menurut SNI 03-0691-1996 *paving block* merupakan suatu indikator bahan bangunan yang terbuat dari campuran bahan semen *Portland* serta air dan tambahan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak mengurangi kualitas dan mutu dari *paving block*. *Paving block* juga memiliki daya serap terhadap air yang baik sehingga dapat bertahan di cuaca yang tidak menentu atau ekstrim. *Paving Block* banyak dimanfaatkan untuk jalan, trotoar, dan peralatan parkir. *Paving Block* dapat digunakan untuk perkerasan pada peralatan parkir, perkerasan pada area parkir biasanya menggunakan paving beton mutu kelas B dengan ketebalan minimal 60 mm dengan toleransi daya serap air  $\pm 6\%$ , pada umumnya kondisi tempat parkir di setiap daerah pada musim hujan terjadi genangan, hal ini disebabkan karena curah hujan yang tinggi juga tidak mampu menyerap limpasan air hujan ke dalam tanah. Penggunaan bahan alami untuk trotoar konstruksi merupakan suatu keharusan dalam mendukung pencapaian jalan hijau (Mudiyono & Tsani, 2019).

Pemanfaatan limbah sandal sebagai bahan campuran pembuatan *paving block* dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk membuat paving. Oleh karena itu dengan menggunakan limbah sandal sebagai sebagian material substitusi agregat kasar, maka pembuatan paving tidak memerlukan banyak agregat kasar seperti contohnya kerikil, batu kali, atau batu pecah. Untuk analisa biaya meliputi harga material bahan paving block, upah pekerja, biaya alat dan operasional (Juara & Setiawan, 2021.). Dengan demikian pemanfaatan limbah sandal karet diharapkan mampu mengurangi masalah lingkungan terkait menumpuknya limbah hasil sisa produksi yang dihasilkan serta memberikan nilai ekonomis terhadap material atau bahan konstruksi yang digunakan dengan pemanfaatan limbah tersebut, selain itu karet memiliki sifat yang elastis dan lentur yang menjadi salah satu alasan menjadi campuran pembuatan *paving block* (Zăinescu et al., 2018).

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat digunakan yaitu :

1. Berapa nilai prosentase dari limbah sandal sebagai pengganti sebagian material agregat kasar yang menghasilkan kekuatan *paving block* paling optimal?
2. Bagaimana hasil dari uji kuat tekan, daya serap *paving block*, dan uji SEM yang dihasilkan dengan penggunaan limbah sandal sebagai pengganti sebagian material agregat kasar mengacu pada SNI 03-0691-1996?
3. Bagaimana hasil karakteristik dari *paving block* yang menggunakan bahan campuran dari limbah sandal?
4. Berapa RAB (Rencana Anggaran Biaya) produksi pada pembuatan *paving block*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan ada rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang dapat diambil adalah berikut ini:

1. Menentukan nilai presentase dari kekuatan *paving block* paling optimal.
2. Menganalisis hasil uji kuat tekan, daya serap air dan SEM pada *paving block* yang dihasilkan dengan penggunaan limbah sandal sebagai pengganti sebagian material agregat kasar.
3. Menganalisis hasil karakteristik dari *paving block* yang menggunakan bahan campuran dari limbah sandal.
4. Menghitung biaya produksi pembuatan *paving block*.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, manfaat penelitian yang diharapkan oleh pebeliti adalah:

1. Akademisi
  - a. Menambah pengetahuan mengenai pemanfaatan limbah sandal karet sebagai bahan substitusi sebagian material agregat kasar
  - b. Mengembangkan produk hasil penelitian sebagai terobosan baru terhadap pemanfaatan limbah padat yang tidak dapat atau sulit di daur ulang
2. Instansi Terkait

Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai informasi serta bahan pertimbangan bagi pemerintah Kabupaten Sidoarjo untuk menetapkan kebijakan lingkungan untuk penanggulangan pencemaran lingkungan

3. Masyarakat

- a. Dapat membantu para pengrajin *home industry* sandal agar lebih bijak dalam mengolah serta memanfaatkan hasil limbah yang mereka hasilkan dari sisa produksi
- b. Menjadi alternatif sebagai material yang ramah lingkungan

**1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah sandal karet berasal dari *home industry* sandal di Desa Kepuh Kiriman.
2. Penelitian ini menggunakan teknik *paving block* berbahan dasar limbah sandal karet (*rubber slippers waste*) sebagai pengganti sebagian material agregat kasar.
3. *Paving Block* yang akan dibuat menggunakan kualitas mutu B K-200.
4. Variasi limbah sandal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 10%, 15% dan 20% terhadap volume agregat kasar.
5. Ukuran cacahan limbah sandal lolos saringan nomor 4 (4,75 mm – 40 mm)
6. Semen yang digunakan adalah semen Portland merk Semen Gresik.
7. Agregat yang digunakan adalah abu batu dan batu pecah.
8. Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak tercemar.
9. Benda uji yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 21 cm x 10 cm x 6 cm
10. Uji pembuatan *paving block* menggunakan campuran limbah sandal karet dengan mengacu pada SNI 03-0691-1996.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah Industri

Limbah industri berasal dari proses akibat kegiatan industri secara langsung maupun tidak langsung, limbah secara langsung merupakan limbah yang bersumber dari kegiatan industri yang dihasilkan dari sisa hasil produksi secara bersamaan yang mana limbah dan sisa produk dihasilkan pada waktu yang sama. Sedangkan limbah tidak langsung merupakan limbah yang dihasilkan sesudah proses produksi maupun sebelum proses produksi dari kegiatan industri tersebut (Nindy Callista Elvania, 2022). Proses terciptanya limbah padat atau limbah industri diawali dengan adanya bahan atau material yang dapat digunakan untuk membuat sesuatu atau benda yang membutuhkannya. Oleh karena itu pemanfaatan kembali limbah sisa hasil proses produksi (Qianwen, 2019.), karena sebagaimana yang tercantum dalam hadits bahwa kebersihan adalah salah satu hal yang disukai oleh Allah S.W.T yaitu:

إِنَّ اللَّهَ طَيِّبٌ يُحِبُّ الطَّيِّبَ، نَظِيفٌ يُحِبُّ النَّظَافَةَ، كَرِيمٌ يُحِبُّ الْكَرَمَ، جَوَادٌ يُحِبُّ الْجُودَ، فَتَنَظَّفُوا أَفْنَيْتَكُمْ

Artinya: "Dari Rasulullah Shallallahu 'alaihi wa sallam: Sesungguhnya Allah SWT itu suci yang menyukai hal-hal yang suci, Dia Maha Bersih yang menyukai kebersihan, Dia Maha Mulia yang menyukai kemuliaan, Dia Maha Indah yang menyukai keindahan, karena itu bersihkanlah tempat-tempatmu." (HR Tirmidzi).

Sebagaimana yang kita tahu bahwa kebersihan ialah sebagian dari iman, selain itu jika kita senantiasa menjaga kebersihan maka kita akan terhindar dari wabah penyakit yang membahayakan.

### **2.1.1 Jenis – Jenis Limbah**

Berdasarkan dari sifatnya, limbah padat terbagi menjadi 3, yaitu:

#### **1. Sampah Organik**

Sampah organik adalah suatu barang yang sudah tidak digunakan lagi oleh pemiliknya, tetapi masih dapat dimanfaatkan, diolah dan dibuang dengan cara yang benar. Sampah organik ini dapat dengan mudah terurai oleh proses alam dan sampah ini termasuk sampah yang mudah terurai seperti daun, sisa daging, sisa sayuran dll.

#### **2. Sampah Non-Organik**

Sampah anorganik adalah sampah dari bahan non hayati, yang juga bisa disebut sampah padat. Sampah non-organik tersebut antara lain sampah yang tidak mudah terurai, seperti plastik, logam, kertas, botol plastik, sikat gigi, botol kaca, styrofoam, karet atau ban dan lain-lain.

#### **3. Sampah B3 (Bahan Berbahaya Beracun)**

Limbah B3 adalah salah satu kegiatan yang meliputi penyimpanan, pengumpulan, pembuangan, pengangkutan, dan pengolahan limbah B3, termasuk penyimpanan hasil olahannya. Limbah B3 dapat diolah dengan pemadatan termal, stabilisasi, fisika, kimia atau biologi dengan menggunakan teknologi bersih atau ramah lingkungan. Tujuan pengelolaan limbah B3 adalah untuk mengurangi konsentrasi pencemar limbah sehingga kualitas limbah mencapai tingkat yang memungkinkan untuk dibuang ke lingkungan dan jumlah limbah dapat dikurangi sehingga biaya penanganan dapat dikurangi (Pengelolaan Sampah, 2019). Limbah B3 beracun B3 ini dihasilkan dari bahan kimia organik dan anorganik serta logam berat yang biasanya berasal dari limbah industri. Pengolahan sampah ini harus dilakukan secara terpisah dan tidak boleh dicampur dengan sampah organik maupun anorganik (Bhekti Prihaningrum & Ciptandi SD, 2019).

### **2.2 Dampak Limbah Industri Terhadap Lingkungan**

Limbah padat yang dihasilkan industri sangat berbahaya bagi lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Limbah padat dapat menyebabkan polusi seperti:

1. Menghasilkan gas beracun seperti asam sulfat, amonia dan gas beracun methana. Gas ini dihasilkan selama pengumpulan dan penguraian limbah padat, karena mikroorganisme menyebabkan penguraian bahan organik kecuali pada musim hujan dan kemarau melalui penguraian bakteri dalam suasana aerob atau anaerob.
2. Dapat menyebabkan penurunan kualitas udara, limbah dalam tubuh menyebabkan reaksi kimia seperti gas belerang, amonia dan metana, yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan bila ambang batas terlampaui.
3. Penurunan kualitas air, limbah padat yang langsung masuk ke air bersama kotoran, membuat air keruh dan rasa air berubah (Arief, 2016)

Dapat disimpulkan bahwa dari dampak yang dihasilkan tersebut menyebabkan kerusakan di sekitarnya, dalam ajaran islam perusakan lingkungan dengan sengaja yang berasal dari aktivitas manusia adalah hal yang dilarang sebagaimana tercantum dalam Al-Qur'an surat Al'A'raf ayat 56 berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِنَ الْمُحْسِنِينَ

*“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”.*

Allah subhanahu wa ta'ala melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya sesudah diperbaiki. Karena sesungguhnya apabila segala sesuatunya berjalan sesuai dengan kelestariannya, kemudian terjadilah pengrusakan padanya, hal tersebut akan membahayakan semua hamba Allah. Maka Allah subhanahu wa ta'ala melarang hal tersebut, dan memerintahkan kepada mereka untuk menyembah-Nya dan berdoa kepada-Nya serta berendah diri dan memohon belas kasihan-Nya. Untuk itulah Allah subhanahu wa ta'ala berfirman; dan

berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). (Al-A'raf; 56) Yakni dengan perasaan takut terhadap siksaan yang ada di sisi-Nya dan penuh harap kepada pahala berlimpah yang ada di sisi-Nya. Kemudian dalam firman selanjutnya disebutkan: Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.

### **2.3 Limbah Sandal Karet**

Di Indonesia, limbah sandal karet mudah ditemukan hampir setiap keluarga di setiap masyarakat Indonesia selalu memakai alas kaki tersebut dalam kesehariannya. Dengan demikian, kebutuhan produksi sandal di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut data (Analisis Pengembangan Model Forecasting, 2018), produksi industri alas kaki di Indonesia menempati posisi ke 4 dunia, dengan jumlah hasil produksi mencapai 1,41 miliar pasang alas kaki. Karet memiliki kekuatan tarik yang sangat baik karena elastisitas dan ketahanannya terhadap putus. Komponen utama yang digunakan dalam produksi karet untuk ban adalah karet alam dan karbon hitam. Karbon hitam, zat bubuk halus, dihasilkan melalui pembakaran terkontrol minyak mentah atau gas alam dengan oksigen terbatas. Zat tambahan seperti belerang dan berbagai bahan kimia dimasukkan ke dalam ban untuk mencapai sifat yang diinginkan ( Hermansyah dkk, 2022.)



**Gambar 2. 1** Limbah Sandal Karet

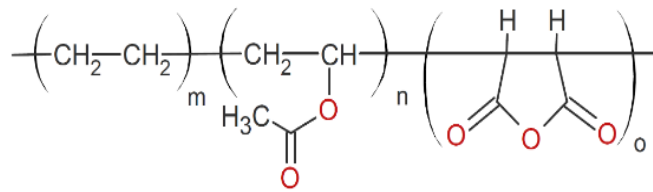
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2023

Bahan baku sandal yang terbuat dari bijih karet, bijih plastik dicampur dengan lem perekat, kulit sintetis dan benang. Benang yang digunakan umumnya seperti polyester, rayon atau nilon (Goreti Oktofiyane Fernandez & Khatulistiani, 2021). Berdasarkan bahan penyusun utamanya, yaitu karet alam dan sintetis, dimana dari segi kualitas, karet tahan cuaca dan air, dan mencerminkan stabilitas yang cukup, sangat tahan, dan menunjukkan tingkat fleksibilitas yang tinggi dan karet memiliki sifat menyerap getaran yang sehingga memberikan kenyamanan saat dipakai (Azizah dkk, 2022). Pemanfaatan limbah sandal karet ini dinilai cukup berguna untuk menghasilkan nilai jual dan sangat berperan dalam proses manajemen pengelolaan sampah, selain untuk menghasilkan nilai jual, pemanfaatan limbah seperti sandal karet ini dapat membantu memperindah jalanan di sekitar rumah produksi, menjaga kebersihan sanitasi dan dapat membantu terhindar dari sarang penyakit akibat limbah sandal yang menumpuk (Pendampingan & Metro, Pengelolaan sampah, 2019).

### **2.3.1 Senyawa pada Limbah Sandal Karet**

Sesuai dengan klasifikasi dan jenis – jenis sampah beberapa potongan limbah sandal karet bekas ini merupakan produk yang tidak *eco-friendly* dikarenakan tergolong dalam sampah non-organik yang sulit larut dalam air maupun tanah. Komposisi secara umum karet sangat kompleks dan sangat bervariasi seperti  $CH_4$ ,  $CH_2O$ , zat aditif utama yang teridentifikasi sebagai *plasticizers*, antioksidan, antimikroba, pelumas, *vulcanizers* dan logam serta kandungan senyawa organik dan anorganik lainnya (Zăinescu et al., 2018). Dalam limbah sandal karet mengandung senyawa kimia kopolimer yaitu *Ethylene Vinyl Acetate (EVA)*.





Ethylene vinyl acetate terpolymers (EVA-MAH)

**Gambar 2. 2** Ikatan Kopolimer Senyawa EVA

Sumber: (Bui et al., 2016)

EVA adalah senyawa kopolimer perantara Etilena dan vinil asetat. Bahan EVA memiliki beberapa kandungan seperti oksigen, ketahanan cuaca ozon panas, dan terutama digunakan sebagai pembungkus kabel anti panas oleh karena itu limbah sandal karet ini sangat sesuai digunakan sebagai campuran pembuatan paving karena memiliki sifat tahan panas. Karet atau rubber memiliki sifat *elastomer*. Elastomer adalah kumpulan objek dengan properti karet alam, karet vulkanisir, karet daur ulang atau karet sintetis yang meregang di bawah tekanan (resistensi tarik), menurun dengan cepat dan sepenuhnya kembali ke ukuran aslinya. *Elastomer* memiliki kekuatan memperpanjang panjangnya sepuluh kali dan kembali ke bentuk aslinya (Bhekti Prihaningrum & Ciptandi SDs, 2019.) Penggunaan limbah sandal karet yang memiliki senyawa EVA memiliki beberapa keuntungan diantaranya yaitu, fleksibel dan mudah ditangani, tahan lama, dan tahan lama tahan terhadap suhu rendah, tahan lama retakan akibat tekanan atau robekan, tahan air dan tidak lengket, tahan UV (Westerman et al., 2002).

### 2.3.2 Karakteristik Senyawa *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA)

Karakteristik dari *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) yang terkandung dalam limbah sandal memiliki sifat yang dapat digunakan untuk meminimalisir kondisi rongga udara dan sel udara. Kandungan utama dalam senyawa ini merupakan senyawa poliisoprena karet kering. Lateks karet Alam juga mengandung beberapa protein, lemak, ion logam dan padatan. Kehadiran protein, lemak, ion Logam dan padatan adalah pengotor dalam lateks. Protein dapat mengganggu proses kopolimerisasi

monomer ke dalam rantai poliisoprena. Karena itu adalah protein sebelum kopolimerisasi harus dihilangkan atau dikurangi. Penghapusan protein dengan karet alam, lateks menyebabkan peningkatan persentase karet kering atau kandungan poliisoprena. Menurut (Mina et al., 2020) volume ekspor industri kulit dan alas kaki karet meningkat sekitar 4,60%, dan terjadinya pelonjakan pertumbuhan pada industri kulit dan alas kaki dikarenakan banyaknya permintaan konsumen yang meingkat setiap tahunnya, berikut merupakan data laju pertumbuhan industri mulai dari industri pengolahan dan sektor non migas dari tahun 2018-2019. Berikut merupakan tabel 2.1 tentang laju pertumbuhan industri.

**Tabel 2. 1** Laju Pertumbuhan Industri Dasar Harga Konstan

LAPANGAN USAHA	2018*					2019**
	Triwulan 1	Triwulan 2	Triwulan 3	Triwulan 4	Jumlah	Triwulan 1
<b>Industri Pengolahan</b>	<b>4.60</b>	<b>3.88</b>	<b>4.35</b>	<b>4.25</b>	<b>4.27</b>	<b>3.86</b>
Industri Batubara dan Migas	0.66	0.59	-1.46	-0.01	-0.05	-4.19
<b>Industri Pengolahan Non Migas</b>	<b>5.08</b>	<b>4.27</b>	<b>5.02</b>	<b>4.73</b>	<b>4.77</b>	<b>4.80</b>
Industri Makanan dan Minuman	12.77	8.67	8.10	2.74	7.91	6.77
Industri Pengolahan Tembakau	-4.63	3.26	3.65	12.06	3.52	16.10
Industri Tekstil	7.46	6.48	10.08	10.82	8.73	18.98
Industri Kulit	5.47	11.38	8.83	12.10	<b>9.42</b>	-1.15
Industri Kayu, Bambu, Rotan dll	3.90	2.28	1.57	-4.56	0.75	-8.56
Industri Kertas	-5.99	-3.03	5.04	10.28	1.43	9.22
Industri Farmasi	-6.24	-2.93	-2.79	6.86	-1.42	11.53
Industri Karet dan Plastik	3.18	11.85	12.34	0.98	6.92	-6.52

Industri Barang galian non-Logam	4.96	0.51	3.37	2.10	2.75	-5.07
Industri Logam Dasar	9.99	2.36	8.10	15.52	8.99	8.59
Industri Mesin	15.50	4.19	4.25	14.55	9.49	1.29
Industri Alat Angkutan	5.78	2.59	5.37	3.23	4.24	-6.61
Industri Furnitur	2.92	2.00	0.85	3.12	2.22	12.89
<b>PRODUK DOMESTIK BRUTO</b>	<b>5.06</b>	<b>5.27</b>	<b>5.17</b>	<b>5.18</b>	<b>5.17</b>	<b>5.07</b>

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019

\*: Angka Sementara

\*\* : Angka Sangat Sementara

#### 2.4 Paving Block

Menurut Charles Palliser, 1980 Beton adalah nama yang diberikan untuk massa padat dari pecahan batu, kerikil, abu, cangkang atau bahan lain yang cocok yang digabungkan dengan mortar dan dibiarkan mengeras. Untuk mencegah pembentukan ruang udara, beton diremas dengan kuat atau ditabrak atau dapat juga dikatakan. *Paving Block* (Bata Beton) dibuat melalui pencampuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan beberapa bahkan menggunakan campuran lain. Kekuatan dan kualitas paving bergantung pada banyak faktor seperti, proporsi campuran dan tempat suhu dan kelembaban di mana campuran ditempatkan dan mengeras (Harun et al., 2022a).

Bata beton memiliki warna seperti warna asli atau bisa berwarna lain apabila diberi zat warna pada bahan komposisinya untuk kegunaan estetika, jika digunakan baik di halaman maupun luar bangunan (Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata Beton (*Paving Block*)03-0691-1996). Berdasarkan cara pembuatannya *paving block* dibagi dalam beberapa jenis yaitu:

a. *Paving Block Press/Cara Manual*

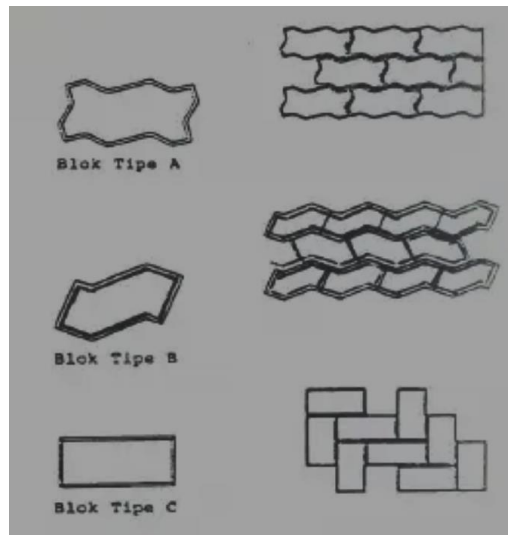
*Paving block* jenis ini dibuat dengan cara manual yaitu dengan tangan, serta menggunakan cetakan manual, tergolong dalam jenis beton kelas D (K50 – 100). Dengan mutu yang tergolong rendah, maka nilai jual paving jenis ini juga rendah dan untuk kegunaan pemakaian biasanya untuk perkerasan jalan non-struktural, dan lebih sering digunakan untuk halaman rumah, trotoar jalan serta jenis perkerasan lingkungan yang memiliki daya berat atau beban cukup rendah.

b. *Paving Block Press Vibration Machine/Getar*

Paving blok jenis ini diproduksi dengan menggunakan mesin *press* yang memiliki sistem getar dan tergolong dalam beton mutu C-B (K-150 – 250). Dan dalam kegunaan pemakaian sering terdapat di lahan parkir dan latar garasi dalam rumah.

c. *Paving Block Press Hidrolic Machine*

Paving jenis ini diproduksi dengan menggunakan mesin hidrolik dengan daya kuat tekan lebih dari  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Dikarenakan memiliki daya tekan yang cukup tinggi maka paving jenis ini tergolong dalam beton mutu kelas B-A (K 300 – 450) yang mana merupakan *grade* beton dengan mutu paling baik. Pemakaian paving mutu ini digunakan untuk keperluan structural yang memiliki beban yang berat di atasnya, seperti di pelabuhan khususnya bagian pelataran terminal peti kemas yang mengangkut *truck container* dengan kapasitas angkut  $\pm 60 \text{ m}^3$  atau sekitar 27 hingga 30 ton maupun lebih dari berat beban tersebut. Jenis dan bentuk *paving block* tersaji dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Jenis *Paving Block*

Sumber: SNI 03-2403-1991

Dari gambar sebelumnya dijelaskan bagaimana bentuk dan jenis dari *paving block* menurut (Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata Beton (Paving Block), 03-2403-1991, sedangkan klasifikasi dari blok beton tidak hanya dari jenis dan bentuknya saja, berdasarkan klasifikasi tersebut dapat dilihat di Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Blok Beton

Jenis Klasifikasi	Deskripsi
Berdasarkan bentuk	Bentuk paving block umumnya terbagi menjadi dua jenis, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paving block berbentuk persegi panjang</li> <li>• Paving block dalam banyak segi</li> </ul>
Berdasarkan Ketebalan	Ada tiga jenis ketebalan paving block, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paving block dengan ketebalan 60 mm, untuk ringan beban lalu lintas.</li> <li>• Paving block dengan ketebalan 80 mm, untuk sedang terhadap beban lalu lintas yang berat.</li> <li>• Paving block dengan ketebalan 100 mm, untuk beban lalu lintas yang berat.</li> </ul>
Berdasarkan Kekuatan	Golongan Paving block berdasarkan mutu beton adalah: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paving block dengan mutu beton I dengan nilai <math>f_c</math> '350 - 400 kg/cm<sup>2</sup></li> <li>• Paving block dengan mutu beton II dengan nilai <math>f_c</math>'250 - 300 kg/cm<sup>2</sup></li> <li>• Paving block dengan mutu beton III dengan nilai <math>f_c</math> '170 - 200 kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>

Sumber:(Wiwoho Mudjanarko et al., 2020) dan (Sebayang et al., 2021)

### 2.3.1 Keuntungan Penggunaan *Paving Block*

Produktivitas dan efisiensi aset infrastruktur sangat bergantung pada kinerja struktural dan fungsional jaringan perkerasan, termasuk jalan raya, bandara dan pelabuhan. Bahan berkualitas tinggi dan teknologi canggih biasanya digunakan dalam konstruksi baru trotoar. Namun, konstruksi perkerasan memberikan beban yang signifikan pada alam yang tidak terbarukan sumber daya, termasuk sumber agregat galian dan pembawa energi berbasis karbon seperti industri pengikat bahan bakar dan aspal (Nurzal & Mahmud, 2013). Untuk mengurangi dampak lingkungan dari desain dan konstruksi perkerasan, meningkatkan keberlanjutan bahan paving dan teknologi konstruksi yang diinginkan. Peluang ramah lingkungan dalam konstruksi perkerasan dinilai melalui berbagai alat peringkat lingkungan seperti analisis siklus hidup dan kepemimpinan dalam energi dan lingkungan desain (berdasarkan ISO 14044). Salah satu pendekatan paling efektif untuk pembangunan berkelanjutan perkerasan adalah penggunaan bahan limbah seperti produk reklamasi, daur ulang dan limbah. Terutama, berbagai bahan limbah yang berbeda dapat digunakan di berbagai lapisan sistem perkerasan, tentunya harus mempertimbangkan sejumlah faktor ketika menentukan penggunaan yang tepat dari bahan limbah di konstruksi perkerasan jalan (Amran, 2015). Adapun keuntungan dari penggunaan *paving block* yaitu:

- a. Dalam pemasangannya tergolong mudah dan efisien
- b. Dapat diproduksi dalam jumlah banyak
- c. *Maintenance* atau pemeliharaan yang mudah
- d. *Paving block* memiliki karakteristik berpori sehingga dapat meminimalisir aliran permukaan dan dapat memperbanyak proses infiltrasi di dalam tanah
- e. Memiliki nilai estetika yang unik



Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi dan jenis dari *paving block* dapat dilihat di tabel 2.3 berikut:

**Tabel 2. 3** Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Jenis	Kegunaan
<i>Paving block</i> (Bata Beton) Mutu A	Memiliki kegunaan untuk dipasang di jalan
<i>Paving block</i> (Bata Beton) Mutu B	Memiliki kegunaan untuk peralatan parkir
<i>Paving block</i> (Bata Beton) Mutu C	Memiliki kegunaan untuk dipasang di trotoar (pedestrian/pejalan kaki)
<i>Paving block</i> (Bata Beton) Mutu D	Memiliki kegunaan untuk nilai estetika seperti taman dan penggunaan lain

Sumber: SNI 03-0691-1996

### 2.3.2 Syarat Mutu *Paving Block*

Menurut SNI 03-0691-1996 syarat mutu dari *paving block* adalah sebagai berikut:

a. Sifat tampak

*Paving block* (bata beton) harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat cacat dan retak serta bagian sudut dan rusuknya tidak mudah di rapihkan dengan hanya menggunakan kekuatan jari tangan.

b. Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal minimal 60 mm dengan toleransi  $\pm 8\%$ .

c. Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat fisika seperti pada tabel 2.4 berikut:

**Tabel 2. 4** Sifat - Sifat Fisika *Paving Block* (Bata Beton)

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus		Penyerapan air rata-rata maksimal
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	Presentase (%)
A	40	35	0.090	0.103	3
B	20	17	0.130	0.149	6
C	15	12.5	0.160	0.184	8
D	10	8.5	0.219	0.251	10

Sumber: SNI 03-0691-1996

**Tabel 2. 5** Kombinasi Pola Pemasangan, Mutu, dan Tebal *Paving Block*

No	Penggunaan	Kombinasi		
		Kelas	Tebal (mm)	Pola
1	Trotoar dan Pertamina	I	60	SB, AT, TI
2	Tempat Parkir dan Garasi	II	60	SB, AT, TI
3	Jalan Lingkungan	I/II	60/80	TI
4	Terminal Bus	I	80	TI
5	<i>Container Truck, Taxy Way</i>	I	100	TI

Sumber: SNI T-04-1990-F

## 2.4 Material Penyusun *Paving Block*

### 2.4.1 Semen

Semen Portland adalah semen hidrolis, yang artinya mengeras dengan mencampur bubuk dengan air suling. Proses pengaturan semen Portland melibatkan hidrasi progresif ion ortosilikat ( $\text{SiO}_4^{2-}$ ) dari trikalsium dan dikalsium silikat dan terutama menghasilkan gel kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) dan kristal rombohedral dari portlandit (kristal kalsium hidroksida) produk sampingan

(Müller et al., 2006). Seiring waktu, gel C-S-H amorf yang diendapkan pada semen tumbuh dan mengeras, sehingga mendapatkan kekuatan lebih saat pengerasan berlangsung, sementara portlandit yang dilepaskan dari semen meningkatkan alkalinitas lingkungan. Fase C-S-H memiliki struktur berpori dengan muatan permukaan negatif yang menyebabkan nukleasi kalsium fosfat pada permukaan semen dan pembentukan bahan seperti apatit. Reaksi trikalsium aluminat dan ferit menghasilkan kristal berbentuk jarum dari ettringite (*hexacalcium aluminate trisulphate hydrate*) dan fase monosulfat (Shahi et al, 2022).

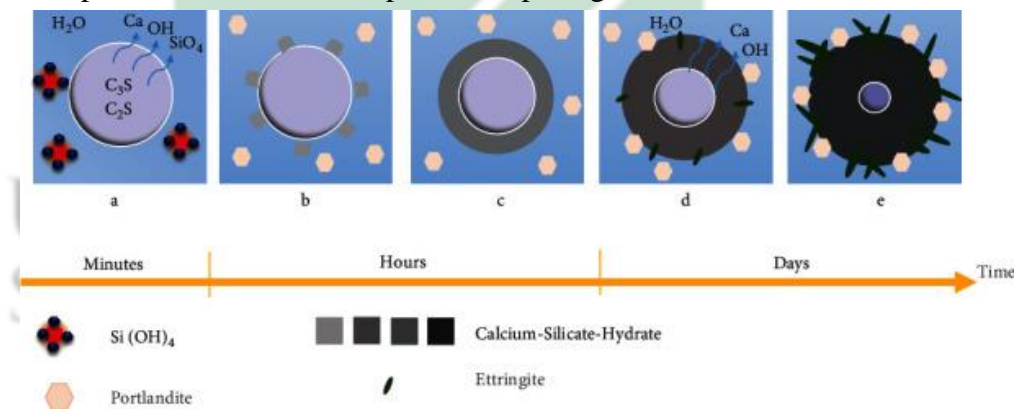
Menurut Charless 1980, semen juga dapat dikatakan sebagai suatu sediaan dari tanah liat dan batu gamping, atau yang setara, yang telah ditempatkan di dalam oven atau tempat pembakaran dan mengalami panas yang hebat sehingga tanah liat dan batu gamping tersebut direduksi menjadi massa yang dihancurkan yang dihaluskan dalam penggilingan untuk membuatnya menjadi bubuk, ketika itu dikenal sebagai semen serta memiliki sifat mengeras menjadi massa padat saat dibasahi. Massa padat terdiri dari banyak kristal kecil, oleh karena itu sering dikatakan tentang semen yang mengkristal atau "mengeras". Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan semen portland yaitu ASTM C-150-95, BS-812-92 atau JIS R5210 tentang *Specification for Portland Cement* bahwa Semen Portland ini dapat digunakan untuk keperluan konstruksi umum seperti pemasangan bata, talang, jalan, pagar, tembok dan konstruksi elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) (Purnama & Sudiby, 2018). Adapun senyawa yang terkandung dalam semen Portland terdapat pada tabel 2.6 berikut:

**Tabel 2. 6** Senyawa Utama Semen Portland

Nama Senyawa	Komposisi	Simbol	Fungsi
<i>Tricalcium Silicate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Kekuatan Awal
<i>Dicalcium Silicate</i>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Kekuatan akhir
<i>Tricalcium Aluminate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Kekuatan yang sangat awal yang hidrasinya masih rendah dan masih belum tahan terhadap sulfat
<i>Tetracalcium Aluminofe</i>	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{F}$	Berpengaruh pada warna

Sumber: George Toxell, *Composition and Properties of Concrete*, 1996

Rasio air atau bubuk memiliki pengaruh pada sifat rheologi semen yang disiapkan dan dapat mempengaruhi tingkat hidrasi dan produk sampingan, menurut Shahi, 2022 perbandingan campuran terbaik adalah dengan rasio air 0,3 sampai 0,6 untuk mendapatkan konsistensi yang optimal. Tingkat dan proses hidrasi pada semen Portland dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut:



**Gambar 2. 4** Proses Hidrasi Semen Portland

Sumber: Shahi et al, 2022

### 2.4.2 Agregat

Agregat adalah salah satu dari bahan material beton yang berupa sekumpulan batu pecah, kerikil, pasir baik berupa hasil alam atau lainnya. Agregat merupakan suatu material yang digunakan dalam adukan beton yang membentuk suatu semen hidrolis. Agregat yang digunakan dalam campuran

beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan, secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar mengandung butiran yang lebih besar dari 75 mm. Agregat kasar pada umumnya identik dengan kerikil atau batu pecah. Kerikil adalah pecahan batu atau batuan alam yang diperoleh dari industri pertambangan berupa serpihan batu, 5 mm - 40 mm menurut SNI 03-2847-2002. Prosedur untuk menetapkan uji dan berat jenis agregat ini terdapat di SNI 1964:2008 menggunakan alat piknometer. Berdasarkan ASTM C33 Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu pecah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm. berikut merupakan batas gradasi agregat kasar yang tertampung pada tabel 2.7

**Tabel 2. 7** Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Ayakan (mm)	Pemisahan Ukuran
	Persen Berat yang Melewati Ayakan
25	100
19	90 – 100
9,5	20 – 55
4,75	0 – 10
2,36	0 - 5

Sumber: SNI 7656-2012



**Gambar 2. 5** Agregat Kasar (Batu Split Pecah)

Sumber: (Okvianti & Febrianty, 2022)

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemeriksaan agregat kasar, yaitu:

- a) Bentuk Partikel: Agregat halus harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Partikel datar atau memanjang tidak diinginkan karena dapat mempengaruhi kemampuan pengerjaan dan kekuatan beton. Kehadiran butiran pipih tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat.
- b) Distribusi Ukuran Partikel: Gradasi agregat halus harus berada dalam batas yang dapat diterima untuk memastikan kemampuan kerja dan kekuatan beton yang tepat. Partikel agregat harus bergradasi baik dan bebas dari partikel halus atau kasar dalam jumlah yang berlebihan.
- c) Kontaminasi: Agregat halus harus bebas dari kontaminan yang dapat berdampak negatif pada sifat beton. Ini termasuk zat seperti bahan organik, tanah liat, lanau, atau bahan perusak lainnya. Kandungan lumpur yang berlebihan, melebihi 1% berat kering, membutuhkan pencucian agregat halus.
- d) Zat Alkalin: Agregat halus tidak boleh mengandung zat alkalin yang dapat merusak beton atau menyebabkan reaksi yang merusak. Zat alkali dapat menyebabkan pemuaihan dan keretakan beton seiring waktu.
- e) Ukuran Butir Maksimum: Ukuran maksimum butiran agregat halus harus mengikuti pedoman tertentu. Tidak boleh melebihi  $1/5$  jarak terkecil antar cetakan,  $1/3$  tebal pelat, atau  $3/4$  jarak bersih minimum tulangan. Mengikuti pedoman ini memastikan konsolidasi dan penempatan beton yang tepat (Nasution, 2022).

#### b. Agregat Halus

Agregat halus dapat juga disebut pasir, baik langsung dari sungai atau tanah bekas tambang, atau sebagai pasir alam yang diperoleh dari pemecahan batuan. Agregat dengan butiran lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, butiran lebih kecil dari 0,075 mm disebut lanau, dan butiran lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung atau tanah liat. (SNI-03-4804-1998 tentang Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat). Dalam pemeriksaan agregat halus di lapangan dapat diperhatikan aspek-aspek sebagai berikut:



- a) Daya tahan: Agregat halus harus terdiri dari butiran tajam dan keras yang tahan terhadap cuaca. Seharusnya tidak mudah pecah atau hancur karena pengaruh kondisi cuaca.
- b) Kandungan lumpur: Agregat halus tidak boleh mengandung lebih dari 5% lumpur, ditentukan oleh berat kering. Jika kandungan lumpur melebihi ambang batas ini, agregat halus perlu dicuci untuk menghilangkan kelebihan lumpur.
- c) Bahan organik: Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik yang berlebihan. Hal ini dapat diamati dengan memeriksa warna agregat halus. Jika warnanya menunjukkan adanya kandungan organik yang signifikan, mungkin tidak sesuai untuk digunakan dalam aplikasi konstruksi.
- d) Sumber agregat: Agregat halus yang diperoleh dari laut, seperti pasir pantai, mungkin tidak cocok untuk semua jenis mortar dan beton. Jenis pasir laut tertentu mungkin mengandung garam tingkat tinggi atau kotoran lain yang dapat mempengaruhi sifat mortar atau beton. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan persyaratan khusus dari aplikasi yang dimaksud dan berkonsultasi dengan standar atau pedoman yang relevan sebelum menggunakan pasir laut sebagai agregat halus (Nasution, 2022).



**Gambar 2. 6** Agregat Halus (Abu Batu)

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2023

### 2.4.3 Air

Fungsi air dalam campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya pengikatan berlangsung dan sebagai pelumas antara campuran agregat dan semen agar mudah dalam pengerjaannya sambil mempertahankan kemampuan kerja (Ridwan.A et al, 2019). Menurut SK SNI 04-1989 F (Spesifikasi Bahan Bangunan) air sebagai campuran bahan bangunan sebaiknya harus memnuhi syarat sebagai berikut:

1. Air yang digunakan harus dalam keadaan bersih
2. Air tidak memiliki kandungan lumpur, minyak ataupun benda yang memiliki berat lebih dari 2 gram/liter
3. Tidak mengandung garam atau zat asam yang dapat merusak campuran
4. Air tidak mengandung Asam Klorida (Cl) dan Kandungan Senyawa sulfat lebih dari 0,5 gram/liter.

Air merupakan salah satu komponen terbanyak yang mengisi bumi kita, air juga memiliki peran penting terhadap kehidupan di muka bumi ini, sebagaimana tercantum dalam Al-Quran surat Al-Mulk ayat 30 yaitu:

قُلْ أَرَأَيْتُمْ إِنْ أَصْنَحَ مَاؤُكُمْ غَوْرًا فَمَنْ يَأْتِيكُمْ بِمَاءٍ مَّعِينٍ

“Katakanlah (Muhammad), “Terangkanlah kepadaku jika sumber air kamu menjadi kering; maka siapa yang akan memberimu air yang mengalir?” (QS. Al-Mulk: 30)”.

Bagaimanapun juga 70% dunia ini adalah air tapi hanya 2,5% saja dari seluruh air itu yang dapat dikonsumsi oleh manusia, hewan, dan tumbuhan. Dan lebih mengerikannya lagi, air yang dapat kita konsumsi, yang bersumber dari sungai-sungai, kini mulai banyak mengering di berbagai belahan dunia. Dalam Al-Qur'an, kata air disebutkan beberapa kali. Allah mengkategorikan air dalam beberapa kriteria: Dia membedakan air hujan sebagai air yang disucikan, air dari mata air sebagai air yang manis, air laut sebagai air asin, dan Allah juga menyebutkan air-air yang mengalir dari

bebatuan. Selain itu, Dia juga menyebut sesuatu yang membatasi antara air laut dan tawar.

## 2.5 Daya Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Uji kuat tekan juga bisa disebut kapasitas beban benda uji di bawah pengaruh gaya tekan untuk mengukur efisiensi suatu bahan atau untuk mengidentifikasi kualitas suatu struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur maka semakin tinggi kualitas beton yang dihasilkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan beban tekan maksimum yang dapat ditahan oleh pelat paving (Setiabudi et al., 2019). Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan cara uji konvensional menggunakan mesin uji dengan memberikan beban tekan bertingkat pada benda uji kubus hingga hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 03- 6805 – 2002 dan ASTM (*American Standart and Testing Material*) C 39/C 39M-04a.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2. 1}$$

f'c: Kekuatan tekan benda uji (Mpa)

P : Gaya tekan maksimum (N atau Kn)

A : Luas penampang benda uji (m<sup>2</sup>)

Kekuatan tekan mengacu pada kemampuan material atau struktur internal untuk menahan beban. Untuk menentukan kuat tekan dapat dilakukan analisis kurva tegangan-regangan yang dihasilkan oleh mesin uji. Sementara beberapa zat dapat patah ketika mengalami kompresi di luar batasnya, yang lain mungkin berubah bentuk atau tetap tidak terpengaruh. Dalam kasus tertentu, deformasi tertentu dapat dianggap sebagai ambang kekuatan tekan, bahkan jika material belum mengalami kerusakan total, terutama pada material yang tidak dapat diubah yang tidak dapat memperoleh kembali keadaan aslinya (Rizky Khoirur, 2018). Mesin uji yang digunakan untuk uji kuat tekan tercantum pada Gambar 2.7 di bawah ini.



**Gambar 2. 7** Alat Uji Kuat Tekan

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2023

## 2.6 Daya Serap Air

Daya serap air merupakan kemampuan beton dalam mengalirkan fluida permeabilitas yang berpengaruh terhadap kecil besarnya kemampuan produksi atau laju air. Menurut SNI 03-0691-1996, daya serap air juga berperan sebagai parameter yang akan menentukan hasil dari kelas mutu klasifikasi bata beton yang dihasilkan seperti yang tercantum pada Tabel 2.3. *Paving Block* dengan mutu A memiliki daya serap air maks sekitar 2-3%, kelas mutu B memiliki daya serap air sekitar 5-6%, kelas mutu C memiliki daya serap air 7-8% dan kelas mutu D maksimum sekitar 10%, karena semakin rendah presentase daya serap air maka paving blok yang dihasilkan akan jauh lebih kuat dan pemakaiannya lebih awet serta tahan lama (Purnama & Sudiby, 2018). Keterkaitan antara interbilas dengan laju air di dalam sistem media yang berpori dikemukakan oleh Darcy dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

A = massa basah benda uji (gram)

B = massa kering benda uji (gram)

Berat basah (A) paving block ditentukan dengan merendamnya dalam air bersih selama kurang lebih 24 jam. Setelah mengeluarkannya dari air, air yang tersisa dibiarkan menetes selama sekitar 1 menit. Kemudian, permukaan paving block dilap dengan kain untuk menghilangkan kelebihan air. Selanjutnya dilakukan penimbangan berat kering (B) paving block. Balok ditempatkan dalam ruang pengering yang diatur pada suhu kira-kira 105°C sampai beratnya stabil, yang dipastikan dengan menimbanginya dua kali berturut-turut dengan selisih tidak lebih dari 0,2% antara kedua pengukuran. Selisih antara berat basah (A) dan berat kering (B) merupakan jumlah air yang terserap oleh paving block. Perbedaan ini dihitung sebagai persentase berat (Nurzal & Mahmud, 2013).

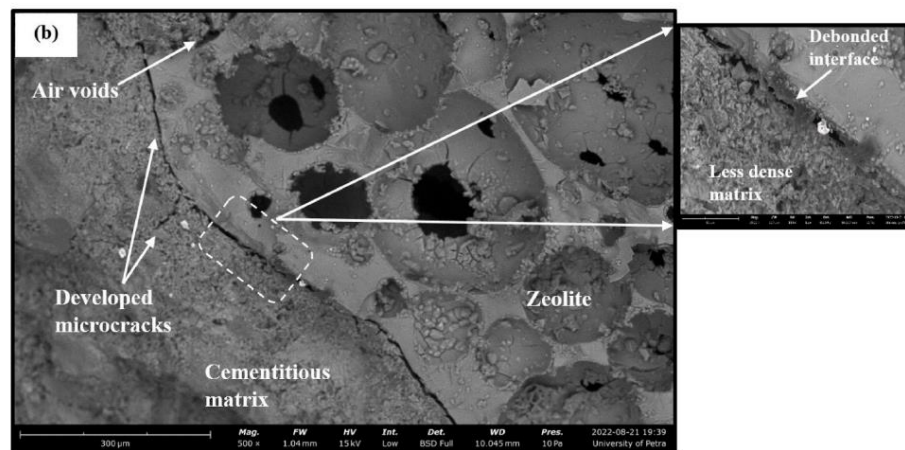
Komposisi campuran yang digunakan untuk paving block memiliki peran penting dalam menentukan kekuatan tekan dan penyerapan airnya. Terdapat korelasi negatif antara kuat tekan dan komposisi campuran paving block. Dengan meningkatnya komposisi, kekuatan tekan campuran menurun. Di sisi lain, penyerapan air berkorelasi positif dengan komposisi campuran paving block. Dengan meningkatnya komposisi, penyerapan air dari campuran juga meningkat (Sembiring Christine A, 2017).

### **2.7 Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)**

Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah jenis uji yang dilakukan untuk mengamati secara langsung permukaan benda padat. Uji ini dilakukan untuk mengetahui morfologi yaitu bentuk dan ukuran partikel penyusun benda. Fungsi lain dari uji SEM ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang kristalografi, yaitu informasi tentang seberapa homogen atau tidaknya susunan butiran pada objek yang diamati (konduktivitas, sifat kelistrikan, kekuatan, dll). Alat yang digunakan dalam uji ini adalah mikroskop elektron, yang bertujuan untuk memvisualisasikan dan memeriksa permukaan suatu objek, serta mempelajari struktur bakteri dan virus, bersama dengan dislokasi dalam logam. Salah satu keunggulan mikroskop elektron adalah mampu memperbesar objek hingga 2 juta kali. Ini dicapai melalui pemanfaatan kontrol elektrostatis dan elektromagnetik untuk mengatur pencahayaan dan tampilan gambar. Mikroskop elektron juga



memiliki kemampuan untuk memperbesar objek dan menawarkan resolusi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop cahaya (Yuanita Bintoro et al., 2018). Pengujian SEM dilakukan pada sampel uji setelah uji kuat tekan, setelah penghancuran yang disebabkan oleh uji kuat tekan, hasil sampel uji dihaluskan kembali, sehingga dapat dilanjutkan untuk pengujian SEM. (Qomariah dkk, 2022). Berikut merupakan gambar 2.8 terkait uji SEM



**Gambar 2. 8** Contoh Hasil Uji SEM Pada Paving Block

Sumber: Al-Kheetan, 2022

Menurut (Al-Kheetan, 2022) gambar 2.4 menjelaskan bahwa hasil *mix design* pada *paving block* menunjukkan kandungan rongga udara yang lebih rendah dari penyebaran *microcracks*. Kehadiran natrium silikat pada permukaan maupun tekstur paving akan meningkatkan kekasaran dan luas permukaannya sehingga menghasilkan ikatan interfase yang kuat dengan semen dan agregat. Selain itu, terdapat kandungan natrium silikat yang dapat membantu untuk proses mengurangi penyerapan air. Berkaitan dengan gambar tersebut dapat kita ketahui banyak makhluk hidup yang bahkan dapat berkembang biak di dalam benda mati sekalipun seperti paving, ada beberapa mikroorganisme yang tidak dapat kita lihat dengan mata karena ukurannya yang sangat kecil, hal ini tercantum dalam Al-Qur'an yang membahas mikroorganisme dalam ayat-ayatnya salah satunya yakni pada QS. Yasin/36:36:



سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ

*“Maha Suci Tuhan yang telah menciptakan pasangan-pasangan semuanya, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka maupun dari apa yang tidak mereka ketahui”.*

Ayat di atas menjelaskan tentang adanya atau keberadaan bentuk kehidupan yang belum diketahui manusia pada saat turunnya wahyu Al-Qur'an dari Lauhul Mahfuz. Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, para ilmuwan akhirnya dapat mengidentifikasi makhluk baru yang belum pernah dikenal sebelumnya, seperti yang disebutkan dalam Al Quran. Setelah penemuan mikroskop, kita sekarang dapat mengamati kehidupan benda-benda kecil yang tidak terlihat.

**Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu**

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Ismi Hasna Arsalani, Asep Kurnia Hidayat, Rosi Nursani	2023	Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur	Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa dengan menambahkan limbah sol karet sebagai substitusi agregat kasar pada campuran beton menghasilkan nilai kuat lentur lebih tinggi dan optimum dengan variasi sebesar 4% terhadap volume agregat kasar. Nilai kuat lentur yang dihasilkan sebesar 5,44

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				Mpa lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat lentur beton normal dengan variasi 0% sebesar 5,09 Mpa. Sehingga dapat disimpulkan pengaruh penambahan limbah sol karet berpengaruh pada kuat lentur.
2	Mohammad Harun Ar-Rasyid, Diah Sarasanty	2022	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Sandal Karet Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan volume 15x15x60, dengan penambahan limbah serbuk sandal dihasilkan kuat lentur Tarik beton meningkat sebesar 5,38% pada kombinasi ke 2 yaitu menggunakan variasi limbah sandal karet sebesar 10% terhadap volume agregat kasar. Sedangkan nilai kuat tekan beton menurun dengan semakin bertambahnya variasi jumlah serbuk sandal karet yang disubstitusikan.
3	Erdin Khalid Zulfi, Zainuri, Fitridawati Soehardi	2021	Kualitas <i>Paving Block</i> dengan menggunakan limbah plastik	Penelitian ini menggunakan 10 variasi dalam pembuatan benda uji, yaitu sebesar 0%, 10%,

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			<i>Polypropylene</i> Terhadap Kuat Tekan	20%, 30% ,40%,50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Berdasarkan variasi yang dibuat dengan menggunakan limbah plastik sebagai perekat substitusi dari semen, nilai kuat tekan maksimum berada pada campuran dengan variasi limbah plastik 30%:70% dari agregat halus didapat sebesar 16,11 Mpa dan mutu yang dihasilkan tergolong dalam mutu C.
4	Reza Elvandra Harahap	2021	Pembuatan <i>Paving Block</i> Dengan memanfaatkan Limbah Plastik Jenis <i>Styrofoam (Polystyrene)</i>	Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa variasi yang digunakan dengan menggunakan limbah <i>Styrofoam</i> sebesar 50% dan 25% terhadap volume pasir. Variasi <i>Styrofoam</i> sebesar 25% menghasilkan nilai kuat tekan 25,7 Mpa dan tergolong dengan mutu beton B yang digunakan untuk peralatan parkir, sedangkan komposisi perbandingan 50% <i>Styrofoam</i> dan 50% pasir lebih kuat saat diuji kuat tekannya yaitu dengan rata-rata 32 Mpa yang mana tergolong dalam mutu A

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
5	Saufik Luthfianto, Nisrina Nurkhanifah, I'anutul Maula	2020	Inovasi Limbah Plastik dan Kulit Kopi Menjadi Paving Block di Desa Penakir Pemalang	Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa penggunaan kulit kopi sebagai bahan campuran pembuatan <i>paving block</i> menggunakan variasi sebesar 1%, 3% dan 4%. Dengan menghasilkan rata-rata kuat tekan sebesar 8,67 Mpa – 10,33 Mpa yang mana tergolong dalam mutu D.
6	Andreas Setiabudi, Julio Riov, Feisal Adri Winansa, Rio Yohannes, Agustinus Agus Setiawan	2019	Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton	Benda uji sampel menggunakan bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan variasi penambahan ban bekas sebesar 5%, 10% dan 15 %. Faktor umur pengujian beton yang digunakan adalah 28 hari dengan hasil beton tergolong untuk kegunaan dalam mutu C dengan kuat tekan paling optimum sebesar 13,8 Mpa. Disimpulkan bahwa penambahan ban bekas dalam campuran betin mengurangi nilai kuat tekan sebesar 50% dengan variasi paling tinggi yaitu penambahan sebanyak 15% terhadap volume agregat kasar.

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
7	Ariyadi	2019	Uji Pembuatan <i>Paving Block</i> Menggunakan Campuran limbah Plastik jenis PET ( <i>Poly Ethylene Terephthalate</i> ) Pada Skala Laboratorium	Hasil Penelitian ini menyatakan bahwa terdapat 4 variasi campuran limbah plastik pada pembuatan paving block, yaitu 5%, 6%,7%, dan 8%. Hasil uji kuat tekan <i>paving block</i> yang dihasilkan dengan menggunakan limbah sampah jenis PET ( <i>Poly Ethylene Terephthalate</i> ) optimum pada umur 28 hari.
8	Satya Adi Purnama, Tri Sudibyo	2018	Pengaruh Limbah Keramik dan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Bata Beton	Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa limbah keramik dan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dengan kadar tertentu pada pembuatan bata beton. Variasi penambahan kadar abu sebesar 9% dan limbah keramik sebesar 6% dan menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 26,56 MPa.
9	Burhanuddin, Basuki, Darmanijati	2018	Pemanfaatan Limbah Plastik Bekas Untuk Bahan Utama Pembuatan Paving Block	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada umur 17 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 7,92 Mpa dengan variasi 1%
10	Mazen J. Al-Kheetan	2022	Properties of Lightweight Pedestrian Paving Blocks Incorporating Wheat Straw: Micro to Macro Scale Investigation	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa limbah dari sedotan yang digunakan sebagai campuran pembuatan beton

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
				<p>diselidiki secara menyeluruh menggunakan uji Sem (Scanning Electron Microscope). Hasilnya menunjukkan pembentukan ikatan interfase yang relatif kuat antara limbah sedotan ketika dicampur dengan semen, dan ketika limbah sedotan diperlakukan dengan natrium silikat. Namun pada uji daya serap air mengalami penurunan sebesar 62% terhadap variasi penambahan limbah sedotan sebanyak 5%.</p>
11.	Jupakai Akhila, Nimmagadda Venkat Rao	2022	Experimental Investigation on Carbonation of Concrete Using SEM – EDX(Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) & Environmental Scanning Electron Microscope(ESEM) Analysis	<p>Berdasarkan hasil penelitian ini beton yang diuji menggunakan SEM dihancurkan dan haluskan, serbuk dari spesimen yang dibuat diayak melalui saringan berukuran 90mm dan hasil serbuk akan diujikan menggunakan SEM. Spesimen yang diuji setelah melalui perawatan selama 28 hari. Serta hasil dari kuat tekan dan kuat lentur beton ditentukan untuk masa perawatan 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.</p>



No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
12.	Matteo Sambucci, Marco Valente	2021	Ground Waste Tire Rubber as a Total Replacement of Natural Aggregates in Concrete Mixes: Application for Lightweight Paving Blocks	<p>1. Hasil penelitian ini menyajikan karakterisasi material campuran semen dengan karet serta penambahan ban karet dengan ukuran (serbuk karet 0-1mm, dan butiran ban karet 1-3mm)</p> <p>2. Agregat karet menginduksi peningkatan yang signifikan dalam ketangguhan dan kapasitas regangan material dalam kondisi dinamis. Meskipun pengaruh agregat kasar memberikan kinerja terbaik dalam hal energi mekanik yang diserap (peningkatan 54% campuran RP50-RG50 dibandingkan sampel CTR), kandungannya harus diseimbangkan dengan hati-hati untuk menghindari efek kontroversial akibat peningkatan terjadinya cacat antarmuka dalam matriks (sebagaimana dikonfirmasi oleh analisis mikroskop elektron pemindaian).</p>
13.	Rohit Soni, Deepak Mathur	2020	An Experimental Study on Using of Commercialized Crumb Rubber in	Dalam penelitian ini, limbah karet digunakan untuk menggantikan agregat halus (pasir) dalam

No	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			Interlocking Concrete Paver Block	beton dengan kuantitas setara 0% hingga 40% volume untuk membuat balok paving yang saling mengunci. Hasil kuat tekan yang dihasilkan optimum pada variasi penambahan limbah hancuran karet sebesar 20% dengan ukuran cacahan limbah karet yang lolos ayakan sebesar 48 mm.
14	Jeevan Ghuge, Saurabh Surale, Dr.B.M.Patil, S B Bhutekar	2019	Utilization of Waste Plastic in Manufacturing of Paver Blocks	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis paving block yang digunakan tergolong dalam mutu C yang biasa digunakan oleh pedestrian dan area taman. Penambahan limbah plastik sebagai bahan campuran pembuatan paving block dapat mengurangi 600 kg limbah plastik.

Sumber: Diolah dari Berbagai Sumber

Berdasarkan penelitian terdahulu yang tercantum sebelumnya diharapkan mampu menjadi sumber informasi bagi para. Dalam ajaran islam Allah sangat suka hambanya yang senang berbagi ilmu kepada orang lain, sebagaimana yang tercantum dalam hadits berikut ini:

فَضْلُ الْعِلْمِ خَيْرٌ مِنْ فَضْلِ الْعِبَادَةِ، وَخَيْرٌ دِينِكُمْ الْوَرَعُ

“Keutamaan ilmu adalah lebih baik dari pada keutamaan ibadah. Dan sebaik-baik agama kalian adalah ketakwaan”. Diriwayatkan oleh Ath-Thabrani dalam Al-Ausath (no. 3972), Ibnu ‘Abdil Barr dalam Jami’ Bayanil. Maksud dari hadits tersebut ialah

menuntut ilmu sama dengan menghargai kitab, jika kita paham akan ilmu yang kita berikan kepada orang lain maka senantiasa hal tersebut akan bermanfaat dan kita termasuk golongan orang-orang yang tidak merugi selama di dunia.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian deskriptif kuantitatif merupakan metode yang bertujuan untuk menemukan sebuah data untuk menghasilkan keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. Metode ini digunakan untuk mengolah data yang ingin dihasilkan dari setiap perlakuan pembuatan paving *block* (Chandra, 2016).

### 3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian


Waktu pelaksanaan dan analisis hasil penelitian dilaksanakan mulai bulan Maret hingga bulan April 2023, yang merupakan kegiatan studi Tugas Akhir bidang limbah padat yaitu Pemanfaatan Limbah Sandal Dari *Home Industry* Di Desa Kepuh Kiriman Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo Sebagai Material Agregat Kasar Pada Bahan Campuran Pembuatan *Paving Block*. Limbah yang diambil merupakan sisa hasil dari *home industry* sandal di desa Kepuh Kiriman yang nantinya akan di uji di Laboratorium Beton dan Material di Kampus UINSA II Gunung Anyar.





### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian



#### 3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini tersajikan dalam tabel 3.1 di bawah ini:



**Tabel 3. 1** Alat dan Fungsi dalam Penelitian

No	Alat	Fungsi	Sumber dan Gambar
1.	Timbangan	Menimbang berat sampel	

No	Alat	Fungsi	Sumber dan Gambar
			(Dokumentasi Penelitian, 2023)
2.	Baskom	Wadah untuk bahan campuran pembuatan <i>paving block</i>	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)
3.	Cetakan atau sekop	Memindahkan adukan ke dalam cetakan dan juga untuk meratakan permukaan benda uji yang baru dicetak.	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)
4.	Satu set saringan	Mengukur gradasi agregat	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)
5.	<i>Compressing Testing Machine</i> (CTM)	Untuk menguji kuat tekan pada paving sesuai prosedur ASTM C39-94.	

No	Alat	Fungsi	Sumber dan Gambar
			 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>
6.	Cetakan paving	Untuk mencetak paving sesuai ukuran dengan P x L x T = 8cm x 10 cm x 20 cm	 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>
7.	Alat Pengaduk	Befungsi untuk mengaduk bahan campuran paving <i>block</i>	 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>
8.	<i>Container</i> atau bak	Untuk menyimpan paving pada proses perendaman	






No	Alat	Fungsi	Sumber dan Gambar
			 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>
9.	Gelas Takar	Untuk wadah air sebagai campuran pembuatan adonan paving	 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>

### 3.3.2 Bahan

Bahan campuran atau *mix design* yang akan digunakan dalam pembuatan *paving block* di penelitian ini tercantum pada tabel 3.2 berikut:

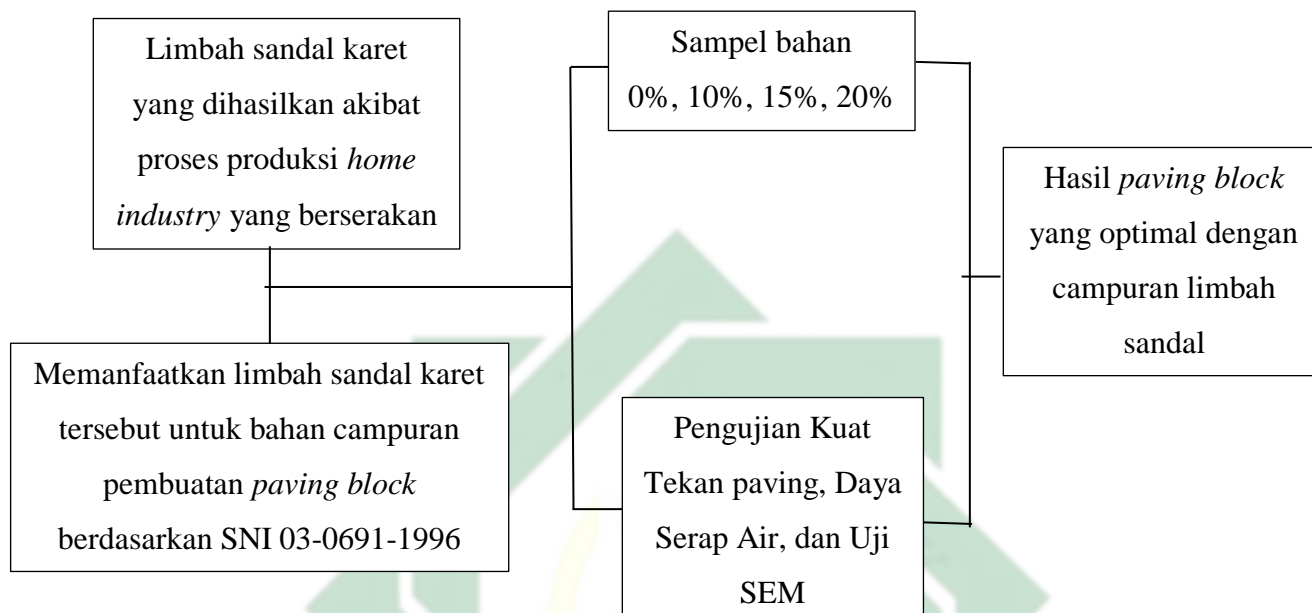
**Tabel 3. 2** Bahan dan Kegunaan dalam Penelitian

No	Bahan	Fungsi	Sumber dan Gambar
1.	Semen <i>Portland</i> (Merk Semen Gresik)	Sebagai bahan campuran <i>paving block</i>	 <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>
2.	Limbah Sandak	Sebagai material pengganti sebagian agregat kasar	  <p>(Dokumentasi Penelitian, 2023)</p>

No	Bahan	Fungsi	Sumber dan Gambar
3.	Agregat halus (abu batu)	Sebagai bahan campuran <i>paving block</i>	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)
4.	Agregat Kasar (Tesla/Batu Pecah)	Sebagai bahan campuran pembuatan paving blok	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)
5.	Air Bersih	Sebagai bahan campuran <i>paving block</i>	 (Dokumentasi Penelitian, 2023)

### 3.4. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan alur atau urutan penelitian secara sistematis untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam penelitian secara optimal dan sesuai dengan yang diharapkan oleh peneliti sesuai dengan ruang lingkup dan tujuan penelitian (Arsalani et al., 2021). Berikut merupakan diagram kerangka pikir penelitian pada Gambar 3.1.



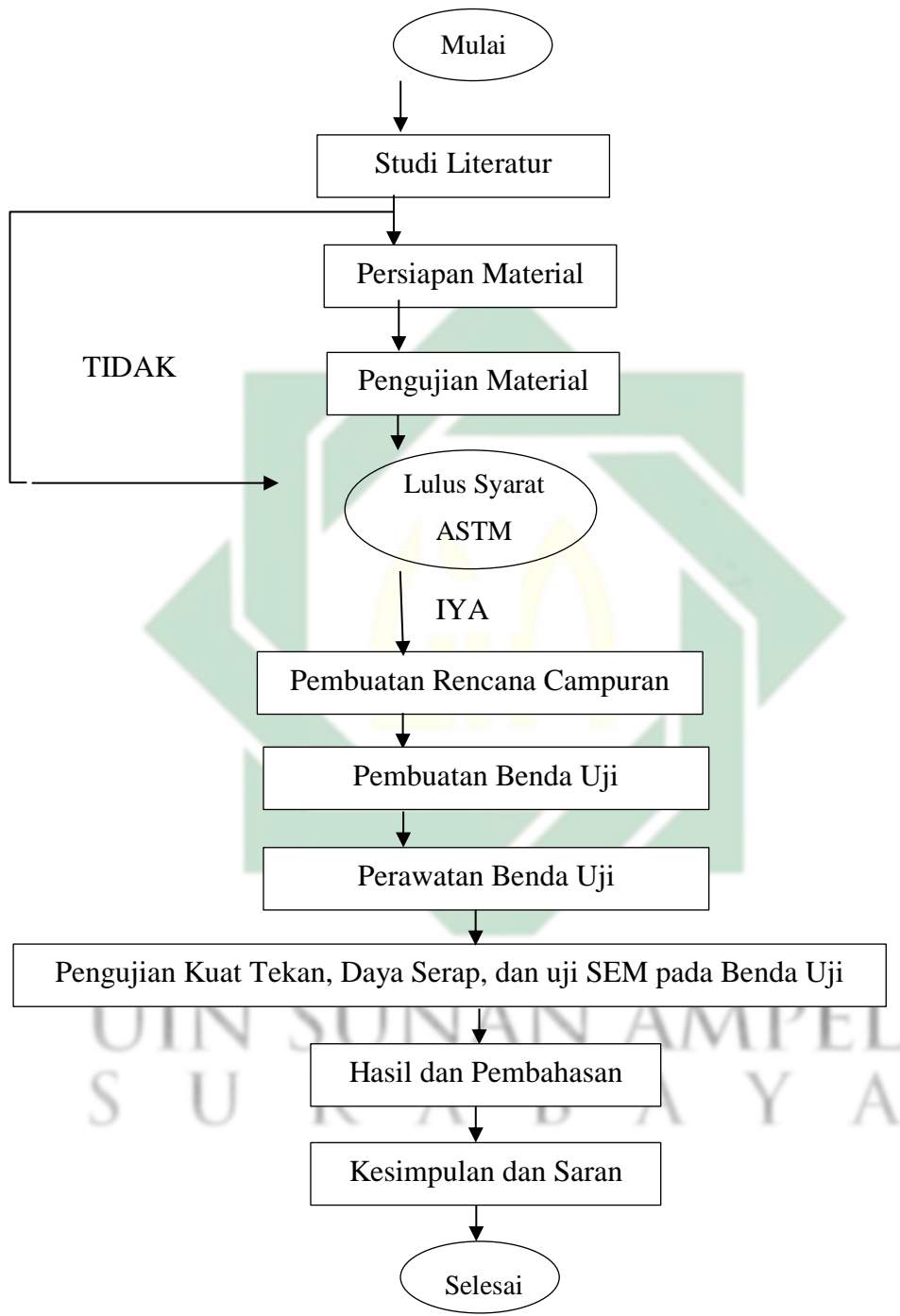
**Gambar 3. 1** Kerangka Pikir Penelitian

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Kerangka pikir penelitian ini bermula dari banyaknya limbah sandal karet yang dihasilkan akibat sisa hasil produksi *home industry* sandal di Desa Kepuh Kiriman. Limbah tersebut menumpuk dan berserakan di sekitar *home industry* tersebut dan menyebabkan pencemaran lingkungan di sekitarnya. Dari limbah sandal karet yang sudah tidak dimanfaatkan lagi maka terbentukkan inovasi untuk memanfaatkannya kembali salah satunya dengan menggunakan limbah sandal karet sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar pada bahan campuran pembuatan *paving block*. Dalam proses pembuatan *paving block* mengacu pada SNI 03-0691-1996, serta limbah sandal karet yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar memiliki 4 jenis variasi penambahan yaitu 0% (tanpa limbah sandal), 10%, 15%, dan 20%.

### 3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tentang langkah kerja yang akan dilakukan serta berisi tahapan penelitian, tujuan dari tahapan penelitian agar memudahkan untuk menjelaskan deskripsi dari penelitian tersebut. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian

### 3.4.1 Tahapan Persiapan Penelitian

Tahapan persiapan yaitu menyiapkan seluruh alat dan bahan material agar penelitian dapat berjalan dengan baik. Bahan campuran yang akan digunakan untuk pembuatan *paving* block terdiri atas semen Portland merk semen gresik, abu batu, batu pecah, air bersih, dan limbah sandal karet. Bahan tersebut merupakan campuran pembuatan *paving block* yang nantinya akan dicetak menggunakan mesin *press hidrolik* (Surya Dharma & Dwiyuono, n.d.)

### 3.4.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Pada tahapan pelaksanaan ini berisi tentang rencana penulis terkait pembuatan, perawatan, hingga rencana pengujian terhadap benda uji.

#### a. Tahap Pencampuran (*mixing*)

Metode pencampuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pencampuran sederhana, yaitu terdiri dari campuran:

- a) Air
- b) Semen
- c) Agregat Halus (abu batu)
- d) Agregat Kasar (batu pecah)
- e) Limbah Sandal

Sebelum memulai tahap pencampuran hal yang harus dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan, bahan yang digunakan untuk membuat paving ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan rencana komposisi pembuatan, yang selanjutnya dimasukkan ke dalam mesin pengaduk hingga tercampur rata.

Rencana komposisi bahan campuran tersebut menggunakan perbandingan 1:1:3 dengan komposisi (abu batu: batu pecah: limbah sandal). Campuran komposisi tersebut mengacu pada SNI 03-0691-1996.

#### b. Tahap Pencetakan

Setelah bahan tercampur dengan baik, tahapan selanjutnya adalah pencetakan. Campuran paving yang sudah tercampur rata dituang dalam alat pencetak paving lalu di press dengan mesin press hidrolik. Paving yang akan dicetak berbentuk balok dengan ukuran 10 cm x 21 cm x 6 cm. Setelah paving dicetak lalu dikeluarkan dan dibiarkan mengeras selama 1x24 jam.

c. Tahap Perawatan Benda Uji

Setelah melalui tahap pencetakan, benda uji yang sudah mengering dilakukan perawatan terlebih dahulu sebelum diuji. Adapun jenis perlakuan adalah sebagai berikut:

a) Perawatan Uji Kuat Tekan

Pada tahap ini, paving akan direndam dengan 3 jenis perlakuan yaitu, perendaman paving dengan air bersih selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setelah direndam dan siap untuk diuji kuat tekannya, paving terlebih dahulu ditimbang untuk didapat massa atau berat jenis nya sebelum di uji kuat tekan.

b) Perawatan Uji Daya Serap Air

Pada tahap ini paving direndam dengan air dalam kurun waktu hanya 24 jam berbeda dengan uji kuat tekan yang terbagi menjadi 3 jenis perendaman. Sebelum direndam, paving terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat jenis atau massa kering dari benda uji. Tahap setelah perendaman yaitu dilakukan penimbangan kembali benda uji untuk mengetahui massa basah, setelah itu pengovenan benda uji dengan suhu 105°C dalam kurun waktu  $\pm 60$  menit.

d. Pengujian *Paving Block*

Pengujian yang akan dilakukan menggunakan SNI 03-0691-1996 sebagai standar pengujian. Pada penelitian ini uji yang digunakan untuk *paving block* terdapat 3 jenis yaitu, uji kuat tekan, uji daya serap air dan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*). Berdasarkan SNI 03-0691-1996, kualitas mutu paving terbagi menjadi 4 yaitu Mutu A, B, C, dan D. Pada penelitian ini kualitas mutu dari *paving block* yang akan digunakan



adalah pada mutu B, *paving block* jenis ini memiliki kuat tekan pada rata-rata 20 mPa/K-200 (200 kg/cm) dan minimum kuat tekan pada 17 mPa/K-170 (kg/cm). Menurut Badan Standarisasi Nasional penggunaan *paving block* pada mutu ini direkomendasikan untuk peralatan parkir.

e. Jumlah Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat tergolong dalam bata beton. Bata beton memiliki warna seperti warna asli atau bisa berwarna lain apabila diberi zat warna pada bahan komposisinya untuk estetika jika digunakan baik di halaman maupun luar bangunan (SNI 03-0691-1996). Menurut (Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata Beton (Paving Block), 03-0691-1996) Pada keterangan jumlah benda uji untuk kuat tekan menggunakan rentang waktu 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Berikut merupakan tabel 3.4 tentang pemetaan jumlah benda uji yang akan dibuat:

**Tabel 3. 3** Jumlah Rencana Benda Uji

Konsentrasi Limbah Sandal Karet	Jumlah Benda Uji Untuk Uji Daya Serap Air	Jumlah benda Uji Untuk Uji Kuat Tekan			Jumlah Benda Uji Untuk Uji SEM	Total
		7 hari	14 hari	28 hari		
0%	2	2	2	2	1	9
5%	2	2	2	2	1	9
10%	2	2	2	2	1	9
15%	2	2	2	2	1	9
<b>TOTAL</b>	8	8	8	8	4	<b>36</b>

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Jumlah benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 36 sampel *paving block*.

### 3.5 Analisa Data

Analisa data merupakan proses untuk penyusunan pada penelitian ini dengan metode deskriptif kuantitatif dan menjelaskan data yang diperoleh untuk melakukan analisis terhadap pemanfaatan limbah karet pada bahan campuran pembuatan *paving block*.

#### 3.5.1 Analisa Hasil Prosentase Optimal Pada Variasi Limbah Sandal

Jenis variasi dari penambahan limbah sandal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 0% (tanpa menambahkan limbah sandal), 10%, 15%, dan 20% terhadap volume agregat kasar. Dari keempat variasi tersebut akan dianalisis dengan melakukan pengujian kuat tekan dan daya serap air yang memiliki hasil paling optimal untuk digunakan dalam golongan beton mutu B K-200.

#### 3.5.2 Analisa Hasil Kuat Tekan, Daya Serap Air, dan Uji SEM

- a. Hasil uji kuat tekan dilakukan setelah proses perendaman paving selama faktor umur yang telah ditentukan yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Untuk mendapatkan hasil dari kuat tekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus dari persamaan 2.1
- b. Hasil uji daya serap air pada penelitian ini mengacu pada kualitas mutu beton yang akan dibuat yaitu mutu beton B k-200 dengan daya serap air minimal 5-6%. Untuk menghitung daya serap air pada pembuatan *paving block* ini dapat dilihat pada persamaaan 2.2.
- c. Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan setelah *paving block* diuji kuat tekan nya, setelah didapat hasilnya paving di haluskan sampai memiliki tekstur bubuk seperti bedak untuk dapat diuji SEM, ada 4 sampel yang akan di uji SEM, masing-masing sampel tersebut sesuai dengan jenis variasi limbah sandal yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20%. Uji SEM pada umumnya memperlihatkan morfologi, senyawa serta kandungan mikroorganisme apa yang terkandung di dalam benda sampel. Meskipun sampel berupa benda mati seperti paving *block* akan tetapi ada beberapa makhluk hidup bahkan yang tidak bisa dilihat hanya dengan menggunakan

mata saja, hal tersebut dapat terbukti bahwa benda mati sekalipun terdapat makhluk atau mikroorganisme untuk hidup seperti yang tertuang dan telah dijelaskan pada Surat Q.S Al Anbiya' ayat 30 yang berbunyi

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ

Artinya : “Dan dari air Kami menjadikan segala sesuatu hidup. Maka mengapa mereka tidak juga beriman?”.

### **3.5.3 Analisa Hasil Karakteristik dari *Paving Block* yang Dihasilkan**

Hasil karakteristik dari paving yang akan dianalisa diantaranya seperti tekstur paving, serta bentuk dan luas penampang dari paving yang dihasilkan dengan penambahan limbah sandal karet sesuai variasi yang digunakan yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20%, selain itu paving yang akan dibuat berbentuk balok dengan ukuran 10 cm x 21 cm x 6 cm.

### **3.5.4 Analisa RAB Untuk Produksi *Paving Block***

Hasil analisa mengenai biaya yang akan dikeluarkan untuk produksi paving block berupa biaya semen yang akan digunakan dalam pembuatan paving tersebut, lalu biaya abu batu, air, batu pecah serta biaya dari upah pekerja dengan menggunakan satuan harga pokok di kabupaten Sidoarjo. Pembuatan RAB untuk produksi *paving block* dibuat untuk total paving sebanyak 36 buah.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Hasil Analisis Uji Kuat Tekan Paving *Block*

Pembuatan paving *block* dengan campuran limbah sandal sebagai tambahan agregat kasar bertujuan untuk mengetahui nilai optimum kuat tekan yang dihasilkan dari penambahan limbah tersebut. Pada umumnya campuran paving terdiri dari semen, pasir, kerikil, dan air. Variasi penambahan limbah sandal karet yaitu 0% (tidak menggunakan limbah sandal), 10%, 15%, dan 20%. Benda uji yang akan dibuat berbentuk balok dengan ukuran 21 cm x 10 cm x 6 cm. Hasil pembuatan benda uji disajikan pada Gambar 4.1 sampai 4.4



**Gambar 4. 1** Paving *Block* Variasi 0%



**Gambar 4. 2** Paving *Block* Variasi 10%





**Gambar 4. 3** Paving *Block* Variasi 15%



**Gambar 4. 4** Paving *Block* Variasi 20%

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2023

Sampel yang dibuat untuk uji kuat tekan paving adalah sebanyak 24 sampel, berikut merupakan Tabel 4.1 jumlah total sampel yang dibuat:

**Tabel 4. 1** Jumlah Sampel Uji Kuat Tekan

Sampel	Kode Uji	Variasi Campuran	Jumlah Benda Uji Berdasarkan Lama Perendaman		
			7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	PB.0	0%	2	2	2
2	PB.10	10%	2	2	2
3	PB.15	15%	2	2	2
4	PB.20	20%	2	2	2
Total Benda Uji			24		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Sampel yang dibuat terdiri dari 24 sampel, dari setiap variasi penambahan limbah sandal terdapat 2 sampel berdasarkan lama perendaman paving untuk uji kuat tekan. Hasil pengujian kuat tekan paving *block* dapat dilihat pada Tabel 4.2, 4.3 dan Tabel 4.4 berikut:

**Tabel 4. 2** Hasil Uji Kuat Tekan Paving *Block* 7 Hari

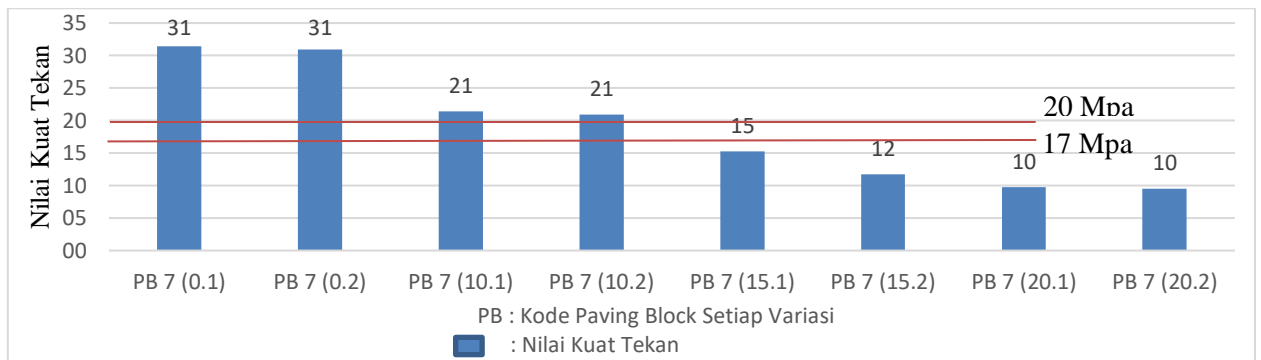
No	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur	Komposisi Campuran Limbah Sandal	Label Benda Uji	Berat Benda Uji (gram)	Luas Penampang Benda Uji(mm)	Beban Kuat Tekan (KN)	f <sub>c</sub> (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
1	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	0%	PB 7 (0.1)	3	21000	660000	31,4	31,2
2	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	0%	PB 7 (0.2)	2,98	21000	650000	31,0	
3	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	10%	PB 7 (10.1)	2,7	21000	450000	21,4	21,2
4	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	10%	PB 7 (10.2)	2,5	21000	440000	21,0	
5	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	15%	PB 7 (15.1)	2,2	21000	320000	15,2	13,5
6	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	15%	PB 7 (15.2)	2,2	21000	245500	11,7	
7	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	20%	PB 7 (20.1)	1,5	21000	205500	9,8	9,7
8	3-May-23	11 Mei 2023	7 Hari	20%	PB 7 (20.2)	1,3	21000	200000	9,5	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Nilai kuat tekan paving *block* 7 hari pada variasi 0% (tidak menggunakan campuran limbah sandal) mendapat rata-rata nilai kuat tekan sebesar 31,2 Mpa tergolong dalam mutu B+. Nilai kuat tekan variasi 10% mendapat rata-rata sebesar 21,2% tergolong dalam mutu B+. Nilai kuat tekan



7 hari variasi 15% mendapat rata-rata nilai kuat tekan sebesar 13,5 Mpa dan tergolong dalam mutu C, variasi 20% mendapat rata-rata nilai kuat tekan sebesar 9,7 Mpa tergolong dalam mutu D. Hasil kuat tekan yang didapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1.



**Gambar 4. 5** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block Perendaman 7 Hari

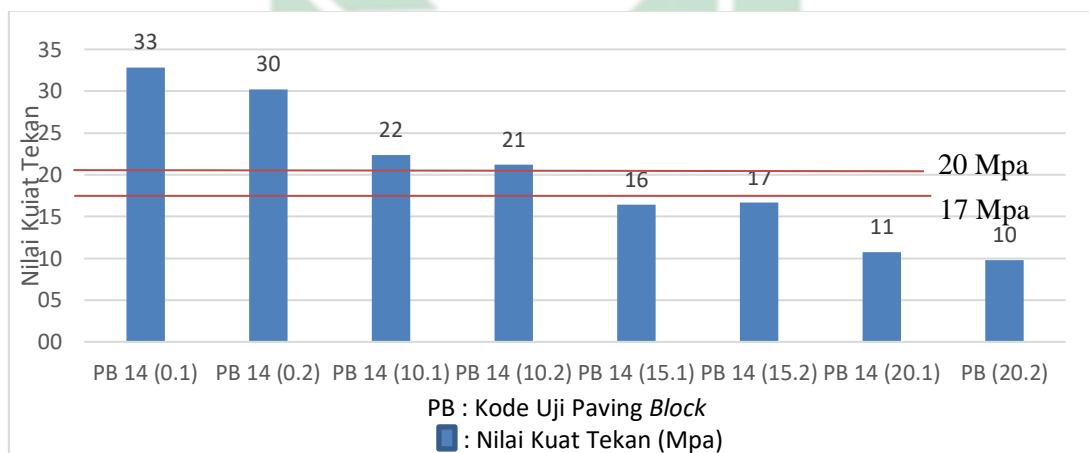
Berdasarkan hasil uji kuat tekan selama 7 hari pada Gambar 4.5 hasil rata-rata kuat tekan tidak jauh berbeda dengan perendaman selama 14 hari. Variasi 10% merupakan variasi optimal untuk paving *block* mutu B dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 21,2 Mpa. Hasil rata-rata kuat tekan pada variasi 15% dan 20% mendapatkan rata-rata nilai kuat tekan dengan mutu C hingga D.

**Tabel 4. 3** Hasil Uji Kuat Tekan Paving *Block* 14 Hari

No	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur	Komposisi Campuran Limbah Sandal	Label Benda Uji	Berat Benda Uji (gram)	Luas Penampang Benda Uji(mm)	Beban Kuat Tekan (KN)	f <sub>c</sub> (Mpa)	Rata-rata
1	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	0%	PB 14 (0.1)	3	21000	690000	32,9	31,5
2	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	0%	PB 14 (0.2)	3,2	21000	635000	30,2	
3	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	10%	PB 14 (10.1)	2,7	21000	470000	22,4	21,8
4	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	10%	PB 14 (10.2)	2,8	21000	445000	21,2	
5	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	15%	PB 14 (15.1)	2,2	21000	345000	16,4	16,5
6	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	15%	PB 14 (15.2)	2,2	21000	350000	16,7	
7	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	20%	PB 14 (20.1)	1,7	21000	225000	10,7	10,2
8	27-Apr-23	11 Mei 2023	14 Hari	20%	PB (20.2)	1,7	21000	205000	9,8	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Tabel 4.3 merupakan hasil nilai uji kuat tekan dengan perendaman paving selama 14 hari. Perbandingan antara perendaman paving 28 hari sebelumnya dengan perendaman paving 14 hari menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Variasi penambahan limbah sandal yang optimal terdapat pada variasi 10% yang memiliki nilai rata-rata kuat tekan sebesar 21,8 Mpa. Menurut (Harun et al., 2022) hasil pengujian berdasarkan variasi kuat tekan beton, dengan lama perendaman dari beton yakni dengan umur selama 14 hari. Penurunan kuat tekan terutama tergantung pada komposisi campuran beton. Beton terutama terdiri dari agregat, yang memberikan kemampuan untuk menahan beban dan menahan retak. Kekuatan beton dipengaruhi oleh keberadaan semen dan bahan penyusun lainnya. Dalam hal ini, berkurangnya kekuatan beton akibat penggantian sebagian volume agregat halus dengan bubuk cendana karet. Berdasarkan data pengujian, hasil yang paling optimal dicapai dengan campuran beton yang mengandung bubuk sandal karet 10%. Kombinasi ini memenuhi kriteria kekuatan dan tekanan yang telah ditentukan sebelumnya.



**Gambar 4. 6** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block Perendaman 14 Hari  
Sumbqer: Hasil Perhitungan, 2023

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa hasil kuat tekan dengan perendaman selama 14 hari menurun dibanding dengan hasil kuat tekan 28 hari sebelumnya. Hasil optimum terdapat pada variasi 10% dengan nilai kuat tekan yang sesuai dengan mutu B dengan rata-rata sebesar 21,8 Mpa.

Menurut hasil Penelitian (Harun et al., 2022) menurunnya nilai kuat tekan disebabkan oleh semakin banyak limbah hancuran karet yang digunakan sebagai pengganti pasir, maka kuat tekan dan kuat tarik lentur beton akan menurun. Hasil uji kuat tekan dengan perendaman 14 hari menurun dengan semakin banyaknya variasi penambahan hancuran karet.

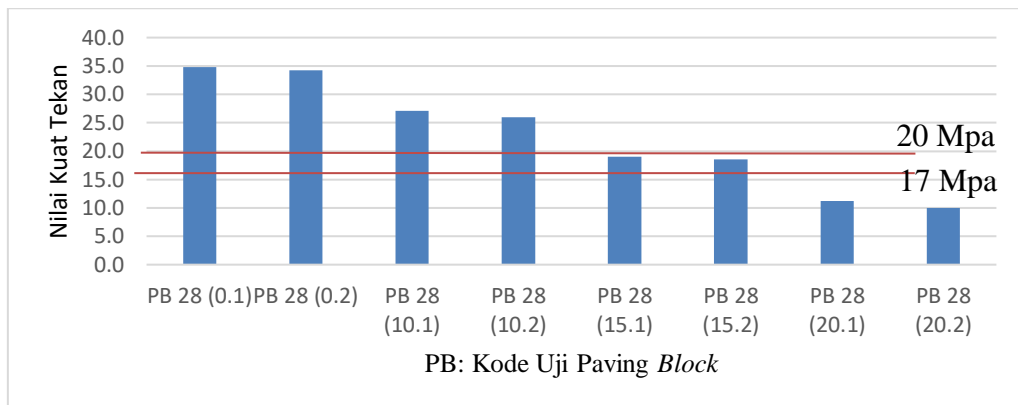
**Tabel 4. 4** Hasil Uji Kuat Tekan Paving *Block* 28 Hari

No	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur	Komposisi Campuran Limbah Sandal	Label Benda Uji	Berat Benda Uji (gram)	Luas Penampang Benda Uji	Beban Kuat Tekan (N)	f <sub>c</sub> (Mpa)	Rata-rata(Mpa)
1	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	0%	PB 28 (0.1)	3,3	21000	730000	34,8	34,5
2	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	0%	PB 28 (0.2)	3,35	21000	720000	34,3	
3	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	10%	PB 28 (10.1)	2,93	21000	570000	27,1	26,5
4	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	10%	PB 28 (10.2)	2,87	21000	545000	26,0	
5	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	15%	PB 28 (15.1)	2,3	21000	400000	19,0	18,8
6	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	15%	PB 28 (15.2)	2,5	21000	390000	18,6	
7	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	20%	PB 28 (20.1)	1,89	21000	235000	11,2	10,6
8	13-Apr-23	11 Mei 2023	28 Hari	20%	PB 28 (20.2)	1,89	21000	210000	10,0	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dengan perendaman paving selama 28 hari pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa terdapat 2 sampel pada setiap variasi penambahan limbah sandal karet. Variasi 0% (tidak menggunakan limbah sandal) menunjukkan hasil beban kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, setelah dihitung menggunakan persamaan rumus pada 2.1 didapat hasil sebesar 34,7 Mpa dengan rata-rata yang dihasilkan sebesar 34,5 Mpa, yang mana hasil ini tergolong jenis paving *block* dengan mutu A dengan nilai rata-rata 35-40 mPa menurut SNI 03-0691-1996. Variasi 10% menunjukkan hasil rata-rata kuat tekan sebesar 26,5 dan tergolong dalam mutu paving B+ yang artinya terletak di antara mutu A dan Mutu B. Lalu untuk variasi 15% mendapat rata-rata hasil kuat tekan sebesar 18,8 Mpa, yang tergolong dalam mutu B yang mana akan digunakan untuk perkerasan jalan dan tempat peralatan parkir.

Dan untuk variasi yang terakhir sebesar 20% mendapat nilai kuat tekan dengan rata-rata sebesar 10,6 yang tergolong dalam mutu D. Dibawah ini merupakan rekapitulasi data kuat tekan paving dengan perendaman 28 hari yang tertampung pada gambar 4.7.



**Gambar 4. 7** Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block Perendaman 28 Hari  
Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Grafik diatas merupakan hasil percobaan uji kuat tekan paving dengan perendaman selama 28 hari dengan variasi campuran limbah sandal 0%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil uji kuat tekan paving yang paling tinggi sebesar 34,8 mPa pada variasi 0% dengan kode benda uji PB 28 (0.1). Pada penelitian ini kualitas paving yang akan digunakan tergolong dalam mutu B dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan harus berada di antara 17-20 Mpa.

Penambahan variasi cacahan karet ke dalam campuran paving *block* mempengaruhi berat satuan volume. Secara khusus, peningkatan jumlah proporsi potongan karet yang ditambahkan ke dalam campuran menyebabkan peningkatan berat satuan rata-rata paving. Ketika karet cincang ditambahkan ke paving, ia bertindak sebagai agregat ringan. Dengan meningkatnya jumlah proporsi karet cincang, lebih banyak agregat ringan dimasukkan ke dalam campuran paving. Hal ini menghasilkan proporsi material ringan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen campuran yang lebih padat, seperti semen, pasir, dan agregat kasar. Karena bahan ringan memiliki kerapatan yang lebih rendah maka dengan meningkatkan jumlah potongan karet dalam campuran akan mengurangi

kerapatan beton secara keseluruhan. Salah satu hal yang mempengaruhi berat satuan akan bergantung pada proporsi, ukuran, dan karakteristik tertentu dari partikel karet cincang yang digunakan, serta desain campuran dan kondisi curing secara keseluruhan. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi kepadatan dan kinerja dari paving itu sendiri (Hermansyah dkk, 2022).

#### 4.1.2 Hasil Analisis Daya Serap Air Paving Block

Pengujian daya serap air pada paving ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak prosentase kemampuan paving dalam menyerap air pada masa perendaman selama 24 jam. Besar kecilnya prosentase daya serap air yang dihasilkan tergantung terhadap rapat atau tidaknya rongga dalam benda uji. Apabila semakin rapat rongga dalam benda uji maka nilai daya serap air akan semakin tinggi, begitujuga sebaliknya jika rongga dalam benda uji renggang maka nilai daya serap yang dihasilkan semakin rendah. Penentuan daya serap air pada paving *block* diperoleh dengan cara menghitung selisih antara massa basah dan massa kering yang ditimbang menggunakan timbangan digital dengan kapasitas bobot mencapai 60 kg. Adapun hasil uji daya serap air yang diperoleh dari paving *block* tercantum pada Tabel 4.5 berikut:

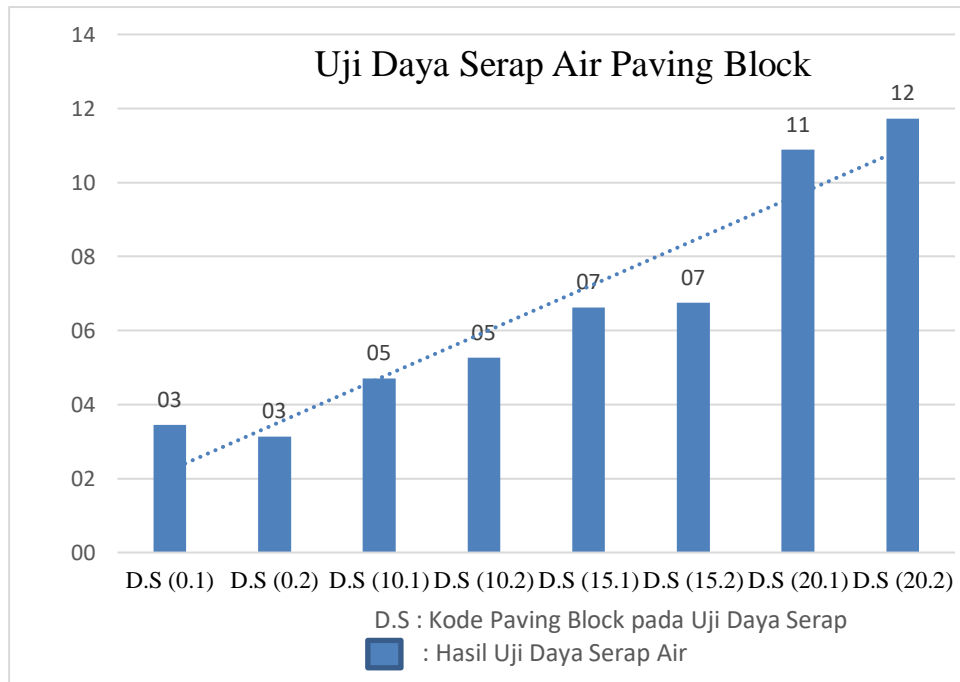
**Tabel 4. 5** Hasil Uji Daya Serap Air pada Paving *Block*

No	Kode Uji	Variasi	Lama Perendaman	Massa Basah(gr)	Massa Kering (gr)	Hasil	Rata-rata
1	D.S (0.1)	0%	24 Jam	300	290	3,4%	3,3%
2	D.S (0.2)	0%	24 Jam	296	287	3,1%	
3	D.S (10.1)	10%	24 Jam	245	234	4,7%	5%
4	D.S (10.2)	10%	24 Jam	240	228	5,3%	
5	D.S (15.1)	15%	24 Jam	177	166	6,6%	6,7%
6	D.S (15.2)	15%	24 Jam	174	163	6,7%	
7	D.S (20.1)	20%	24 Jam	163	147	10,9%	11,3%
8	D.S (20.2)	20%	24 Jam	162	145	11,7%	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Berdasarkan hasil uji daya serap air yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran limbah sandal variasi 10% memenuhi daya serap air pada

paving paling optimal yaitu dengan rata-rata 5%. Menurut SNI 03-0691-1996 daya serap air paling optimal pada paving *block* dengan mutu B yaitu antara 5-6%, dari tabel 4.5 diatas variasi campuran 10% menunjukkan hasil yang optimal untuk kualitas paving mutu B dengan hasil daya serap air yaitu sebesar 5%. Hasil uji daya serap disajikan dalam Gambar 4.8 berikut.



**Gambar 4. 8** Grafik Hasil Uji Daya Serap Air pada Paving *Block*

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

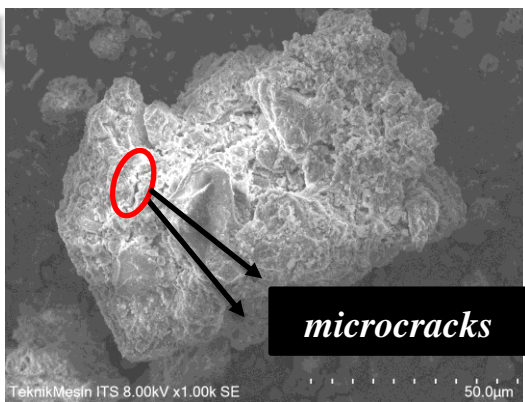
Berdasarkan perhitungan pada rumus perhitungan 2.2, hasil uji daya serap air didapat dengan menghitung selisih antara massa kering dan massa basah dari paving *block* lalu dikalikan dan dicari hasil akhir dalam bentuk persen 100%. Pada uji daya serap ini dilakukan perendaman selama 24 jam atau sama dengan 1 hari. Menurut Westerman, B., Stringfellow, P. M., & Eccleston, J. A. (2002), proses penyerapan air pada beton ditinjau berdasarkan komposisi campuran dari pondasi pembuatan beton itu sendiri. Westerman menjelaskan bahwa campuran beton yang menggunakan serbuk kaca dan hancuran plastik mempengaruhi proses dan kondisi penyerapan pada beton yang dibuat, oleh karena itu pada Gambar 4.8 dapat kita lihat dengan menambahkan limbah sandal karet sebagai agregat kasar pada paving akan mempengaruhi hasil daya serap air yang dihasilkan.

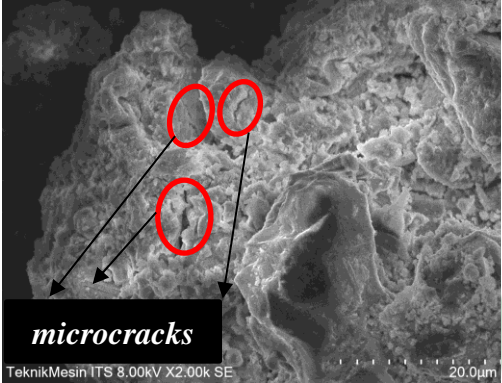
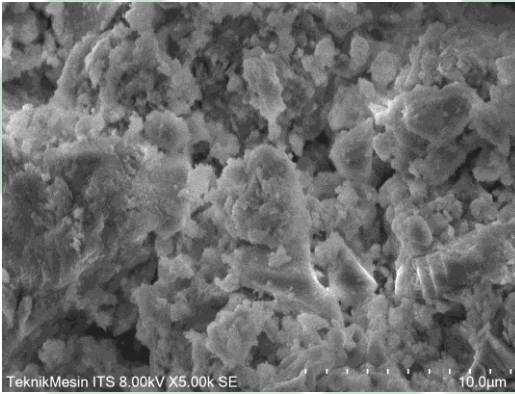



### 4.1.3 Hasil Analisis Uji SEM Paving Block

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu teknik untuk menyelidiki topografi dan sifat spektroskopi dari berbagai permukaan material dengan resolusi atom dalam berbagai kondisi fisik. Salah satu faktor terpenting dalam mencapai resolusi tinggi pengukuran adalah pengurangan getaran eksternal yang mungkin mempengaruhi mikroskop, seperti perubahan dalam pemisahan ujung-sampel dikalikan secara eksponensial dalam arus tunneling (Iwaya et al., 2011). Seperti pada pembahasan uji SEM pada paving *block* kali ini, uji SEM dilakukan untuk mengetahui hasil topografi, penyebaran *microcracks*, dan kondisi rongga udara dalam paving. *Microcracks* adalah jenis kerusakan material yang terdiri dari retakan yang cukup kecil sehingga membutuhkan pembesaran untuk diamati. Retakan mikro adalah indikasi kegagalan material yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan total (Nemati, 1997). Ini dapat terjadi pada lapisan selama aplikasi atau proses pengeringan, atau selama regangan beban lapisan atau bahan. Berikut merupakan hasil dari analisis uji SEM pada paving *block* dengan variasi limbah sandal 0% yang tertera pada Tabel 4.6.

**Tabel 4. 6** Hasil Uji SEM Variasi 0%

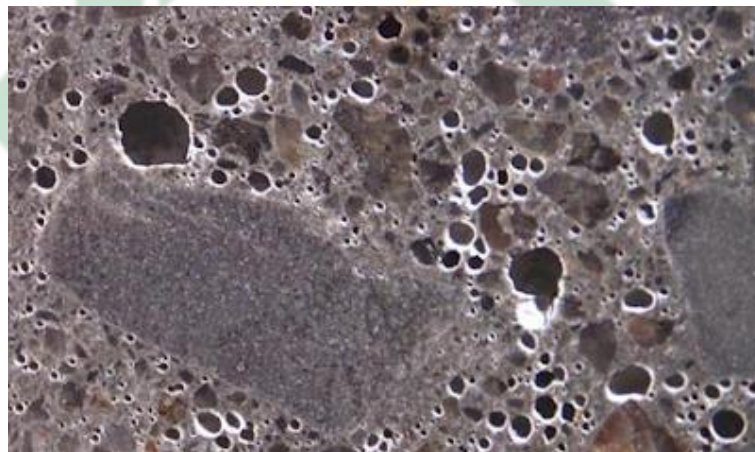
Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
1000 Kali		<p>Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa sampel paving dengan variasi 0% di uji dengan menggunakan perbesaran 1000, 2000, 5000, dan 10.000 kali. Dapat diketahui bahwa penyebaran <i>microcracks</i> pada paving tidak tersebar begitu banyak dan hanya di daerah tertentu</p>

Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
2000 Kali		<p>dengan ukuran <i>microcracks</i> yang relative kecil.</p> <p>Selain penyebaran <i>microcracks</i> yang mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan pada paving, kondisi rongga udara juga mempengaruhi hasil kuat tekan paving tersebut.</p>
5000 Kali		<p>Semakin banyak rongga udara yang terdapat dalam paving maka nilai kuat tekan yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya jika rongga udara di dalam paving sedikit atau kepadatan nya tinggi maka nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin besar.</p>
10000 Kali		<p>Pada perbesaran 10.000 kali dapat dilihat bahwa kondisi benda uji sangat padat dan bahkan hampir tidak ada lubang rongga udara yang terlihat. Hal ini dikarenakan komposisi campuran pada pembuatan paving <i>blocks</i> yang terdiri dari campuran paving pada umumnya yaitu semen, abu batu, batu pecah, dan air.</p>

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa hasil uji morfologi pada paving *blocks* dengan variasi 0% (tanpa menggunakan campuran limbah sandal) hanya sedikit memiliki penyebaran *microcraks*. *Microcracks* dapat terbentuk sebelum regangan pada material mencapai *break point*nya. Dengan demikian, tekanan pada material harus dibatasi sebelum serat resin mulai putus.

Kondisi rongga udara pada hasil uji dengan variasi 0% juga tidak terlalu terlihat, hal ini menunjukkan bahwa benda uji tersebut memiliki kerapatan yang cukup tinggi sehingga tidak menghasilkan rongga udara yang begitu banyak. Contoh dari kandungan rongga udara pada bata beton dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.

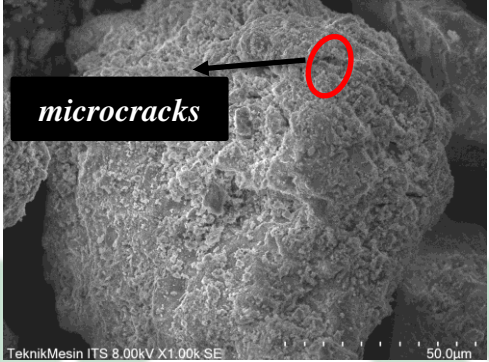
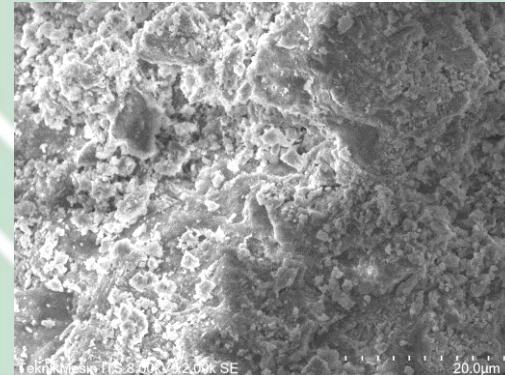
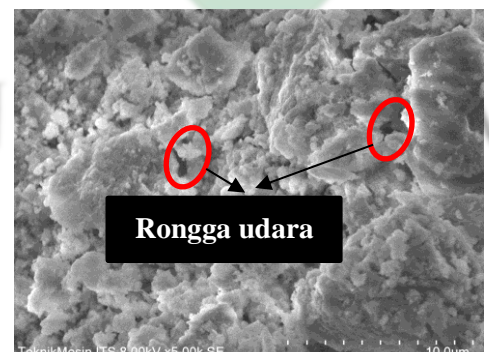


**Gambar 4. 9** Rongga Udara pada Beton

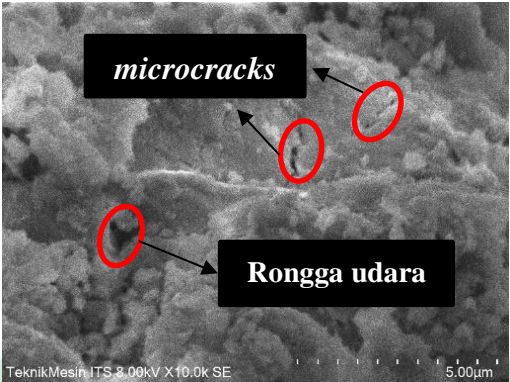
Sumber: (Ario Rusyadi & Nursani, 2021.)

Rongga udara dapat terlihat berdasarkan campuran dan bahan material penyusun paving *block*, seperti penambahan variasi limbah sandal karet sebesar 10% pada paving block. Berikut merupakan hasil uji sem dengan variasi 10% pada Tabel 4.7 dibawah:

**Tabel 4. 7** Hasil Uji SEM Variasi 10%

Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
1000 Kali		<p>Pada variasi 10% perlakuan perbesaran pada benda uji memiliki jenis perbesaran yang sama yaitu 1000, 2000, 5000 dan 10.000 kali. <i>Microcracks</i> tidak langsung berdampak buruk pada material. Namun, kontaminan lingkungan, seperti uap air, akan diserap ke dalam material dalam jumlah yang lebih besar daripada material yang tidak retak. Penyerapan air, misalnya, meningkatkan bobot material dan mengurangi kekuatan benda uji. Munculnya <i>microcracks</i> tergantung pada sifat perekat dan daya tahan material atau pelapis.</p>
2000 Kali		<p>Memilih komposisi pelapis yang lebih keras atau lebih lengket meningkatkan tekanan retakan mikro, yang mencegah terbentuknya retakan mikro dan</p>
5000 Kali		

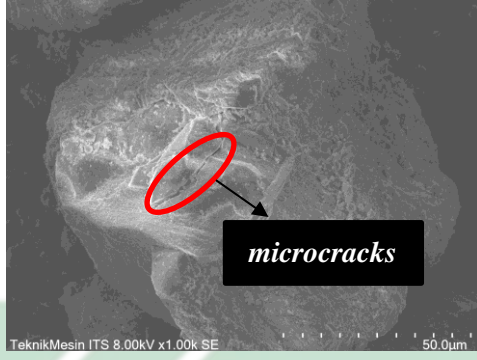
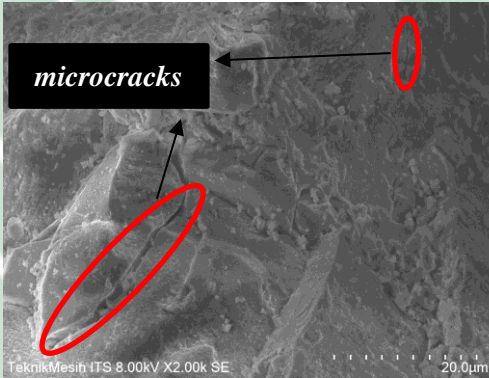
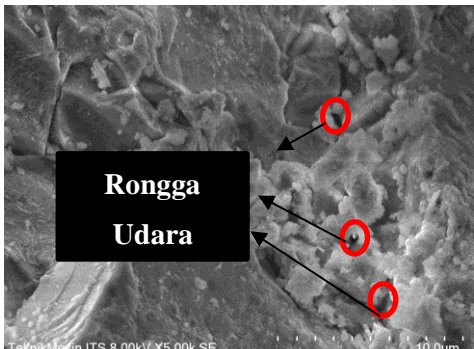


Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
10000 Kali		<p>kerusakan selanjutnya. Pada variasi 10% penambahan limbah sandal dengan perbesaran sebesar 5000 dan ii10.000 kali, rongga udara sudah dapat terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya campuran limbah sandal pada komposisi pembuatan paving <i>blocks</i> dapat membentuk rongga udara, akan tetapi rongga udara yang dihasilkan tidak terlalu banyak dan hanya menyebar di posisi tertentu saja.</p>

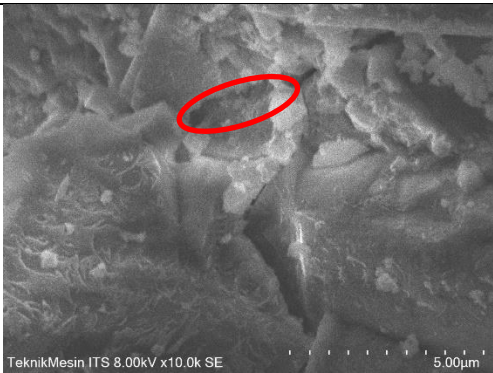
Sumber: Hasil Analisis, 2023

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil uji SEM dengan variasi 10%, pada perbesaran 5000 dan 10.000 kali menunjukkan hasil *microcracks* dan rongga udara yang terlihat. Adanya campuran limbah sandal mempengaruhi hasil topografi dan tekstur dari uji SEM yang dihasilkan. Penyebaran *microcracks* dan rongga udara dapat terjadi apabila kerapatan dalam benda uji rendah. Menurut (Rahardja et al., 2021) Hasil tes SEM mengungkapkan beberapa pengamatan penting. Pertama, setiap jenis benda uji masih memiliki rongga di dalamnya. Rongga ini dapat dikaitkan dengan waktu pemadatan yang tidak mencukupi selama proses pembuatan. Kedua, benda uji yang terdiri dari beberapa komposisi campuran yang mempengaruhi *mix design paving block*. Pada komposisi campuran plastik sebanyak 70% menunjukkan tekstur yang lebih kasar dibandingkan dengan campuran plastik sebanyak 30%. Selain itu, benda-benda ini menampilkan lebih sedikit rongga internal dibandingkan dengan jenis lainnya.

**Tabel 4. 8** Hasil Uji SEM Variasi 15%

Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
1000 Kali		<p>Pada variasi 15% penyebaran <i>microcracks</i> sudah cukup terlihat, pada perbesaran 2000 kali terdapat beberapa <i>microcracks</i> yang tersebar. Serta perbesaran 5000 kali sudah terlihat rongga udara yang terbentuk. Rongga udara dapat terlihat akibat rendahnya kerapatan yang dimiliki oleh benda uji. Semakin rendah kerapatan benda uji dan banyaknya rongga udara maka akan mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan. Selain itu penyebaran <i>microcracks</i> yang semakin banyak dalam benda uji juga menjadi indicator bahwa benda uji tersebut mudah rapuh ketika di uji nilai kuat tekannya.</p>
2000 Kali		
5000 Kali		

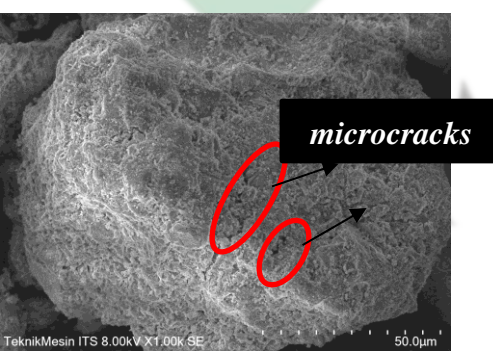


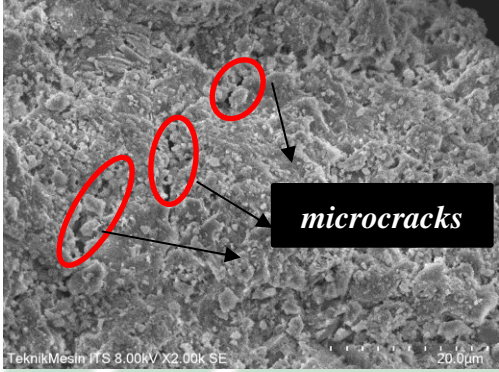
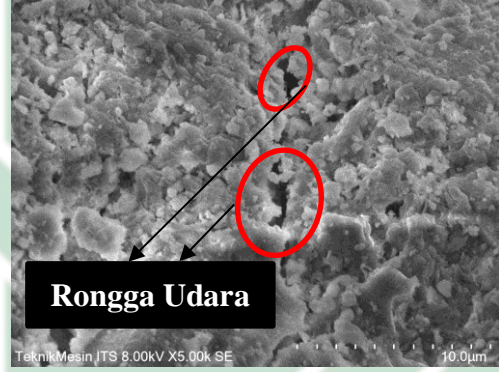
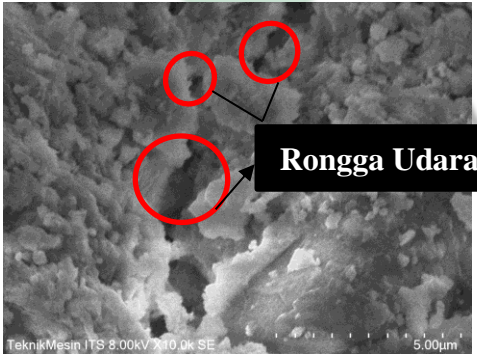
Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
10000 Kali		

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa pada variasi 15% penyebaran *microcraks* pada benda uji terlihat pada perbesaran 5000 kali. Pengaruh penambahan limbah sandal mempengaruhi hasil morfologi dari benda uji. Variasi 15% penambahan limbah sandal menunjukkan karakteristik seperti luas penampang yang tidak rata serta kasar dapat dilihat pada Gambar 4.3. Tekstur luas penampang yang cukup kasar menyebabkan kondisi benda uji memiliki kerapatan yang cukup rendah.

**Tabel 4. 9** Hasil Uji SEM Variasi 20%

Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
1000 Kali		<p>Pada gambar 4.4 dapat kita ketahui bahwa bentuk paving <i>block</i> dengan variasi 20% memiliki kandungan limbah sandal yang lebih banyak dari pada campuran paving pada umumnya seperti semen, pasir dan batu pecah. Maka dari bentuk tersebut dapat kita ketahui morfologi dan kondisi penyebaran <i>microcracks</i> pada benda uji. Pada perbesaran 1000</p>

Perbesaran	Hasil Uji	Keterangan
2000 Kali		<p>dan 2000 kali banyak retakan dalam benda uji, kondisi seperti ini menandakan bahwa campuran paving tergolong kurang bagus karena bahan-bahan di dalamnya yang kurang menyatu sehingga menimbulkan banyak retakan dan akan mempengaruhi hasil nilai kuat tekan pada saat di uji. Sedangkan pada perbesaran 5000 dan 10.000 kali rongga udara sudah mulai terlihat serta kerapatan benda uji yang kurang begitu baik. Banyak sekali rongga udara serta benda uji memiliki kerenggangan yang cukup tinggi. Akibat tidak menyatunya bahan campuran pada saat proses produksi paving menyebabkan terjadinya <i>air vods</i> atau rongga udara serta akan membuat paving menjadi mudah rapuh dan kurang kokoh ketika digunakan.</p>
5000 Kali		
10000 Kali		

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Berdasarkan Tabel 4.9 menunjukkan bahwa penyebaran *microcracks* dan kondisi rongga udara pada variasi 20% terlihat banyak dan cukup signifikan, retakan yang terdapat dalam benda uji sudah terlihat pada perbesaran 1000 dan 2000 kali. Retakan tersebut terjadi karena kondisi tekstur benda uji tidak

rata dan memiliki banyak campuran limbah karet. Senyawa kopolimer pada karet yaitu EVA membuat kondisi benda uji memiliki kerapatan dan kerenggangan yang rendah. Menurut Karolina Rahmi dkk, 2022 senyawa kopolimer khusus ini menunjukkan kecenderungan rendah untuk menyerap kelembaban dan umumnya menunjukkan ketahanan yang lebih besar terhadap hidrasi dan kerusakan kimia dibandingkan dengan bahan organik yang mengering secara alami.

#### 4.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Produksi

Pada proses pembuatan paving *blocks* tentunya perlu memperhatikan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam proses produksi. Menghitung RAB untuk proses pembuatan benda uji terdiri dari material yang digunakan dalam campuran tersebut yang mengacu pada harga material di Sidoarjo. Selain itu biaya cetak paving juga tergantung dari seberapa banyak paving yang dihasilkan serta ukuran paving yang akan dibuat. Berikut merupakan RAB untuk proses produksi paving pada Tabel 4.10 berikut.

**Tabel 4. 10 Rencana Anggaran Biaya Produksi Paving**

Variasi 0%			
No	Bahan	Volume	Harga
1	Semen	6.750 gram	Rp 8.775,00
2	Abu Batu	6.750 gram	Rp 104.625,00
3	Batu Pecah	13.500 gram	Rp 38.796,17
4	Air	Liter	Rp 100,00
5	Biaya Cetak	Kegiatan	Rp 250.000,00
<b>TOTAL</b>			Rp 402.296,17
Biaya Produksi Setiap Paving			Rp 44.699,57
10% Keuntungan			Rp 4.469,96
Harga untuk satu paving <i>block</i>			Rp 49.169,53
Variasi 10%			
No	Bahan	Volume	Harga
1	Semen	6.750 gram	Rp 8.775,00
2	Abu Batu	6.750 gram	Rp 104.625,00
3	Batu Pecah	12.150 gram	Rp 34.916,55
4	Limbah Sandal	150 gram	Rp 0

5	Air	Liter	Rp 100,00
6	Biaya Cetak	Kegiatan	Rp 250.000,00
<b>TOTAL</b>			Rp 398.416,55
Biaya Produksi Setiap Paving			Rp 44.268,51
10% Keuntungan			Rp 4.426,85
Harga untuk satu paving <i>block</i>			Rp 48.695,36
<b>Variasi 15%</b>			
<b>No</b>	<b>Bahan</b>	<b>Volume</b>	<b>Harga</b>
1	Semen	6.750 gram	Rp 8.775,00
2	Abu Batu	6.750 gram	Rp 104.625,00
3	Batu Pecah	11.475 gram	Rp 32.976,74
4	Limbah Sandal	225 gram	Rp 0
5	Air	Liter	Rp 100,00
6	Biaya Cetak	Kegiatan	Rp 250.000,00
<b>TOTAL</b>			Rp 396.476,74
Biaya Produksi Setiap Paving			Rp 44.052,97
10% Keuntungan			Rp 4.405,30
Harga untuk satu paving <i>block</i>			Rp 48.458,27
<b>Variasi 20%</b>			
<b>No</b>	<b>Bahan</b>	<b>Volume</b>	<b>Harga</b>
1	Semen	6.750 gram	Rp 8.775,00
2	Abu Batu	6.750 gram	Rp 104.625,00
3	Batu Pecah	10.800 gram	Rp 31.036,93
4	Limbah Sandal	300 gram	Rp 0
5	Air	Liter	Rp 100,00
6	Biaya Cetak	Kegiatan	Rp 250.000,00
<b>TOTAL</b>			Rp 394.536,93
Biaya Produksi Setiap Paving			Rp 43.837,44
10% Keuntungan			Rp 4.383,74
Harga untuk satu paving <i>block</i>			Rp 48.221,18

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Berdasarkan Tabel 4.9 mengenai RAB Produksi pembuatan paving dengan variasi 0%, 10%, 15%, dan 20% bahwa harga yang digunakan menyesuaikan dengan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. Volume bahan campuran pembuatan paving menyesuaikan dengan komposisi campuran (*mix design*).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan terhadap uji kuat tekan, uji daya serap dan uji SEM pada paving *block*, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan ketiga uji terhadap paving *block* tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi penambahan limbah sandal yang paling optimal adalah pada variasi 15% pada kuat tekan umur 28 hari dan pada variasi 10% pada umur 14 dan 7 hari dengan nilai kuat tekan rata-rata, daya serap air serta hasil uji SEM yang sesuai dengan syarat mutu paving yang tercantum dalam SNI 03-0691-1996.
2. Nilai dari hasil uji kuat tekan yang memenuhi syarat mutu B adalah sebesar 18,8 Mpa dengan variasi 15% pada kuat tekan umur 28 hari, dan variasi 10% sebesar 21,2 Mpa dengan kuat tekan umur 14 hari. Hasil nilai uji daya serap air berada pada paving *block* dengan variasi 10% sebesar 5 % dan tergolong dalam mutu B. Hasil analisis uji SEM pada paving *block* menggunakan perbesaran sebesar 1000, 2000, 5000, dan 10000 kali. Menunjukkan bahwa pada variasi 15% dan 20% menunjukkan banyak penyebaran *microcracks* dan banyak rongga udara serta kerenggangan yang tinggi pada benda uji.
3. Hasil karakteristik dari paving *block* yang menggunakan limbah sandal sebagai campuran cenderung memiliki beberapa retakan dan tekstur yang tidak rata serta agak kasar. Hal ini dikarenakan campuran limbah sandal memiliki sifat yang elastis sehingga menghasilkan permukaan penampang pada paving yang kurang rata.
4. Untuk Rencana Biaya Produksi paving yang direncanakan sesuai dengan acuan HSPK Kabupaten Sidoarjo dan Kota Surabaya. Dengan harga yang berbeda tergantung variasi limbah sandal. Untuk variasi 0% sebesar Rp 49.169,53, untuk variasi 10% Rp 48.695,36, variasi 15% Rp 48.458,27, dan untuk variasi 20% sebesar Rp 48.221,18.



## 5.2 Saran

Berikut merupakan saran dari hasil pembahasan ini, yaitu:

1. Variasi campuran limbah sandal untuk penelitian selanjutnya sebaiknya bisa dikurangi seperti sekitar 5%,7%,12%, serta 17%, agar menghasilkan paving dengan mutu tinggi yaitu antara mutu B hingga mutu A dan tetap dapat memanfaatkan limbah berserakan yang ada untuk menjadi inovasi baru agar tidak mencemari lingkungan sekitar.
2. Limbah sandal dapat digunakan sebagai campuran bahan pembuatan paving block, selain dicacah sesuai dengan ukuran lolos ayakan agregat kasar limbah sandal dapat dimanfaatkan sebagai hancuran atau serbuk karet untuk digunakan sebagai bahan campuran pembuatan paving *block* yang kedepannya.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kheetan, M. J. (2022). Properties Of Lightweight Pedestrian Paving Blocks Incorporating Wheat Straw: Micro-To Macro-Scale Investigation. *Results In Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100758>
- Al-Tarbi, S. M., Baghabra Al-Amoudi, O. S., Al-Osta, M. A., Al-Awsh, W. A., Ali, M. R., & Maslehuddin, M. (2022). Development Of Eco-Friendly Hollow Concrete Blocks In The Field Using Wasted High-Density Polyethylene, Low-Density Polyethylene, And Crumb Tire Rubber. *Journal Of Materials Research And Technology*, 21, 1915–1932. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.027>
- Analisis Pengembangan Model Forecasting. (2018). *Buku Analisis Pengembangan Model Forecasting - Split Cpo Dan Split Crumb Rubber, Barang Dari Plastik, Dan Barang Dari Karet 2018*.
- Ario Rusyadi, H., & Nursani, R. (2021.). Kombinasi Bahan Bangunan Beton Dengan Polymer Latex Guna Mendukung Kuat Lentur Beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Bangunan Universitas Siliwangi*.
- Arsalani, I. H., Hidayat, A. K., & Nursani, R. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur. In *Jitsi (Ismi Hasna Arsalani)* (Vol. 3, Issue 1).
- Bhekti Prihaningrum, V., & Ciptandi Sds, F. (2019.). *Pengolahan Limbah Industri Alas Kaki Spons Eva (Ethylene Vinyl Acetate) Menjadi Aplikasi Pada Produk Aksesoris Fesyen Processing Of Footwear Industrial Waste Eva (Ethylene Vinyl Acetate) Sponge Into Fashion Accessories Product Application. E-proceeding of Art and Design* (Vol 6. No 2).
- Bui, N. D., Vu, N. D., Minh, T. T., Dam, H. T. T., Spiridonova, R. R., & Sirotkin, S. A. (2016). Effect Of Acetate Group Content In Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer On Properties Of Composite Based On Low Density Polyethylene And Polyamide-6. *International Journal Of Polymer Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3149815>

- Goreti Oktofiane Fernandez, M., & Khatulistiani, U. (2021). *Pemanfaatan Limbah Sandal Karet Sebagai Material Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton*. 9(1), 41–050. *Jurnal teknik Sipil*
- Harun, M., Rasyid, A., & Sarasanty, D. (2022a). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Sandal Karet Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. *Smart City And Sustainable Development Goals*, 1(1). *Journal of Research Materials*.
- Iwaya, K., Shimizu, R., Hashizume, T., & Hitosugi, T. (2011). Systematic Analyses Of Vibration Noise Of A Vibration Isolation System For High-Resolution Scanning Tunneling Microscopes. *International Journal Review Of Scientific Instruments*, 82(8). <https://doi.org/10.1063/1.3622507>
- Juara, A., & Setiawan, A. B. (2021.). *Analisa Biaya Pembuatan Paving Block Mutu K-200 Dengan Potongan Kawat Bendrat Sebagai Bahan Tambah*.
- Luo, Y., Xiang, P., & Wang, Y. (2020). Investigate The Relationship Between Urbanization And Industrialization Using A Coordination Model: A Case Study Of China. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/Su12030916>
- Manajemen Dan Pengelolaan Limbah Nindy Callista Elvania*. (2022). [www.penerbitwidina.com](http://www.penerbitwidina.com)
- Mina, J. C., Ssubia, G., & Permita, P. (2020). Value Chain Analysis Of Slipper Industry In The Footwear Capital Of The North. *In Int. J Sup. Chain. Mgt* (Vol. 9, Issue 5). <http://excelingtech.co.uk/>
- Mudiyono, R., & Tsani, N. S. (2019). *Analisis Bahu Jalan Menggunakan Perkerasan Paving Block*. *Jurnal Untidar Review of Civil Engineering*.
- Müller, C., Fitriani, E., & Febriana Januari, I. (2006). *Modul Pelatihan Pembuatan Ubin Atau Paving Blok Dan Batako Dipersiapkan Oleh*. [www.iilo.org/publns](http://www.iilo.org/publns);
- Nasution, M. (2022). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Agregat Halus (Pasir) Antara Sungai Tanjung Balai Dan Sungai Kisaran. *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil Dan Sains*, 1(2).
- Nemati, K. M. (1997). Fracture Analysis Of Concrete Using Scanning Electron Microscopy. *Scanning*, 19(6), 426–430. <https://doi.org/10.1002/Sca.4950190605>
- Nurzal, O. :, & Mahmud, D. J. (2013a). Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block. *In Jurnal Teknik Mesin* (Vol. 3, Issue 2).

- Nurzal, O. :, & Mahmud, D. J. (2013b). Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block. In *Jurnal Teknik Mesin* (Vol. 3, Issue 2).
- Okvianti, A., & Febrianty, L. P. (2022). Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Dengan Penambahan Serat Serabut Kelapa Dan Batu Apung. *Indonesian Journal Of Construction Engineering And Sustainable Development (Cesd)*, 5(1). <https://doi.org/10.25105/Cesd.V5i1.13936>
- Purnama, S. A., & Sudiby, D. T. (2018). *Pengaruh Limbah Keramik Dan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Bata Beton (Influence Of Ceramic Waste And Fly Ash On Compressive Strength And Water Absorption Of Paving Block) Material and Science Journal* (Vol. 03).
- Qianwen, P. (2019.). *Politecnico Di Milano School Of Civil, Environmental And Land Management Engineering Rubber In Shoes: Role Of Technology And Recycling Based On A Lca Analysis. Int. Journal of Civil and Environmental Engineering*.
- Rahardja, S., Cathelyn, A., & Widjajakusuma, J. (2021). *[The Effect Of Plastic And Glass Waste In Paving Block Mix. Jurnal Sains dan Teknologi* (Vol. 5, Issue 1).
- Sebayang, S., Diana, W., & Purba, A. (2022.). *Perbandingan Mutu Paving Block Produksi Manual Dengan Produksi Masinal. Jurnal Rekayasa* (Vol 5. No. 11)
- Badan Standardisasi Nasional Bata Beton (Paving Block)*. (1996.-B).
- Surya Dharma, U., & Dwiyuono, L. (2021). *Analisa Pengepresan Dengan Sistem Hidrolik Pada Alat Pembuat Paving Block Untuk Perkerasan Lahan Parkir. JURMATEKS*.
- Westerman, B., Stringfellow, P. M., & Eccleston, J. A. (2002). Beneficial Effects Of Air Inclusions On The Performance Of Ethylene Vinyl Acetate (Eva) Mouthguard Material. *British Journal Of Sports Medicine*, 36(1), 51–53. <https://doi.org/10.1136/Bjism.36.1.51>
- Wiwoho Mudjanarko, S., Sugiharti, Daniel Limantara, A., Mayestino, M., Eko Adi Sutrisno, A., Haziman Wan Ibrahim, M., & Pratama Wiwoho, F. (2020). The Utilization Of Bamboo Innovation As Aggregate Substitute For Paving Block. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1573(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1573/1/012014>

- Yuanita Bintoro, A., Daniel Limantara, A., Winarto, S., Teknik, F., & Kadiri, U. (2018). Evaluasi Kekuatan Concblock Dengan Agregat Halus Dan Agregat Kasar Dari Tempurung Kelapa. In *Jurmateks* (Vol. 1, Issue 1).
- Yusuf Amran. (2015). *Pemanfaatan Limbah Plastik Sbg Alternatif Perkerasan*.
- Zăinescu, G., Deselnicu, V., Constantinescu, R., & Ciulacu, C. (2018). Bio-Composites With Leather Fibers And Cement - Physico-Mechanical And Structural Characterization. *Leather And Footwear Journal*, 18(4), 327–336. <https://doi.org/10.24264/Lfj.18.4.8>

