

SKRIPSI

**EVALUASI KEKUATAN DAN DURABILITAS *PAVING BLOCK* RAMAH
LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN *NANO
PALM OIL FUEL ASH* (NPOFA)**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat Sarjana S1 Pada
Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

MUH ARIF

D0121512

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
MAJENE**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

EVALUASI KEKUATAN DAN DURABILITAS PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN NANO PALM OIL FUEL ASH (NPOFA)

Diajukan untuk Memenuhi syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Program Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat.

Oleh:

MUH ARIF

D01 215 12

(Sarjana Jurusan Teknik Sipil)

Universitas Sulawesi Barat

Telah diperiksa dan disetujui untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Menyetujui,

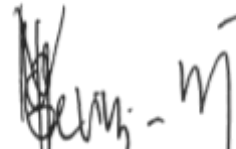
Tim Pembimbing,

Pembimbing 1



Dr. Eng. Ir. Amry Dasar, ST., M.Eng
NIP. 198801152019031006

Pembimbing 2



Nur Okviyani, S.,SI., MT.
NIP. 199010222022032012

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Amalia Nurdin, S.T., M.T.
NIP. 198712122019032017

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Hafsa Nirwana, M.T.
NIP. 196404051990032002

ABSTRAK

EVALUASI KEKUATAN DAN DURABILITAS PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN *NANO PALM OIL FUEL ASH* (NPOFA)

MUH ARIF

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat (2025)

arifrauf970@gmail.com

Paving block adalah salah satu jenis material konstruksi yang sering digunakan untuk permukaan jalan, trotoar, dan area parkir. Salah satu bahan yang dapat menjadi substitusi semen adalah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran cangkang kelapa sawit. Penelitian ini berfokus evaluasi kekuatan dan durabilitas *paving block* ramah lingkungan dan berkelanjutan menggunakan *Nano Palm Oil Fuel Ash* (NPOFA) yang bertujuan untuk mengetahui bahan tambah 0%, 10%, 20% dan 30% yang paling efektif terhadap uji kuat tekan, daya serap air dan Ketahanan Acid.

Dalam penelitian ini prenetase abu cangkang sawit yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan menggunakan campuran air tawar. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari diperoleh nilai kuat tekan tertinggi sebesar 21,29 Mpa pada tipe n-rs-t umur 56 hari. Pada pengujian daya serap air tipe NP30-RS-T memperoleh nilai daya serap tertinggi hal tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rasio penggunaan NPOFA semakin tinggi nilai daya serap yang diperoleh. Pada pengujian ketahanan acid menurunkan kuat tekan, namun semakin sedikit penggunaan NPOFA semakin tinggi nilai kuat tekan terhadap *paving block*.

Kata kunci: *Paving Block*, abu cangkang sawit , Kuat Tekan, Daya Serap Air, Acid

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving block adalah salah satu jenis material konstruksi yang sering digunakan untuk permukaan jalan, trotoar, dan area parkir. *Paving Block* terbuat dari campuran semen, pasir, air dan agregat seperti batu pecah atau kerikil. Sering digunakan sebagai pelapis permukaan ruang luar seperti jalan masuk, teras dan jalur pejalan kaki. *paving block* terkenal dengan daya tahan, kekuatan, dan estetikanya. *Paving block* hadir dalam berbagai bentuk, ukuran dan warna serta dapat disusun dalam berbagai pola. *Paving block* juga dapat diklasifikasikan tergantung pada kualitas dan tujuan penggunaannya, seperti untuk area dengan lalu lintas tinggi atau jalur pejalan kaki.

Kekuatan dan durabilitas merupakan dua atribut utama yang diapresiasi dalam pembuatan *paving block*. Keduanya menjadi indikator penting dalam menilai performa material terhadap tekanan serta ketahanannya terhadap kondisi lingkungan. *Paving block* dapat diproduksi dengan menggunakan bahan-bahan daur ulang atau limbah sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan bahan konstruksi lain. Adapun limbah yang biasa digunakan dan sudah diteliti sebelumnya yaitu abu sekam padi (Patah & Dasar, 2022); abu cangkang sawit dan abu serat sagu (Ridhayani, dkk, 2023); abu cangkang sawit (Patah & Dasar, 2024); Patah & Dasar (2022) dimana hasil pengujian menunjukkan peningkatan kuat tekan pada benda uji.

Abu cangkang sawit atau POFA mengandung silika dioksida dalam kadar tinggi dan berpotensi dapat digunakan sebagai pengganti semen (*geopolimer*) yang merupakan limbah hasil pembakaran minyak kelapa sawit. Sementara *Nano Palm Oil Fuel Ash* (NPOFA) adalah limbah kelapa sawit yang telah diolah menjadi partikel berukuran sangat kecil lolos saringan No.200 (NPOFA)

Konsumsi semen portland di dunia meningkat menjadi 2 juta ton dari 1,3 miliar ton per tahun sejak abad kedelapan belas dan seterusnya. Hal ini disertai dengan isu lingkungan lainnya seperti meningkatnya jumlah CO₂ terbesar yang dihasilkan selama proses pembuatan semen (Rawaid, dkk, 2012). Pemanfaatan bahan substitusi semen sangat mempengaruhi hal ini. Namun, material yang berkelanjutan akan mengurangi permintaan semen portland dan mengurangi biaya produksi *paving block*. Salah satu bahan yang dapat menjadi substitusi semen adalah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran cangkang kelapa sawit.

Pemanfaatan abu cangkang sawit sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih luas lagi. Sehingga hal ini dapat bernilai ekonomis juga mengurangi limbah. Pemanfaatan ini di usahakan dapat dimaksimalkan menjadi bahan tambah pada campuran *paving block*.

Penelitian ini berfokus evaluasi kekuatan dan durabilitas *paving block* ramah lingkungan dan berkelanjutan menggunakan *Nano Palm Oil Fuel Ash* (NPOFA) yang bertujuan untuk mengetahui bahan tambah 0%, 10%, 20% dan 30% yang paling efektif terhadap uji kuat tekan, daya serap air dan Ketahanan Acid.

Dari beberapa uraian diatas, penulis mengambil judul “**EVALUASI KEKUATAN DAN DURABILITAS PAVING BLOCK RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN NANO PALM OIL FUEL ASH (NPOFA)**”. Penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti semen pada *paving block* diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari *paving block*. Selain itu juga diharapkan dapat membantu mengurangi permasalahan limbah di lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap kuat tekan *paving block*?

2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap daya serap air *paving block*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap Ketahanan Acid *paving block*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap kuat tekan *paving block*.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap daya serap air *paving block*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* dengan campuran 0%, 10%, 20% dan 30% terhadap ketahanan Acid *paving block*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka perlu adanya batasan ruang lingkup diantaranya sebagai berikut:

1. Semen yang digunakan adalah semen Portland Composit (PCC)
2. Bahan tambah yang digunakan adalah *Nano Palm Oil Fuel Ash* Presentasi penambahan 0%, 10%, 20% dan 30% yang diambil dari PT. surya lestari II di Kec. Budhong-budhong, Kab. Mamuju tengah, Prov. Sulawesi Barat.
3. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Mapilli Kecamatan Mapilli, Kabupaten Polewali Mandar.
4. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Anato, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan.
5. Pencampuran menggunakan air tawar dari sumur bor laboratorium terpadu universitas Sulawesi barat.
6. Target FAS (Faktor Air Semen) maksimal 0,35.
7. Perawatan yang di lakukan menggunakan air tawar yang berasal dari sumur bor laboratorium terpadu universitas Sulawesi barat.
8. Benda uji berukuran Panjang 20 cm x lebar 10 cm x tinggi 8 cm.

9. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 28 hari dan 56 hari dengan jumlah *paving block* 60 buah sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
10. Pengujian daya serap dilakukan pada umur 28 hari dengan jumlah *paving block* 8 buah sesuai dengan SNI 03-0028- 1987.
11. Pengujian kuat tekan acid di lakukan pada umur 28 hari dengan jumlah *paving block* 20 buah. mengacu pada ASTM-C1898-20.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah memberikan masukan pengaruh penggunaan *Nano Palm Oil Fuel Ash* terhadap kuat tekan, serap air dan ketahanan acid pada *paving block* dengan pencampuran air tawar dan perawatan menggunakan air tawar.
2. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya khususnya di bidang ketekniksipilan.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan dapat dilihat sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori-teori yang menyangkut tentang penelitian ini

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang metode-metode apa saja yang akan digunakan dalam penelitian baik itu dari jenis penelitian, tahapan, bagan alir dan lain sebagainya.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil dari pengujian yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran menyangkut penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Di dalam dunia keilmuan sudah banyak peneliti yang melakukan penyelidikan tentang ketahanan *paving block* dengan melihat dari segi material penyusun dan kondisi lingkungan yang ada disekitar. Beberapa peneliti terdahulu sudah membahas tentang pengaruh abu cangkang sawit dan air laut pada pembuatan *paving block* sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis sedikit berbeda dari peneliti terdahulu mulai dari bentuk perawatan yang digunakan, bentuk cetakan. Selain itu fokus dari peneliti adalah pengaruh abu cangkang pada pembuatan *paving block*.

1. Kuat Tekan dan Absorpsi *Paving Block* Geopolimer Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash*) Menggunakan Tambahan Semen Tipe 1 (*Ordinary Portland Cement*) dengan Air Gambut. (Syarif, 2022), Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap *paving block* geopolymer yaitu Kuat tekan *paving block* geopolimer meningkat dengan seiring waktu pengujian dari umur 7 dan 28 hari. Kuat tekan *paving block* geopolimer meningkat pada variasi penambahan OPC 20% di air gambut. Hasil Pengujian kuat tekan dan *absorpsi paving block* geopolimer berbanding terbalik dari hasil pengujian. Semakin besar hasil kuat tekan, sebaliknya semakin kecil absorpsi dari *paving block* geopolimer. Reaksi kimia antara penampahan OPC 20% dengan air gambut akan membentuk ikatan geopolimer sehingga menambah kualitas mutu *paving block* geopolimer.
2. *Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete*. (Hamada dkk, 2020), Semen diganti dengan NPOFA dengan perbandingan 0%, 10%, 20%, dan 30% untuk menghasilkan beton hijau, dan proporsi ESP mencapai 2,5% dan 5% dari total bahan pengikat. Umur perawatan adalah 7, 14, dan 28 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa NPOFA menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan beton hijau yang

dikembangkan. ESP meningkatkan daya tahan beton dengan mengurangi penyerapan air. Oleh karena itu, beton ini mungkin memiliki ketahanan yang tinggi terhadap serangan lingkungan, seperti yang melibatkan sulfat dan asam.

3. Analisis Penerapan Penggunaan *Paving Block* Geopolimer Abu Sawit Dengan Tambahan *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Composite Cement* (PCC) di Lahan Gambut yang Berbasis Eco-Green (Harriad Akbar Syarifa, dkk, 2022). Penelitian diawali dengan menguji karakteristik material campuran *paving block* seperti abu sawit, semen, dan pasir. Variasi pengujian sampel terdiri dari 20%, 25%, 30% OPC dan PCC dari komposisi campuran abu sawit. Jenis pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan mikrostruktur FTIR dengan umur pengujian 28 hari. Dari hasil yang didapat, kuat tekan variasi OPC 25% memiliki kuat tekan tertinggi 23,82 MPa dari variasi OPC lainnya, sedangkan untuk variasi PCC 30% menghasilkan kuat tekan tertinggi 25,81 MPa dari variasi PCC lainnya. Sedangkan ditinjau dari Konsep *Eco-Green*, *paving block* geopolimer lebih murah dibandingkan dengan *paving block* konvensional semen dan menghasilkan mutu yang sama (Mutu B).
4. Pemanfaatan Abu Kelapa Sawit Dan Serat Plastik Jenis Pet Sebagai Bahan Campuran Dalam Pembuatan Bata Beton (*Paving Block*) (Baharuddin, dkk, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh adanya penambahan bahan tambah campuran dengan menggunakan abu kelapa sawit dan serat pelastik PET terhadap kuat tekan. Dalam penelitian ini perbandingan semen dan pasir adalah 1:4 dan komposisi plastik plastic PET adalah 0,2% dari volume pasir serta komposisi dari abu kelapa sawit adalah 3%, 6%, 9% dari volume semen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*Paving Block*). Hasil uji nilai kuat tekan rata-rata dengan penambahan serat plastik PET (*Polyethylene terephthalate*) sebanyak 0% dan 0,2% serta abu kelapa sawit masing-masing dengan penambahan 0%, 3%, 6%, 9% berturut-turut ialah 14,77 Mpa, 16,1 Mpa, 16,63 Mpa, 17,6 Mpa. Berdasarkan hasil tersebut

maka *paving block* dengan adanya penambahan plastik jenis PET dan Abu Kelapa Sawit termasuk klasifikasi mutu C yang dapat digunakan untuk Pejalan Kaki.

5. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Alternatif Bahan Tambah Dalam Pembuatan *Paving Block* (Wiratno, dkk, 2020). Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan yaitu *Paving block* dengan prosentase 0% cangkang kelapa sawit menghasilkan kuat tekan terbesar. Kuat tekan *paving block* dengan prosentase 0%, 5%, 10%, 15% berturut-turut sebesar 8,08 MPa; 7,18 MPa; 6,46 MPa; 5,94 MPa. Serapan air terbesar dihasilkan oleh campuran dengan prosentase cangkang kelapa sawit 15%. Serapan air *paving block* dengan prosentase 0%, 5%, 10%, 15% berturut-turut sebesar 9,88%; 10,85%; 12,27%; 12,44%. Penambahan jumlah cangkang kelapa sawit dalam campuran berbanding lurus dengan serapan air namun berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan.

2.2 *Paving Block*

2.2.1 Definisi *Paving Block*

Paving block adalah suatu komposisi bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton (SNI 03-0691- 1996).

Paving Block atau sering disebut sebagai bata beton (*paving block*) merupakan bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternative penutup permukaan tanah. *paving block* biasanya digunakan untuk pengerasan dan memperindah halaman rumah, taman, trotoar jalan hingga jalanan kompleks perumahan.

Ketebalan *paving block* yang sering digunakan (*spesifications for Precast Concrete Paving Block*, 1980) yaitu:

1. Ketebalan 6 cm, digunakan untuk beban lalu lintas ringan yang frekuensinya terbatas, seperti pejalan kaki, sepeda motor.

2. Ketebalan 8 cm, digunakan untuk beban lalu lintas yang frekuensinya padat, seperti sedan, pick up, bus dan truk.
3. Ketebalan 10 cm atau lebih, digunakan untuk beban lalu lintas yang super berat seperti crane, loader.

2.2.2 Klasifikasi *Paving Block*

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

1. Klasifikasi

Bentuk *paving block* secara garis besar terbagi atas dua macam, yaitu:

a. *Paving block* segi banyak



Gambar 2.1 Jenis – jenis *paving block*

(Anonim, 2024 diakses pada <https://berita.99.co/block-paving-rumah/>)

b. Klasifikasi berdasarkan ketebalan *paving block* ada tiga macam, yaitu:

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

c. Klasifikasi berdasarkan warna

Warna yang tersedia dipasaran antara lain abu-abu, hitam, dan merah. *Paving block* yang berwarna kecuali menambah keindahan

juga dapat digunakan untuk memberi batas pada perkerasan seperti tempat parkir, tali air, dan lain-lain.

2.2.3 Mutu paving block

Adapun syarat yang harus diperhatikan dalam menentukan mutu paving block dimana harus memenuhi syarat (SNI-03-0691-1996) diantaranya sebagai berikut:

1. Sifat tampak

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

2. Ukuran

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

3. Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisika Bata Beton

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber: Bata beton (Paving block), SNI 03-0691-1996

Klasifikasi bata beton (*paving block*) berdasarkan pengaplikasiannya:

1. Paving block mutu A: digunakan untuk jalan
2. Paving block mutu B: digunakan untuk pelataran parkir
3. Paving block mutu C: digunakan untuk pejalan kaki
4. Paving block mutu D: digunakan untuk taman dan lainnya.

Menurut *British Standar Institution 6717 part I 1986* tentang *precast concrete paving block*. Persyaratan untuk *paving block* antara lain:

1. *Paving block* sebaiknya mempunyai ketebalan tidak kurang dari 60 mm
2. Ketebalan *paving block* yang baik yaitu 60 mm, 65 mm, 80 mm, dan 100mm
3. *Paving block* dengan bentuk persegi panjang sebaiknya mempunyai panjang 200 mm dan lebar 100 mm.
4. Lebar tali air yang terdapat pada badan *paving* sebaiknya lebih dari 7 mm
5. Teloransi dimensi pada *paving* yang diijinkan yaitu: Panjang ± 2 mm, lebar ± 2 mm dan tebal ± 3 mm

2.2.4 Material Penyusun *Paving Block*

1. Semen PCC

Semen merupakan bahan perekat kimia yang mengeraskan bahan campuran lainnya sehingga tahan lama dan kaku. Digunakan untuk merekatkan berbagai bahan bangunan seperti batu, bata, dan balok beton. Semen merupakan bahan penting dalam industri konstruksi, memungkinkan terciptanya struktur yang kuat dan kokoh. Dalam konstruksi, semen merupakan komponen utama dalam produksi beton, suatu material komposit yang terbuat dari semen dan agregat (seperti pasir, kerikil dan air. Semen bertindak

sebagai pengikat, menyatukan agregat dan membentuk massa padat ketika mengeras.

Ada berbagai jenis semen yang tersedia, antara lain semen Portland, semen Portland Pozzolan, dan semen pasangan bata, masing-masing dengan sifat dan kegunaannya masing-masing. Penggunaan semen dalam konstruksi bergantung pada parameter desain, persyaratan fungsional struktur, kondisi lingkungan, dan karakteristik ketahanan lokasi proyek biasanya digunakan untuk membuat beton dan mortar, yang penting dalam membangun fondasi, dinding, dan elemen struktural lainnya. Semen berperan penting dalam pembangunan infrastruktur dan berkontribusi terhadap pertumbuhan industri konstruksi.

Menurut SNI 15-7064-2004 maka definisi Semen Portland Komposit, adalah bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gyps dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain Terak Tanur Tinggi (*Blast Furnace Slag*), pozzolan, senyawa silicat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen Portland komposit.

2. *Nano Palm Oil Fuel Ash* (NPOFA)

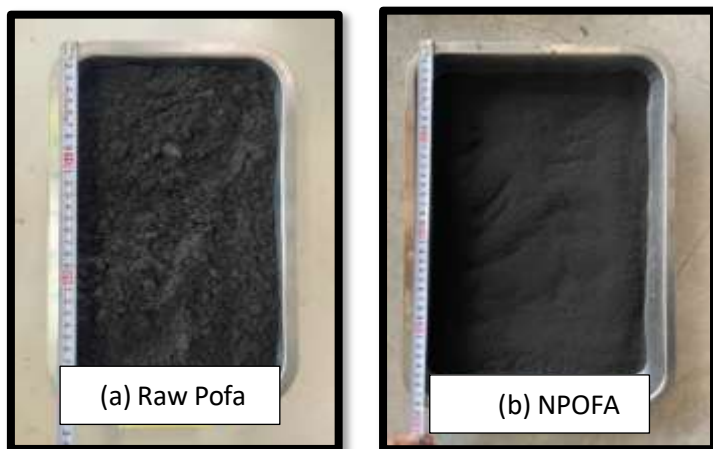
Nano Palm Oil Fuel Ash (NPOFA) telah muncul sebagai bahan tambahan yang menjanjikan dalam konstruksi, terutama dalam aplikasi semen. Sifatnya yang unik, yang berasal dari ukuran partikel yang halus dan kandungan silika yang tinggi, meningkatkan karakteristik mekanik dan daya tahan beton dan mortar. Bagian berikut ini merinci manfaat, aplikasi, dan tantangan yang terkait dengan NPOFA.

a. Sifat-sifat *Nano Palm Oil Fuel Ash* (NPOFA)

- 1) Ukuran dan Komposisi Partikel: NPOFA memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan abu bahan bakar

minyak kelapa sawit mikro, sehingga menghasilkan reaktivitas yang lebih baik dan kandungan silika yang lebih tinggi (Liew, dkk, 2023).

- 2) Kekuatan Mekanis: Memasukkan NPOFA dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan dan daya tahan beton, sehingga tidak terlalu rentan terhadap degradasi lingkungan, seperti serangan sulfat (Samadi, dkk, 2020).
- 3) Aplikasi dalam Konstruksi Penggantian Semen: NPOFA dapat menggantikan hingga 80% semen portland biasa dalam campuran mortar, sehingga menghasilkan praktik konstruksi yang berkelanjutan (Samadi, dkk, 2020).
- 4) Pemurnian Air: NPOFA dapat disintesis menjadi nanopartikel silika untuk digunakan dalam sistem pemurnian air, yang menunjukkan keserbagunaannya di luar konstruksi (Wardanu, dkk, 2024).
- 5) Tantangan dan Arah Masa Depan Kesenjangan Pengetahuan: Terlepas dari potensinya, masih ada kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut tentang persiapan dan optimalisasi NPOFA untuk berbagai aplikasi (Hamada, dkk, 2018).
- 6) Standardisasi: Menetapkan metode standar untuk pemrosesan dan pemanfaatan



Gambar 2.2 (a) *Raw Pofa* dan (b) *Nano Palm Oil Fuel Ash*

3. Agregat halus (Pasir)

Agregat halus adalah agregat yang semua partikelnya lolos melalui saringan yang diameter lubangnya 4,75 mm. Agregat halus banyak dijumpai pada sungai-sungai besar. Namun, untuk bahan bangunan, sebaiknya pilih agregat halus yang memenuhi kebutuhan Anda.

Pasir merupakan agregat halus dengan ukuran butiran antara 0,15 mm dan 5 mm. Pasir yang baik digunakan untuk pengecoran adalah pasir dengan kandungan lumpur yang sedikit. Pasir umumnya berasal dari kawah gunung dan aliran sungai. Besaran percepatan maksimum pasir yang ditetapkan adalah 4,7 mm sesuai standarisasi SNI 03-6820-2002. Tidak boleh lebih dari 5 mm.

Menurut SNI 03-6821-2002 terdapat beberapa persyaratan agregat halus yang harus dipenuhi sesuai standar prosedur, sebagai berikut:

- a. Pasir terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
 - b. Butir-butir halus bersifat kekal artinya tidak mudah lapuk.
 - c. pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10%.
 - d. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%. Apabila kadar lumpur lebih dari 5%, maka harus dicuci. Khususnya pasir untuk bahan pembuat beton.
- ### 4. Air

Air merupakan komponen penting dalam produksi beton. Air yang digunakan tidak boleh mengandung zat apapun, karena keberadaan zat lain dapat mempengaruhi proses hidrasi semen dan keawetan beton. Air yang banyak mengandung kotoran akan mempengaruhi proses pengawetan dan keawetan beton. Pada umumnya air yang digunakan untuk campuran beton adalah air yang dapat diminum. Jika air yang digunakan untuk campuran beton

mengandung senyawa berbahaya atau memiliki pH rendah akan mempengaruhi kekuatan beton itu sendiri.

2.2.5 Metode Pembuatan *Paving Block*

Masyarakat biasanya menggunakan 2 metode dalam cara pembuatan *paving block* metode yang digunakan, yaitu:

1. Metode konvensional

Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia dan lebih dikenal dengan metode Gobrokan. Cara tradisional pembuatan perkerasan jalan menggunakan peralatan batu dengan beban tekan yang mempengaruhi tenaga pekerja. Cara tradisional banyak digunakan oleh masyarakat dalam industri rumah tangga karena alatnya yang sederhana dan proses pembuatannya yang sederhana sehingga mudah digunakan oleh siapa saja. Semakin kuat orang yang melakukan pekerjaan tersebut, maka perkerasan yang dihasilkan akan semakin padat dan stabil. Dilihat dari cara pembuatannya, para pekerja akan cepat lelah karena kompresor ditekan terhadap campuran yang ada di cetakan untuk mengompresnya.

2. Metode mekanis

Metode mekanis biasa disebut metode pres dalam masyarakat. Cara ini masih sedikit digunakan, karena produksi *paving block* secara mekanis memerlukan peralatan yang relatif mahal. Metode mekanis biasanya memerlukan alat yang digunakan pada pabrik skala industri menengah atau besar. Produksi mekanis *paving block* dilakukan dengan mesin (peralatan pemadatan).

Dari kedua cara diatas terlihat adanya perbedaan pada cara pembuatan *Paving Block*, dan masing-masing cara mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

2.2.6 Perawatan *Paving Block*

Metode perawatan benda uji sesuai dengan SNI-2493-2011. Setelah pembuatan benda uji selesai, maka akan dilakukan perawatan dengan metode penyiraman seluruh permukaan *paving block* dengan menggunakan air tawar (*Freshwater*) dengan menyimpan *paving block* di tempat yang aman dan terhindar dari sinar matahari langsung akan memengaruhi kualitas *paving block*. Cara merawat *paving block* adalah dengan memercikkan air ke atasnya dan bukan merendamnya secara langsung ke dalam baskom sampai umur yang ingin dicapai dan Cara merawat *paving block* merendam secara langsung ke dalam baskom untuk perawatan *paving block* dengan perendaman acid.

2.2.7 Metode Pengujian Benda Uji

Pengujian yang akan dilakukan di laboratorium meliputi pengujian kuat tekan, daya serap air dan ketahanan acid pada *paving block*. Berikut penjelasan masing-masing pengujian:

1. Kuat tekan *paving block*

Kuat tekan *paving block* adalah beban yang dapat ditahan oleh *paving block* per satuan luas, dan hancurnya *paving block* akibat gaya tekan yang dihasilkan oleh pengepresan. Menurut (SNI-03-0691-1996), rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan adalah:

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

Dimana:

σ = Kuat tekan/kuat *paving block* (kg/cm²)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Kuat tekan rata-rata *paving block* didapat dari perhitungan jumlah kuat tekan *paving block* dibagi dengan jumlah sampel yang diuji. Umur benda uji yang akan di lakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari.

2. Daya Serap Air

Daya serap air adalah ukuran kemampuan suatu beton berpori (*reservoir*) untuk mengalir fluida permeabilitas berpengaruh terhadap besarnya kemampuan produksi (laju air) pada sumur-sumur penghasilnya.

Menurut SNI-03-0691-1996, dapat dikatakan baik apabila penyerapannya kurang dari 6%. Semakin besar mutu paving block maka akan semakin kecil persentase daya serap air. Besar persentase penyerapan air dapat dihitung dengan persamaan berikut menurut ASTM C642.

$$WA = \frac{(W_{ssd} - W_d)}{W_d} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimna:

WA = Daya Serap

W_{ssd} = Berat Kondisi SSD

W_d = Berat Kondisi Kering

3. Ketahanan Acid

Pada penelitian ketahanan acid mengacu pada ASTM-C1898-20 (*paving block*) Rumus yang digunakan untuk menghitung ketahanan acid seperti dengan rumus yang digunakan pada uji kuat tekan persamaan 2.1.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 642.(1997). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete C642-97*. ASTM International, March, 1–3.
- American Society For Testing And Materials (ASTM), C1898-20, Metode Uji Standar Ketahanan Acid, ASTM.
- AP, Wardanu., NS, Indrasti., -, Suprihatin. (2024). 3. *Green Synthesis of Silica Nanoparticles (Si-NPs) from Palm Oil Fuel Ash (POFA) and its Application to Purification Water: A Review*. IOP conference series, doi: 10.1088/1755-1315/1358/1/012015.
- Anggoro, Rulian Setyo, Mohammad Prasanto Bimantio, and Erista Adisetya. 2023. “Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Campuran Pada Pembuatan Paving Blok.” *Jurnal Online Mahasiswa INSTIPER* 1(3): 1984–91. <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/924>.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990. SNI 03-1968-1990, Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional 1996, SNI, 0.-0. 1. (1996). Batu Bata (Paving Block). Indonesia: SNI.
- Badan Standarisasi Nasional 1996, SNI 03-0691-1996. metode pengujian kuat tekan paving block, BSN
- Badan Standardisasi Nasional 1987, SNI 03-0028-1987 metode pengujian daya serap dan porositas.
- Badan Standardisasi Nasional 1996, SNI 03-0691-1996 paving block komposit.
- Badan Standar Nasional Indonesia, 27(5), 6889. SNI 03-6820-2002: Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen.

Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 2493:2011, Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2015. SNI 2049:2015, Semen Portland. Jakarta,

Baharuddin, Wahyudhie, Ery Budiman, and Mardewi Jamal. 2021. "Pemanfaatan Abu Kelapa Sawit Dan Serat Plastik Jenis PET Sebagai Bahan Campuran Dalam Pembuatan Bata Beton (*Paving Block*)."

JURNAL TEKNOLOGI SIPIL Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Sipil 5(1): 12–18.

British Standard BS 6717 : Part 1 : 1986 Precast Concrete Paving Blocks Part 1 Specification for Paving Blocks. British Standard Institution

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.

Dila, Oktarise, Dwina., Nazarudin, Nazarudin., Oki, Alfernando., Dyah, Kumalasari., Tia, Nofrina. (2022). 2. Pengolahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) dan Semen Sebagai Material Alternatif Timbunan Pilihan Jalan Untuk Perbaikan Infrastruktur Jalan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, doi: 10.36055/fondasi.v0i0.13734.

Hamada, H., Tayeh, B., Yahaya, F., Muthusamy, K., & Al-Attar, A. (2020). *Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete. Construction and Building Materials*, 261, 119790.

Hussein, M., Hamada., Gul, Ahmed, Jokhio., Fadzil, Mat, Yahaya., Ali, M., Humada. (2018). 5. *Applications of Nano palm oil fuel ash and Nano fly ash in concrete*. doi: 10.1088/1757-899X/342/1/012068.

Method, S. T. (2000). *iTeh Standards iTeh Standards Document Preview*. 08(Reapproved 1989), 3–4. <https://doi.org/10.1520/C1709-18>.

Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., & Astuti, P. (2021, February). "Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride

Contaminated Mortar.” Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020) 199(ICoSITEA 2020): 60–63.

Patah, D. and 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).

Rawaid, dkk, (2012). *Reduction in Environmental Problems Using Rice-husk Ash in Concrete*. *University of Engineering and Technology*, Pakistan.

Ridhayani, I., Dasar, A., Mahmuda, A.F., Manaf, A. and Patah, D., 2023. PERBANDINGAN KINERJA BATA BETON MENGGUNAKAN ABU CANGKANG SAWIT, ABU SEKAM PADI DAN ABU SERAT SAGU. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), pp.241-248.

Samadi dkk, (2020). Peningkatan kinerja mortar hijau berbahan dasar abu minyak sawit nano terhadap lingkungan sulfat. *Jurnal teknik bangunan*, 32:101640-. doi: 10.1016/J.JOBE.2020.101640,

Standar SK SNI T-04-1990-F: Tata Cara Pemasangan Blok Beton Terkunci Untuk Permukaan Jalan.

SNI 03-1971-1990. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat.

SNI 03-6821-2002: Spesifikasi Agregat Ringan untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding.

SNI 2493-2011 Mengenai Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium

Specimens, C. T., & Cores, T. D. (2017). *iTeh Standards Document Preview iTeh Standards Document Preview*. i, 4–6.

SNI 15-2049-2004. 2004. Tentang sement portland. Bandung : Badan Standarisasi Nasional.

- Syarif, Harriad Akbar. 2022. “Kuat Tekan Dan Absorpsi *Paving Block* Geopolimer Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) Menggunakan Tambahan Semen Tipe 1 (Ordinary Portland Cement) Dengan Air Gambut.” *Aptek* 14(1): 33–38.
- Syarif, Harriad Akbar, Danang Saputra, and Khairul Fahmi. 2022. “Analisis Penerapan Penggunaan *Paving Block* Geopolimer Abu Sawit Dengan Tambahan *Ordinary Portland Cement* (OPC) Dan *Portland Composite Cement* (PCC) Di Lahan Gambut Yang Berbasis Eco-Green.” *Aptek* 14(2): 144–51.
- Tang, W. Le, Lee, H. S., Vimonsatit, V., Htut, T., Singh, J. K., Hassan, W. N. F. W., Ismail, M. A., Seikh, A. H., & Alharthi, N. (2019). *Optimization of micro and nano palm oil fuel ash to determine the carbonation resistance of the concrete in accelerated condition. Materials*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/ma12010130>.
- Wiratno, Samuel Layang, and Wandara Prima Pera. 2020. “PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN TAMBAH DALAM PEMBUATAN PAVBioIngenieurswetenschappen, FaculteitING BLOCK.” *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan* 8(1): 30–35.
- Y.X., Liew., S.I., Doh., S., C., Chin. (2023). *A comprehensive review on the impact of micro and nano palm oil fuel ash in cementitious material*. doi: 10.1016/j.matpr.2023.10.037.