

**SKRIPSI**

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL LIMBAH NIKEL PADA PAVING  
BLOCK MENGGUNAKAN ULTRAFINE ABU CANGKANG SAWIT**

Diajukan Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1  
pada Program Studi Teknik Sipil



**Oleh :**

**Brael Demmatande**

**D01 22 505**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWAWESI BARAT MAJENE**

**2026**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

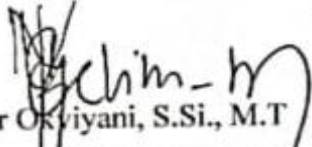
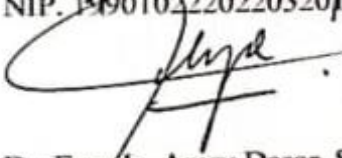
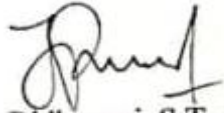
Skripsi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik (S.T.)

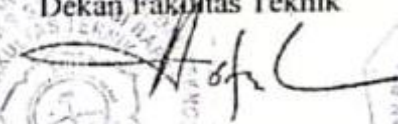
Oleh:

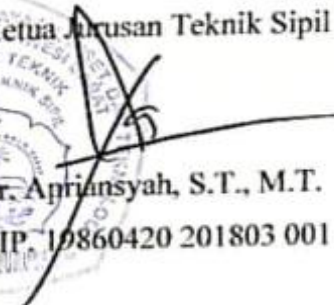
Brael Demmatande  
NIM. D01 22 505

Tanggal Ujian; 03 September 2026

Disetujui Oleh:

-   
1. Nur Okyiyani, S.Si., M.T (Pembimbing I)  
NIP. 199010222022032012
-   
2. Dr. Eng. Ir. Amry Dasar, S.T., Eng (Pembimbing II)  
NIP. 198801152019031006
-   
3. Irma Ridhayani, S.T., M.T (Penguji)  
NIP. 198003142024212011
-   
4. Herni Suryani, S.T., M. Eng. (Penguji)  
NIP. 198610092022032003

  
Dekan Fakultas Teknik  
Prof. Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T.  
NIP. 196404051990032002

  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Apriansyah, S.T., M.T.  
NIP. 19860420 201803 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Brael Demmatande

NIM : D0122505

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **PENGARUH UKURAN PARTIKEL LIMBAH NIKEL PADA PAVING BLOCK MENGGUNAKAN *ULTRAFINE* ABU CANGKANG SAWIT**

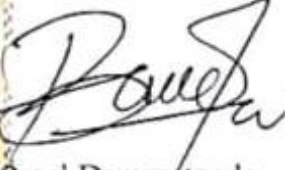
Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko. Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Majene, tanggal/bulan/tahun

Yang Menyatakan



  
Brael Demmatande

## ABSTRAK

### PENGARUH UKURAN PARTIKEL LIMBAH NIKEL PADA *PAVING BLOCK* MENGGUNAKAN *ULTRAFINE* ABU CANGKANG SAWIT BRAEL DEMMATANDE

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat (2026)

[braeldemmatand@gmail.com](mailto:braeldemmatand@gmail.com)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan kombinasi limbah industri sebagai material alternatif ramah lingkungan pada pembuatan paving block. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan limbah nikel sebanyak 25% sebagai pengganti agregat halus dan ultrafine abu cangkang sawit (POFA) sebanyak 20% sebagai pengganti semen. Metode pencetakan benda uji berukuran 20x10x8 cm menggunakan mesin vibro press hidrolik. Parameter yang diuji meliputi kuat tekan (umur 7, 28, dan 56 hari), daya serap air (umur 28 dan 56 hari), serta uji non-destruktif UPVT (umur 28 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material substitusi menurunkan mutu mekanis perkerasan. Pada umur 56 hari, variasi normal (N-1) menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 15,162 MPa, sedangkan variasi substitusi RXA-1 (tanpa saring) dan RYA-1 (lolos saringan No. 4) berturut-turut hanya mencapai 8,600 MPa dan 9,133 MPa, sehingga belum memenuhi klasifikasi mutu SNI 03-0691-1996. Nilai UPVT seluruh variasi berada pada rentang 2,523–2,646 km/s yang dikategorikan buruk. Sebaliknya, limbah nikel tanpa saring (RXA-1) memberikan pengaruh positif terhadap durabilitas dengan menghasilkan daya serap air terendah sebesar 8,730% pada umur 56 hari.

**Kata Kunci:** paving block, limbah nikel, UPOFA, kuat tekan, daya serap air, UPVT.

## **ABSTRACT**

### ***THE EFFECT OF NICKEL WASTE PRACTILE SIZE ON PAVING BLOCK INCORPORATING ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH BRAEL DEMMATANDE***

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat (2026)

[braeldemmatand@gmail.com](mailto:braeldemmatand@gmail.com)

This study aims to analyze the effect of utilizing a combination of industrial waste as eco-friendly alternative materials in paving block manufacturing. The experiment utilized 25% nickel waste as a fine aggregate replacement and 20% ultrafine palm oil fuel ash (POFA) as a cement replacement. The specimens, sized 20x10x8 cm, were fabricated using a hydraulic vibro-press machine. Tested parameters included compressive strength (at 7, 28, and 56 days), water absorption (at 28 and 56 days), and non-destructive UPVT (at 28 days). The results indicated that the substitution materials decreased the mechanical quality of the pavement. At 56 days, the normal variation (N-1) achieved the highest compressive strength of 15,162 MPa, while the substitution variations RXA-1 (unscreened) and RYA-1 (passed sieve No. 4) only reached 8,600 MPa and 9,133 MPa, respectively, failing to meet the SNI 03-0691-1996 standards. The UPVT values for all variations ranged between 2.523–2.646 km/s, classified as poor. Conversely, unscreened nickel waste (RXA-1) positively affected durability, yielding the lowest water absorption of 8.730% at 56 days.

**Keywords:** *Paving block, Nickel Waste, compressive strength, water absorption, Ultrasonic Pulse Velocity (UPVT).*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur di Indonesia telah mendorong peningkatan kebutuhan material konstruksi secara signifikan, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, serta bahan baku lainnya. Kebutuhan yang terus meningkat ini berdampak pada eksploitasi sumber daya alam secara besar-besaran, sehingga menimbulkan tekanan terhadap ketersediaan material konvensional dan berpotensi menyebabkan kelangkaan di masa mendatang. Kondisi tersebut menuntut adanya inovasi dan pemanfaatan material alternatif yang lebih berkelanjutan guna menjaga keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan ketersediaan sumber daya.

Salah satu material konstruksi yang penggunaannya terus meningkat seiring perkembangan infrastruktur adalah paving block. Paving block merupakan bahan konstruksi pracetak yang banyak digunakan untuk melapisi permukaan tanah pada berbagai area seperti jalan, pelataran parkir, trotoar, taman kota, dan halaman rumah. Secara umum, paving block dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenis, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak menurunkan mutu beton. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, paving block diklasifikasikan menjadi mutu A untuk jalan, mutu B untuk pelataran parkir, mutu C untuk pejalan kaki, serta mutu D untuk taman dan penggunaan ringan lainnya. Klasifikasi ini menunjukkan bahwa kualitas paving block sangat ditentukan oleh kuat tekan dan daya tahannya terhadap beban serta kondisi lingkungan.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan paving block sebagai bagian dari material konstruksi, diperlukan upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku alami, khususnya agregat dan semen. Pada saat yang sama, berbagai sektor industri menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar yang belum dimanfaatkan secara optimal, seperti slag nikel dari proses peleburan bijih nikel dan abu pembakaran cangkang sawit atau *Palm Oil Fuel*

Ash (POFA). Limbah-limbah tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah industri sebagai bahan substitusi agregat maupun bahan tambahan dalam campuran paving block menjadi salah satu solusi strategis yang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan. Penggabungan bahan pozzolan (bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina) sebagai bahan pengganti semen dalam beton merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan sifat beton. (Patah and ., 2023).

POFA adalah bahan pozzolan karena memiliki kandungan silika reaktif yang tinggi dan dibuat dari limbah padat dari industri kelapa sawit (Dasar *et al.*, 2025). Beberapa riset penelitian sebelumnya yang telah mengeksplorasi pemanfaatan *palm oil fuel ash* (POFA) dan limbah nikel menjadi material konstruksi, dari penelitian Dasar, A., & Patah, D. (2025) menunjukkan bahwa penambahan ultrafine POFA berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton melalui reaksi pozzolanik, sehingga berdampak positif terhadap kuat tekan dan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif. Secara umum, penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi material tersebut berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif beton berkelanjutan, khususnya untuk konstruksi di wilayah pesisir, tanpa menurunkan kinerja struktural dan durabilitas beton secara signifikan.

Penelitian tentang penggunaan limbah nikel juga telah dilakukan oleh Amir dkk (2022) dan Aprianto dkk (2018) dimana penggunaan limbah nikel sebagai material dalam pembuatan beton dan paving block, memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan paving block. Penelitian ini membuktikan bahwa komposisi bahan yang seimbang dapat meningkatkan kuat tekan pada paving block.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas yang memanfaatkan POFA dan limbah nikel sebagai bahan substitusi agregat atau bahan tambah dapat mempengaruhi mutu paving block. Namun demikian, belum ada penelitian

yang membahas tentang penggunaan kombinasi dari POFA dan limbah nikel. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja paving block menggunakan 25% limbah nikel (Ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebagai pengganti agregat halus dengan substitusi 20% POFA. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat pengembangan material konstruksi yang ramah lingkungan dan menjadi salah satu opsi yang dapat digunakan khususnya pada daerah dengan POFA dan limbah nikel yang berlebih.

## **1.2 Rumusan Masalah**

- a. Bagaimana pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap kuat tekan?
- b. Bagaimana pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap daya serap?
- c. Bagaimana pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap UPVT?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap kuat tekan.
2. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap daya serap.
3. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel limbah nikel (ukuran 0-5 mm dan tanpa saring) sebanyak 25% pengganti agregat halus dan POFA sebagai pengganti semen sebanyak 20% terhadap UPVT.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tambahan tentang pemanfaatan Limbah Nikel dan juga abu cangcang sawit sebagai substitusi agregat halus dan semen, dalam pembuatan paving block.
2. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah Pada penelitian ini, permasalahan yang dibahas dibatasi agar penelitian ini tidak bersifat universal dan ditinjau secara meluas. Adapun batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis Material yang di gunakan adalah:
  - a. Semen Portland Composite Cement (PCC) Tipe I.
  - b. Kerikil ukuran 0.5-1 cm dari PT. Anato yang berlokasi di CV. Anato Group, Kecamatan Duampanua, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan
  - c. Pasir dari sungai Mapilli
2. Material pengganti yang di gunakan
  - a. Limbah nikel yang digunakan berasal dari PT. Bumi Mineral Sulawesi (BMS).
  - b. POFA yang di gunakan berasal dari PT. Surya Lestari II Kecamatan Budong-budong, Kabupaten Mamuju Tengah, Provinsi Sulawesi Barat
3. Metode Pengujian:
  - a. Pengujian Kuat Tekan mengacu pada ASTM C140/C140M (*Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units*).
  - b. Pengujian Kadar Air mengacu pada ASTM C140/C140M-20 (*Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units*).
  - c. Pengujian UPVT mengacu pada ASTM C1597/C597M (*Standard Test*

*Method for pulseVelocity Test).*

4. Pengujian kuat tekan di lakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 28 hari dan 56 hari.
5. Pengujian daya serap dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dan 56 hari.
6. Pengujian UPVT dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari
7. Data yang dikumpulkan hanya mencakup hasil uji laboratorium berupa nilai kuat tekan, daya serap air, dan nilai UPVT, tanpa melakukan analisis mikrostruktur atau karakterisasi kimia material.
8. Dimensi benda uji: 8 x 10 x 20 cm.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum, tulisan penelitian ini terbagi dalam lima (5) bab yaitu: pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Penguji dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. Berikut rincian sistematika penulisan penelitian ini.

### **BAB 1 : LATAR BELAKANG**

Pada bab ini berisikan pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memuat Tinjauan Pustaka serta teori-teori tentang bahan, metode penelitian dan semua yang bersangkutan dengan penelitian.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini memuat tentang tahap-tahap penelitian seperti studi kepustakaan, tempat dan waktu penelitian serta bahan-bahan yang digunakan juga berisi

tentang bagan alur penelitian dan metode penelitian.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas hasil dan data – data Penelitian

#### **BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil yang diperoleh dari penelitian dan disertai dengan saran – saran yang diusulkan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjaun Pustaka**

Penelitian terdahulu merupakan kajian, teori atau hasil dari penelitian sebelumnya yang di gunakan sebagai acuan, pedoman atau pembanding dalam penelitian ini. Penelitian terdahulu memiliki peran penting dalam memberikan gambaran mengenai perkembangan kajian ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Melalui penelusuran terhadap berbagai penelitian sebelumnya, penulis dapat memahami konsep, pendekatan metodologis, serta temuan-temuan yang telah dihasilkan. Selain itu, kajian terhadap penelitian terdahulu juga bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan, keterbatasan, dan celah penelitian yang masih terbuka sehingga penelitian ini memiliki kejelasan arah dan kontribusi ilmiah yang lebih terukur.

1. Panjaitan, F. (2022). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mutu paving block berdasarkan parameter kuat tekan dan daya serap air sebagai indikator kelayakan penggunaan paving block sebagai bahan perkerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan paving block dipengaruhi oleh komposisi dan kepadatan campuran material, di mana paving block dengan kepadatan yang lebih baik cenderung memiliki kuat tekan lebih tinggi dan daya serap air yang rendah yang membuatnya lebih tahan terhadap pengaruh air dan cuaca.
2. Dasar, A., & Patah, D. (2025). Penambahan ultrafine POFA berkontribusi dalam meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton melalui reaksi pozolanik, sehingga berdampak positif terhadap kuat tekan dan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif. Secara umum, penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi material tersebut berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif beton berkelanjutan, khususnya untuk konstruksi di

wilayah pesisir, tanpa menurunkan kinerja struktural dan durabilitas beton secara signifikan

3. Wiratno, Layang, dan Pera (2020). pengaruh penambahan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambah yang menggantikan sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block, serta menentukan persentase penambahan yang memberikan hasil optimum. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan limbah cangkang kelapa sawit dalam jumlah besar meningkatkan porositas paving block sehingga berdampak negatif terhadap mutu mekanisnya, sehingga penggunaannya perlu dibatasi agar kualitas paving block tetap memenuhi persyaratan teknis.
4. Aprianto, Y., & Triastianti, R. D. (2018). Pemanfaatan limbah slag nikel, abu sekam padi, dan fly ash sebagai bahan campuran dalam pembuatan paving block. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi slag nikel, abu sekam padi, dan fly ash memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan paving block. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa komposisi bahan yang seimbang mampu meningkatkan kuat tekan paving block, sedangkan penggunaan abu sekam padi dan fly ash dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan kekuatan akibat meningkatnya daya serap air dan terbentuknya pori-pori dalam paving block
5. Amir, Sukman, Mahmud, dan Hasrudin (2022). Bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik dan mekanik slag nikel, mengkaji pengaruh penggunaan slag nikel sebagai substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton, serta menentukan persentase optimum slag nikel yang dapat digunakan dalam campuran beton normal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan slag nikel tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pengertian Paving Block

Paving block merupakan suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen portland, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu paving block tersebut beton tersebut (SNI 03-0691-1996). *Paving block* mulai dikenal dan dipakai di Indonesia sejak tahun 1977/1978.

*Paving block* digunakan untuk berbagai keperluan, baik untuk estetika maupun fungsi teknis. Paving block sendiri mempunyai beberapa variasi dan bentuk untuk memenuhi selera pemakai. Ketebalan paving block yang sering digunakan berdasarkan penggunaannya (*specifications for Precast Concrete Paving Block, 1980*) yaitu:

- a. Ketebalan 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan yang frekuensinya terbatas, seperti pejalan kaki, sepeda motor.
- b. Ketebalan 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas yang frekuensinya padat, seperti sedan, pick up, bus dan truk.
- c. Ketebalan 10 cm atau lebih, digunakan untuk beban lalu lintas yang super berat seperti *crane* dan *loader*.

Penggunaan paving block ini disesuaikan dengan tingkat kebutuhan, misalnya saja digunakan sebagai pengerasan area parkir, trotoar jalan di kota- kota, memperindah taman, pekarangan dan halaman rumah, area perkantoran, pabrik juga pekerjaan jalan di kompleks- kompleks perumahan serta untuk keperluan lainnya.

### 2.2.2 Klasifikasi Paving Block

*Paving block* merupakan salah satu jenis bahan perkerasan beton pracetak yang banyak digunakan pada berbagai infrastruktur seperti jalan lingkungan, area parkir, trotoar, hingga halaman bangunan. Penggunaan paving block semakin berkembang karena memiliki

keunggulan antara lain kemudahan pemasangan, perawatan yang relatif sederhana, serta kemampuan menyesuaikan dengan kondisi tanah dasar. Untuk menjamin mutu dan kesesuaian penggunaannya, paving block diklasifikasikan berdasarkan beberapa aspek seperti mutu kuat tekan, fungsi penggunaan, bentuk, metode produksi, serta sistem pemasangannya.

Menurut SNI 03-0691-1996 paving block di klasifikasikan berdasarkan mutu, penggunaannya sebagai berikut:

Bata beton mutu A: digunakan untuk jalan.

Bata beton mutu B: digunakan untuk pelataran parkir

Bata beton mutu C: digunakan untuk pejalan kaki.

Bata beton mutu D: digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya

Berdasarkan SK SNI T – 04 – 1990 – F, klasifikasi *paving block* (blok beton) didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan, dan warna. Klasifikasi tersebut antara lain :

a. Berdasarkan bentuk

Berdasarkan bentuk secara garis besar *paving block* dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- 1) *Paving block* segi empat
- 2) *Paving block* segi banyak

b. Berdasarkan ketebalan

Berdasarkan ketebalan, paving block dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

- 1) *Paving block* dengan ketebalan 60 cm
- 2) *Paving block* dengan ketebalan 80 cm
- 3) *Paving block* dengan ketebalan 100 cm

Pemilihan bentuk dan ketebalan dalam pemakaian harus dengan rencana penggunaannya dan kuat tekan paving block tersebut harus di perhatikan.

c. Berdasarkan kekuatan

Pembagian kelas *paving block* berdasarkan kekuatan mutu betonnya ada dua macam yaitu:

1. *Paving block* dengan mutu beton  $f_c'$  37,35 MPA
2. *Paving block* dengan mutu beton  $f_c'$  27,0 MPA

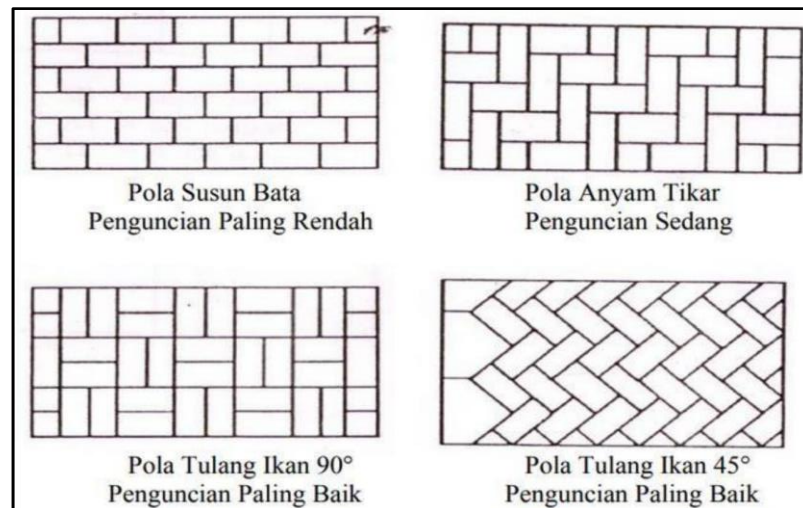
d. Berdasarkan warna

Pemasangan Warna yang tersedia dipasaran antara lain abu-abu, hitam, dan merah. *Paving block* yang berwarna kecuali untuk menambah keindahan juga dapat digunakan untuk memberi batas pada perkerasan seperti tempat parkir, tali air, dan lain-lain.

*Paving block* juga disesuaikan dengan fungsi bebannya, diantaranya pola tulang ikan (*hearing bone*) untuk lalu lintas berat, pola bata (*running bond*) untuk pejalan kaki dan pola anyaman tikar (*Basket weave*) untuk estetika taman. Pola pemasangan juga sangat mempengaruhi kemampuan saling mengunci (*interlocking*), sehingga untuk area dengan beban lalu lintas lebih tinggi disarankan menggunakan pola tulang ikan (*herringbone*). Jarak antar paving harus rapat dan seragam agar beban dapat terdistribusi dengan baik. Selain itu, pemasangan kanstin atau pengunci tepi sangat penting untuk mencegah pergeseran paving ke samping.

Selain itu, kemiringan permukaan harus direncanakan dengan baik, umumnya sekitar 1–2%, agar air hujan dapat mengalir dan tidak ada genangan. Setelah pemasangan, pengisian pasir pada sela *paving block* dan pemadatan akhir harus dilakukan secara menyeluruh agar *paving block* saling mengunci dengan kuat. Pada tahap akhir, perlu dilakukan pemeriksaan akhir terhadap kerataan, kestabilan, dan kerapian permukaan untuk memastikan paving block siap digunakan.

Beberapa pola pemasangan paving block untuk lapisan perkerasan yang sering digunakan antara lain.



**Gambar 2. 1** Macam macam pemasangan paving block

(Anonim, 2024 diakses pada <https://hargauditich.com/harga-paving-block-bekasi/pola-pemasangan-paving-block/>)

### 2.3 Syarat Mutu Paving Block

Standar mutu paving block di Indonesia dibuat untuk menjamin kualitas, kekuatan dan ketahanan paving blok dalam penggunaannya sebagai salah satu bahan konstruksi. Standar mutu ini mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*) yang menetapkan persyaratan fisik dan mekanik yang harus dipenuhi.

Standar mutu yang harus dipenuhi *paving block* untuk lantai menurut SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut:

1. Sifat tampak *paving block* untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpahkan dengan kekuatan jari tangan.
2. Bentuk dan ukuran *paving block* untuk lantai tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Setiap produsen memberikan penjelasan tertulis dalam *leaflet* mengenai bentuk, ukuran, dan konstruksi

pemasangan *paving block* untuk lantai.

3. Penyimpangan tebal *paving block* untuk lantai diperkenankan kurang lebih 3 mm.
4. *Paving block* untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kekuatan Fisik *Paving Block*

| Mutu | Kegunaan         | Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> ) |     | Ketahanan Aus (mm/menit) |       | Penyerapan Air Rata- Rata Maks (%) |
|------|------------------|----------------------------------|-----|--------------------------|-------|------------------------------------|
|      |                  | Rata2                            | Min | Rata2                    | Min   |                                    |
| A    | Perkerasan jalan | 400                              | 350 | 0,0090                   | 0,103 | 3                                  |
| B    | Tempat parkir    | 200                              | 170 | 0,1300                   | 1,149 | 6                                  |
| C    | Pejalan kaki     | 150                              | 125 | 0,1600                   | 1,184 | 8                                  |
| D    | Taman Kota       | 100                              | 85  | 0,2190                   | 0,251 | 10                                 |

Sumber: SNI 03-0691-1996

5. *Paving block* untuk lantai apabila diuji dengan natrium sulfat tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperbolehkan maksimum 1%.

Menurut *British Standard Institution*, standar mutu yang harus dipenuhi oleh *paving block* adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang maksimal, ketebalan *paving block* bentuk persegi minimal 6 cm
2. Untuk *paving block* yang menggunakan profil tali air pada sisi permukaan atas, tebal tali air maksimal 7 mm dari sisi dalam dan sisi luar *paving block*
3. Toleransi dimensi *paving block* yang diijinkan adalah sebagai berikut:
  - a. Panjang  $\pm 2$  mm
  - b. Lebar  $\pm 2$  mm
  - c. Tebal  $\pm 3$  mm

## **2.4 Material Penyusun Paving Block**

### **2.4.1 Semen**

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis yang sangat penting dalam bidang konstruksi, khususnya pada pekerjaan beton dan paving block. Semen bekerja dengan cara bereaksi secara kimia dengan air melalui proses yang disebut hidrasi, sehingga membentuk pasta yang mampu mengikat agregat halus dan agregat kasar menjadi satu kesatuan yang padat dan kuat. Setelah proses pengerasan berlangsung, campuran tersebut akan mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton atau paving block. Bahan baku utama semen umumnya terdiri dari batu kapur, tanah liat, silika, dan oksida besi yang diproses melalui pembakaran pada suhu tinggi hingga membentuk klinker, kemudian digiling halus bersama gipsum untuk mengatur waktu ikat.

Dalam praktik konstruksi, jenis semen yang paling banyak digunakan adalah Semen Portland karena memiliki sifat mekanis yang baik, daya rekat tinggi, serta kompatibel dengan berbagai kondisi lingkungan. Pada pembuatan paving block, penggunaan semen dengan kualitas dan proporsi yang tepat sangat menentukan mutu akhir produk, terutama terhadap kuat tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap beban serta cuaca. Semen Portland dikenal karena kekuatan dan daya tahannya, serta kemampuannya untuk mengikat bahan bangunan secara efektif.

### **2.4.2 Agregat halus**

Agregat halus adalah material butiran kecil yang digunakan sebagai salah satu bahan utama dalam campuran beton, mortar, dan paving block. Secara umum, agregat halus berupa pasir alami atau pasir hasil pemecahan batu yang lolos saringan ukuran 4,75 mm (No. 4) dan tertahan pada saringan 0,075 mm (No. 200).

Berdasarkan sumbernya, agregat halus dapat dibedakan menjadi pasir alam (pasir sungai atau pasir laut yang telah dicuci) dan pasir buatan (manufactured sand). Mutu agregat halus biasanya ditentukan melalui pengujian seperti analisis saringan (gradasi), kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, dan kadar air sesuai standar yang berlaku, seperti pada SNI 03-6820 atau standar internasional lainnya.

Menurut ASTM C33 terdapat beberapa persyaratan agregat halus yang harus dipenuhi sesuai standar prosedur, sebagai berikut:

- a. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (dalam % berat) maksimum untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3.0 dan untuk beton jenis lain sebesar 5.0
- b. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum sebesar 3.0%
- c. Kandungan arang dan lignin untuk permukaan beton yang dianggap penting adalah sebesar maksimum 0.5% dan untuk beton jenis lainnya maksimum sebesar 1.0%
- d. Agregat halus harus bebas dari kotoran organik dan bila diuji dengan larutan NaSO<sub>4</sub> harus memenuhi standar warna (tidak lebih tua dari warna standar).
- e. Untuk dapat digunakan sebagai campuran beton, persen lolos kumulatif dari agregat halus tidak boleh melebihi 45%, sedangkan modulus kehalusan agregat halus harus berada dalam kisaran 2.3 – 3.1

#### 2.4.3 Agregat kasar

Agregat kasar adalah material butiran keras yang digunakan dalam campuran beton, mortar, dan paving block dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm (saringan No. 4). Agregat ini umumnya berupa kerikil alami, batu pecah (split), atau hasil pemecahan batuan yang berfungsi sebagai kerangka utama dalam campuran beton.

Berdasarkan sumbernya, agregat kasar dibedakan menjadi kerikil alam dan batu pecah (*crushed stone*). Untuk memenuhi persyaratan teknis, agregat kasar biasanya diuji melalui beberapa pengujian, seperti analisis saringan (gradasi), keausan (uji Los Angeles), berat jenis, penyerapan air, dan kadar lumpur, sesuai standar yang berlaku, seperti pada SNI 03-2461 dan standar terkait lainnya.

Agregat kasar adalah butiran yang ukurannya sudah melebihi 4,75 mm (No.4 ASTM C33). Karakteristik agregat kasar yang perlu diperhatikan diantaranya:

- a. Gradasi Agregat Kasar adalah distribusi dari ukuran agregat atau proporsi dari macam-macam ukuran butir agregat berdasarkan analisa saringan. Syarat gradasi menurut British Standard (BS).
- b. Modulus Halus Butir (HMB), Spesifikasi modulus halus butiran agregat kasar yaitu 5,5%-8,5%.
- c. Absorpsi dan Berat Jenis (Specific Gravity), Spesifikasi agregat untuk beton normal adalah berat jenis agregat kasar yaitu 1,60-3,20 kg/liter.
- d. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
- e. Kadar Air Agregat Kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar yaitu 0,5%-2,0%.
- f. Persentase Keausan, spesifikasi keausan agregat beton yaitu 0,5%-2%.
- g. Kadar Lumpur, kadar lumpur agregat beton yaitu 0,2%-1,0%.

#### 2.4.4 Air tawar

Air tawar merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan paving block karena berfungsi sebagai media reaksi kimia antara semen dan agregat. Air memicu proses hidrasi semen, yaitu reaksi antara senyawa kimia dalam semen dengan air yang menghasilkan pasta

semen. Pasta ini berfungsi sebagai perekat yang mengikat agregat halus dan agregat kasar sehingga membentuk massa paving block yang padat dan kuat.

Air yang di gunakan dalam pembuatan paving block harus memenuhi persyaratan tertentu. Menurut SNI 03-0691-1996 dan SNI 03-0692-1996, air yang layak di gunakan umumnya adalah air bersih yang dapat diminum (portble water), tidsk berbau, tidak berwarna, serta bebas dari zat-zat berbahaya seperti minyak, asam alkali, garam dan bahan organik.

Selain di gunaan pada tahap pencampuran (Mixing), air tawar juga di gunakan dalam proses perawatan (curing). curing dilakuka untuk menjaga kelembapan agar reaksi hidarasi semen berlangsung, hal ini dapat mengurangi retak susut, dan memperbaiki durabilitas paving block dalam jangka panjang.

#### 2.4.5 POFA

Ultra fine abu cangkang sawit adalah abu hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang diolah hingga berukuran sangat halus (ultra halus), umumnya lolos ayakan No. 325 ( $\pm 45 \mu\text{m}$ ). Material ini berasal dari limbah industri kelapa sawit dan dimanfaatkan sebagai bahan tambah atau substitusi sebagian semen.

Secara kimia dan fisik, ultra fine abu cangkang sawit bersifat pozzolan dan berfungsi sebagai filler. Kandungan silika yang tinggi bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen membentuk senyawa pengikat tambahan, sementara ukuran partikel yang sangat halus mengisi pori-pori mikro dalam pasta semen. Pada paving block, material ini berpotensi meningkatkan kuat tekan, menurunkan daya serap air, dan memperbaiki durabilitas, asalkan digunakan pada kadar yang optimum.



**Gambar 2. 2** Ultrafine abu cangkang sawit

#### 2.4.6 Limbah nikel

Limbah nikel adalah sisa material yang dihasilkan dari kegiatan penambangan dan pengolahan bijih nikel. Limbah ini umumnya berupa slag nikel, tailing, dan debu hasil proses peleburan, yang jumlahnya sangat besar dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Secara umum, limbah nikel mengandung senyawa oksida seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Komposisi ini membuat limbah nikel berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi agregat atau bahan tambah dalam pembuatan paving block dan beton.

Secara fisik, slag nikel memiliki tekstur kasar, kepadatan tinggi, dan ketahanan aus yang baik, sehingga berpotensi menggantikan sebagian atau seluruh agregat kasar. Secara kimia, kandungan oksida seperti silika, besi oksida, dan magnesium oksida relatif stabil dan tidak mengganggu proses hidrasi semen. Penggunaan limbah nikel sebagai agregat kasar pada paving block dapat meningkatkan kepadatan dan kuat tekan, namun proporsi penggantian harus dikontrol agar tidak meningkatkan berat jenis secara berlebihan atau menurunkan workability campuran. Pemanfaatan limbah nikel dapat meningkatkan kepadatan material serta mengurangi penggunaan bahan alam, sehingga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan



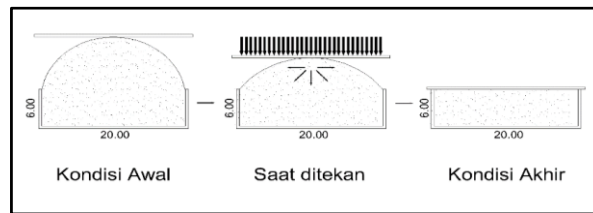
**Gambar 2. 3** Limbah nikel

## **2.5 Metode Pembuatan Paving Block**

### **2.5.1 Metode Cetak Manual**

Metode cetak manual merupakan cara pembuatan paving block yang paling sederhana dan banyak digunakan pada industri kecil atau skala rumahan. Pada metode ini, bahan penyusun paving block yang terdiri dari semen, agregat halus, dan air dicampur hingga homogen, kemudian adukan dimasukkan ke dalam cetakan yang umumnya terbuat dari baja atau plastik. Proses pemadatan dilakukan secara manual, yaitu dengan cara ditumbuk, ditekan menggunakan tangan, atau menggunakan alat sederhana. Setelah dicetak, paving block dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan proses perawatan (curing) agar proses hidrasi semen berlangsung dengan baik.

Kualitas paving block yang dihasilkan dengan metode cetak manual sangat dipengaruhi oleh keterampilan pekerja dan tingkat pemadatan. Karena tekanan yang diberikan relatif kecil dan tidak seragam, paving block yang dihasilkan cenderung memiliki porositas lebih tinggi, kuat tekan lebih rendah, serta variasi dimensi yang cukup besar. Meskipun demikian, metode ini tetap digunakan karena biaya produksi yang rendah dan peralatan yang sederhana.

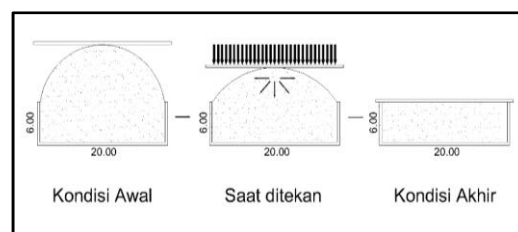


**Gambar 2. 4** Metode konvensional

### 2.5.2 Metode Vibrasi Press (*Vibro Press*)

Metode vibro press merupakan metode pembuatan paving block dengan mengombinasikan tekanan mekanis dan getaran (vibrasi) untuk memadatkan campuran beton di dalam cetakan. Pada metode ini, adukan paving block dimasukkan ke dalam cetakan mesin vibro press, kemudian dipadatkan dengan tekanan tertentu yang disertai getaran berfrekuensi tinggi. Getaran berfungsi untuk mengurangi rongga udara dalam adukan, sedangkan tekanan berperan meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton.

Paving block yang dihasilkan dengan metode vibro press memiliki mutu yang lebih tinggi dibandingkan metode cetak manual, ditandai dengan kuat tekan yang lebih besar, daya serap air yang lebih rendah, serta dimensi dan bentuk yang lebih presisi. Metode ini banyak digunakan pada industri paving block skala menengah hingga besar karena mampu menghasilkan produk secara massal dengan kualitas yang konsisten dan memenuhi standar mutu yang berlaku, seperti SNI, ASTM, maupun BSI.



**Gambar 2. 5** Metode vibrasi press

## **2.6 Perawatan Paving Block**

Perawatan paving block (*Cooring*) dilakukan pada masa pembekuan atau pengeringan. *Cooring* ini dilakukan untuk menjaga kelembapan dan suhu agar reaksi hidrasi semen berlangsung dengan optimal. Proses ini sangat penting karena sangat mempengaruhi kualitas, kuat tekan, daya tahan, dan keawetan paving block. Metode perawatan benda uji mengikuti standar SNI-03-0691-1996. Setelah sampel benda uji selesai dibuat, proses perawatan (*curing*) dilakukan dengan menyiram seluruh permukaan paving block menggunakan air tawar, kemudian menyimpannya di tempat yang aman dan terlindung dari paparan langsung sinar matahari, karena hal ini dapat mempengaruhi kualitas paving block.

## **2.7 Pengujian Paving Block**

### **2.7.1 Kuat Tekan**

Pengujian kuat tekan merupakan salah satu pengujian utama untuk mengetahui kemampuan paving block dalam menahan beban tekan. Nilai kuat tekan menjadi tolak ukur mutu paving block dan menentukan kelayakannya untuk digunakan pada area tertentu, seperti trotoar, jalan lingkungan, atau area parkir. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Sebelum pengujian, paving block harus melalui proses perawatan (*curing*) terlebih dahulu, umumnya selama 7, 14, atau 28 hari. Benda uji kemudian diukur dimensinya (panjang, lebar, dan tebal) untuk menentukan luas bidang tekan. Permukaan paving block yang akan diuji harus rata dan bersih agar distribusi beban merata saat pengujian berlangsung.

Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji tekan (*Compression Machine*). Benda uji diletakkan di antara dua pelat besi tekan mesin, kemudian beban diberikan secara bertahap dan kontinu hingga paving block mengalami retak atau hancur. Beban maksimum yang tercatat pada saat keruntuhan digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan.

Kuat tekan adalah besaran beban yang mampu ditahan per satuan luas sebuah *paving block* sehingga *paving block* tersebut hancur akibat gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut (SNI-03-0691-1996), rumus yang digunakan dalam menghitung kuat tekan atau kuat desak adalah

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  = Kuat tekan/kuat desak *paving block* (kg/cm<sup>3</sup>)

P = Beban maksimum (kg)

A= Luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Kuat tekan rata-rata *paving block* didapatkan dari hasil perhitungan jumlah kuat tekan *paving block* dibagi jumlah sampel yang diuji. Umur benda uji yang akan dilakukan adalah pada umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari.

## 2.7.2 Daya Serap

Daya serap merupakan pengujian yang di lakukan untuk mengetahui kemampuan suatu benda uji dalam menyerap air melalui pori-porinya. Pada paving block daya serap ini di gunakan sebagai indikator porositas, kepadatan, dan mutu material yang di gunakan. semakin besar daya serap air, maka semakin banyak pula pori yang terbuka, sehingga mutu dan ketahanan paving block terhadap air dan cuaca lebih rendah.

Salah satu metode yang sering di gunakan dalam pengujian daya serap adalah metode perebusan (*Boiling method*). Metode ini sampel benda uji di keringkan dengan cara di oven dengan suhu  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  selama 11 jam, untuk mendapatkan berat kering. kemudian di timbang berat keringnya ( $W_1$ ). Setelah itu, benda uji di rebus selama kurang lebih  $\pm 6$  jam. Perebusan ini bertujuan untuk mempercepat penyerapan air ke dalam pori-pori benda uji secara maksimal. setelah di rebus benda uji di biarkan dingin di dalam air, setelah dingin kemudian di angkat, diamkan sampai keadaanya kering permukaan (SSD) kemudian di tmbang untuk mendapatkan berat SSD. Setelah berat SSD sudah di dapatkan selanjutnya yaitu menentukan berat dalam air. Berat dalam air ini di tentukan dengan menggunakan timbangan dalam air.

Pengujian daya serap di lakukan saat benda uji berumur 28 hari dan 56 hari setelah benda uji melalui proses perawatan (curing). Metode yang di gunakan pada pengujian ini yaitu metode perebusan (*Boiling methode*) mengacu pada ASTM C642 (Standart Test Method for Density, Absorbtion, and Voidsd in Hardened Concrete, dan SNI 03-2914-1992. Rumus yang di gunakan untuk menghitung daya serap adalah:

$$WA = \frac{WS - Wd}{Wd} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

WA= Daya serap (%)

Ws = Berat kering benda uji (kg)

Wd = Berat benda uji dalam keadaan SSD (kg)

Nilai daya serap air di hitung dengan cara membandingkan selisih berta basah dengan kering benda uji dalam bentuk persentase. Untuk menghitung rata-rata daya serap air diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai daya serap benda uji kemudian di bagi dengan jumlah benda uji.

### 2.7.3 UPVT

*Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak benda uji (*non-destructive test*) yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas paving block berdasarkan kecepatan rambat gelombang ultrasonik di dalam material. Pengujian ini bertujuan untuk menilai tingkat kerapatan, homogenitas, serta mendeteksi adanya cacat internal seperti rongga dan retakan tanpa merusak spesimen uji.

Pengujian UPVT bekerja dengan cara mengirimkan gelombang energi ultrasonik dari transduser pemancar (*transmitter*) menuju transduser penerima (*receiver*) melalui spesimen paving block. Waktu tempuh gelombang ultrasonik yang diterima dicatat oleh alat, sedangkan panjang lintasan gelombang diukur berdasarkan dimensi spesimen. Metode pengujian yang umum digunakan adalah *direct transmission*, di mana posisi pemancar dan penerima diletakkan saling berhadapan pada dua sisi yang berlawanan. Untuk meningkatkan kualitas transmisi gelombang, permukaan spesimen dibersihkan dan diberikan *coupling gel*.

Perhitungan kecepatan rambat gelombang ultrasonik dilakukan berdasarkan ASTM C597 – *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete* dengan rumus sebagai berikut:

Dengan:

$$V = \frac{L}{T} \text{-----(2.3)}$$

V = kecepatan rambat gelombang ultrasonik (m/s)

L = panjang lintasan gelombang ultrasonik (m)

T = waktu tempuh gelombang ultrasonik (detik)

Hasil pengujian UPVT kemudian digunakan untuk

mengklasifikasikan mutu paving block. Berdasarkan ASTM C597, beton dengan nilai kecepatan rambat gelombang ultrasonik lebih dari 4.000 m/s dikategorikan termasuk kualitas sangat baik, sedangkan nilai 3.500–4.000 m/s menunjukkan kualitas baik. Nilai kecepatan di bawah 3.000 m/s umumnya mengindikasikan beton dengan kualitas sedang dan rendah akibat tingginya porositas atau adanya cacat internal.

Tabel 2.2 Klasifikasi Nilai UPVT

| <b>Quality</b> | <b>Velocity</b>    |
|----------------|--------------------|
| Excellent      | 4500 m/s or faster |
| Good           | 3500 – 4500 m/s    |
| Medium         | 3000 – 3500 m/s    |
| Doubtful       | 2000 – 3000 m/s    |
| Very Weak      | 2000 m/s or slower |

*Sumber:* SNI C597

## **BAB III**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh ukuran partikel limbah nikel sebagai substitusi agregat halus sebesar 25% dan penggunaan Ultrafine Palm Oil Fuel Ash (UPOFA) sebagai substitusi semen sebesar 20% pada paving block, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan limbah nikel dan UPOFA memberikan pengaruh terhadap kuat tekan paving block. Dimana hasil tersebut menunjukkan substitusi 25% limbah nikel dan 20% UPOFA cenderung menurunkan kuat tekan dibandingkan campuran normal. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, hanya variasi N-1 yang mampu memenuhi mutu C untuk area lalu lintas ringan seperti jalan untuk pejalan kaki. Nilai optimum kuat tekan yang dihasilkan sebesar 16.275 Mpa pada umur 56 hari.
2. Penggunaan limbah nikel dan UPOFA juga mempengaruhi daya serap air paving block. Dimana hasil ini menunjukkan penggunaan limbah nikel tanpa saring mampu menghasilkan struktur yang lebih rapat sehingga mengurangi kemampuan paving block dalam menyerap air. Nilai optimum penyerapan air sebesar 13.889 % pada umur 28 hari.
3. Hasil pengujian Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT) menunjukkan bahwa nilai kecepatan rambat gelombang ultrasonik optimum diperoleh sebesar 2,622 km/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi N-1 memiliki kualitas internal yang lebih baik di bandingkan dengan RXA-1 dan juga RYA-1.

Secara keseluruhan, variasi N-1 merupakan campuran terbaik dalam penelitian ini karena menghasilkan nilai kuat tekan dan nilai UPVT tertinggi. Variasi RXA-1 menunjukkan performa terbaik dari segi daya serap air, sedangkan variasi RYA-1 belum mampu memberikan peningkatan kinerja yang signifikan terhadap sifat mekanik maupun kualitas internal paving block. Penggunaan limbah nikel dan UPOFA pada proporsi yang digunakan dalam

penelitian ini belum mampu menghasilkan paving block dengan mutu yang lebih baik dibandingkan campuran normal.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi persentase limbah nikel dan UPOFA yang lebih beragam untuk memperoleh komposisi optimum yang mampu meningkatkan kuat tekan sekaligus mempertahankan daya serap air pada batas yang memenuhi standar.
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis mikrostruktur menggunakan metode seperti Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), atau analisis kimia lainnya untuk mengetahui mekanisme interaksi antara limbah nikel, UPOFA, dan pasta semen terhadap sifat paving block.
3. Perlu dilakukan pengujian sifat mekanik dan durabilitas lainnya seperti ketahanan aus, ketahanan terhadap sulfat, ketahanan terhadap siklus basah-kering, serta pengujian kuat lentur guna memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai kinerja paving block.
4. Proses pencampuran, pemadatan, dan perawatan benda uji perlu lebih dikontrol agar reaksi hidrasi berlangsung optimal dan menghasilkan paving block dengan kualitas yang lebih seragam.
5. Penggunaan limbah nikel sebagai material substitusi tetap berpotensi dikembangkan karena mampu mengurangi pemanfaatan sumber daya alam dan mendukung konsep konstruksi berkelanjutan. Namun, diperlukan optimasi ukuran partikel dan proporsi campuran agar diperoleh mutu paving block yang sesuai dengan persyaratan SNI.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir, A. A., Sukman, Mahmud, & Hasrudin. (2022). Use of nickel slag waste as coarse aggregate in concrete. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*
- Anggoro, R. S., Bimantio, M. P., & Adisetya, E. (2023). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Campuran pada Pembuatan Paving Block. *AGROFORETECH*, 1(03), 1984-1991
- Aprianto, Y., & Triastianti, R. D. (2018). Pemanfaatan Limbah Padat Slag Nikel, Abu Sekam Padi, dan Fly Ash Menjadi Paving Block. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(1), 1-12.
- ASTM International. (2010). *ASTM C78/C78M-10: Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2013). *ASTM C140/C140M-13a: Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2013). *ASTM C642-13: Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2018). *ASTM C1579-13: Standard test method for determining if the early-age, restrained shrinkage of cementitious mixtures causes cracking*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2018). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2019). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- ASTM International. (2020). *ASTM C1898-20: Standard test method for flexural strength of segmental concrete paving units*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SK SNI T-04-1990-F: Tata cara pembuatan dan klasifikasi paving block. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-0691-1996: Bata beton (paving block). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-0691-1996: Bata beton (paving block)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2493:2011: Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 4431:2011: Cara uji kuat lentur beton dengan balok uji sederhana*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 7064:2014: Semen Portland komposit (PCC)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: BSN.
- British Standards Institution. (1986). *BS 6717-1: Precast concrete paving blocks – Part 1: Specification for paving blocks*. London: BSI.
- Dasar, A., & Patah, D. (2024). Kekuatan dan Durabilitas Beton Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Pasir Pantai. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 83-94.
- Dewan Standardisasi Nasional. 1996. SK SNI 03-0691-1996: Bata Beton (Paving Block). Jakarta: DSN

- Karaeng, Immanuel. "PEMANFAATAN PASIR PANTAI DAN FLY ASH PADA KINERJA PAVING BLOK." *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING* 6.2 (2024): 65-72.
- Nasution, A. E., Wijaya, S., Christalline, S., & Renjani, M. S. (2025). Pemanfaatan Palm Oil Fuel Ash (POFA) sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 1045–1049. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.1015>
- Panjaitan, F. (2022). Analisis Kuat Tekan dan Serapan Air Material Paving Block Akibat Variasi Komposisi Fly Ash (Skripsi, Universitas Medan Area). Repository Universitas Medan Area. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/18050>
- Patah, D., & Dasar, A. (2022). Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2), 158-163.
- Patah, D., & Dasar, A. (2022). Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2), 158-163.
- Patah, D., & Dasar, A. (2022, September). Strength Performance of Concrete Using Rice Husk Ash (RHA) as Supplementary Cementitious Material (SCM). In *Journal of The Civil Engineering Forum* (pp. 261-276).
- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. (2022). Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping, Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(1), 109-117.
- Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., & Astuti, P. (2021, February). Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride Contaminated Mortar. In *4th International Conference on Sustainable*

*Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020)* (pp. 60-63). Atlantis Press.

Patah, D., Dasar, A., Suryani, H., & Okviyani, N. (2023). PAVING BLOCK MUTU B UNTUK INFRASTRUKTUR JALAN MENGGUNAKAN MATERIAL SULAWESI BARAT. *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 5(2), 23-28.

Patah, D., Hamada, H., & Dasar, A. (2020, June). Effects of Mineral Admixtures on Pore Structure and Compressive Strength of Mortar Contaminated Chloride. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 875, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.

Ridhayani, I., Dasar, A., Mahmuda, A. F., Manaf, A., & Patah, D. (2023). Perbandingan kinerja bata beton menggunakan abu cangkang sawit, abu sekam padi dan abu serat sagu. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 11(2), 241-248. using Scheffe's method. *Scientific Reports*.

Wiratno, Layang, S., & Pera, W. P. (2020). Pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit sebagai alternatif bahan tambah dalam pembuatan paving block. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 8(1), 30–35.