

SKRIPSI

**EFEKTIVITAS PENGGANTI SEMEN DENGAN NANO-RHA DAN
PENGUNAAN AIR LAUT SEBAGAI MEDIA PERAWATAN
PADA *PAVING BLOCK***

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



Disusun oleh :

MUH. RISKI

D0121026

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

EFEKTIVITAS PENGGANTI SEMEN DENGAN NANO-RHA DAN PENGUNAAN AIR LAUT SEBAGAI MEDIA PERAWATAN PADA PAVING BLOCK

SKRIPSI

Oleh

MUH.RISKI

NIM: D0121026

(Jurusan Sarjana Teknik Sipil)

Universitas Sulawesi Barat

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal 09 April 2025

Mengetahui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2



Dr. Eng. Ir. Dahlia Patah, S.T., M.Eng.

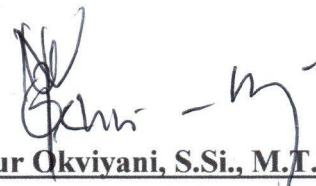
NIP. 198608252015042001

Ketua Jurusan



Amalia Nurdin, S.T., M.T.

NIP. 198712122019032017



Nur Okviyani, S.Si., M.T.

NIP. 199010222022032012

Dekan Fakultas Teknik



Dr.Ir. Hafsa Nirwana, M.T.

NIP. 196404051990032002

ABSTRAK

Efektivitas Pengganti Semen dengan Nano-RHA dan Penggunaan Air Laut sebagai Media Perawatan Pada *Paving Block*

Muh Riski

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

Muh.riski2112@gmail.com

Paving block adalah material konstruksi yang digunakan sebagai penutup permukaan tanah, menggantikan aspal atau cor beton konvensional. Penelitian ini mengkaji penggunaan abu sekam padi lolos saringan No.200 (*nano rice husk ash*) sebagai bahan pengganti semen. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan variasi 0% (N-TW), 10% (A-NRHA-SW-SW), dan 20% (B-NRHA-SW-SW). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28, dan 56 hari, pengujian daya serap air dilakukan pada umur 28 dan 56 hari, kemudian pengujian ketahanan asam pada umur 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tekan pada *paving block* normal (N-TW) pada umur 56 hari sebesar 22,55 MPa, dibandingkan penurunan nilai kuat tekan dengan *paving block* yang menggunakan abu sekam padi dengan kuat tekan optimum pada umur 56 hari variasi 10% sebesar 19,04 MPa yang masuk Mutu B. dan terjadi peningkatan persentase nilai porositas dengan penggunaan abu sekam padi sebagai bahan ganti semen, dibandingkan dengan *paving block* normal yang mengalami penurunan persentase nilai porositas. Kemudian, setelah pemberian larutan asam dan dilakukan uji kuat tekan pada umur 28 hari, menunjukkan penurunan nilai kuat tekan yang signifikan, terutama pada tipe A-NRHA-SW-SW variasi 10%, penurunan kuat tekannya sebesar 12,14% yang sangat mempengaruhi kualitas *paving block*.

Kata Kunci: *Paving Block*, Nano-RHA, Air Laut, Efektivitas, Media Perawatan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambah lainnya (SNI 03-0691-1996). *Paving block* merupakan salah satu bahan bangunan yang digunakan sebagai lapisan atas struktur jalan. Saat ini masyarakat lebih memilih *paving block* sebagai perkerasan jalan di daerah perumahan. Meningkatnya minat masyarakat terhadap *paving block* karena memiliki banyak kelebihan dan keuntungan baik dari segi kekuatan, kemudahan pembuatan maupun pelaksanaan pemasangannya.

Paving block memiliki beberapa keuntungan yaitu, tahan lama dan harganya terjangkau. Kerusakan *paving block* disebabkan oleh beberapa hal, misalnya mutu bahan susun yang tidak memenuhi syarat, pengaruh gerusan air hujan, banyaknya lintasan roda kendaraan yang melebihi ketahanan dan akibatnya dapat menyebabkan kerusakan pada *paving block*. Perkembangan penelitian pada *paving block*, mengarah pada peningkatan mutu dengan menggunakan alternatif bahan pengganti. Bahan alternatif dengan menggunakan limbah pertanian contohnya, fly ash diteliti oleh (pangestuti dkk., 2024), abu cangkang sawit, abu sekam padi, dan abu serat sagu diteliti oleh (Patah dkk., 2023), terdapat pula cangkang kemiri yang diteliti oleh (Patah dkk., 2024).

Pada sektor konstruksi yang terus berkembang pesat, permintaan *paving block* terus meningkat, sehingga kebutuhan bahan campuran *paving block* seperti semen, pasir dan abu batu juga mengalami peningkatan. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan ini adalah dengan memanfaatkan limbah lokal yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen, pasir, dan abu batu yang telah memenuhi spesifikasi setelah melalui pengujian pada bahan pengganti tersebut.

Abu sekam padi adalah limbah dari pengolahan padi menjadi beras. Jika sekam padi dibakar, akan dihasilkan abu sekam padi yang menumpuk dan

mencemari lingkungan, terutama di daerah wonomulyo dimana banyak masyarakat membuat batu bata. Untuk mengatasi masalah ini, abu sekam padi bisa dimanfaatkan sebagai substitusi sebagai bahan pengganti semen dalam pembuatan *paving block*. Ini tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga memberikan nilai ekonomis.

Sekalipun penggunaan air untuk *paving block* tidak sebesar pada beton, kebutuhan air untuk pencampuran dan perawatan *paving block* tetap memberikan kontribusi terhadap penggunaan air industri yang cukup besar, terutama di daerah-daerah yang kekurangan air. Mengingat keterbatasan ketersediaan air tawar, penggunaan air laut sebagai pengganti air tawar dalam pencampuran beton menunjukkan potensi manfaat, terutama di daerah pesisir, pulau-pulau, dan wilayah gurun yang menghadapi kelangkaan air (Dasar dkk., 2024).

Maka dari itu, penelitian ini dibutuhkan untuk mengetahui bagaimana efektivitas pengganti semen dengan menggunakan abu sekam padi (*Rice husk ash*) yang lolos pada saringan No.200 (nano-RHA) dan penggunaan air laut sebagai media perawatan pada *paving block*. Hasil dari penelitian ini diharapkan mendorong pemanfaatan material konstruksi yang ramah lingkungan (*eco-material*) dan berkelanjutan (*sustainable*). Selain itu, hasil dari penelitian ini dapat menjadi referensi keberlanjutan inovasi-inovasi alternatif material konstruksi yang dapat dimanfaatkan seperti *paving block*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perbandingan nilai kuat tekan antara *paving block* variasi normal pencampuran sekaligus perawatan air tawar dengan *paving block* yang menggunakan Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen yang lolos saringan No.200 (Nano-RHA) variasi 10% dan 20% dengan pencampuran dan perawatan air laut pada umur 7, 28, dan 56 hari?
- b. Bagaimana perbandingan nilai porositas antara *paving block* variasi normal pencampuran sekaligus perawatan air tawar dengan *paving block* yang

menggunakan Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti semen yang lolos saringan No.200 (Nano-RHA) variasi 10% dan 20% dengan pencampuran dan perawatan air laut pada umur 28 dan 56 hari?

- c. Bagaimana pengaruh pemberian larutan asam pada *paving block* yang menggunakan Abu Sekam Padi (ASP) variasi 0%, 10% dan 20% sebagai bahan pengganti semen setelah 28 hari perendaman?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Membandingkan kuat tekan *paving block* normal dengan yang menggunakan Nano-RHA 10% dan 20%, dicampur dan dirawat dalam air tawar dan air laut pada umur 7, 28, dan 56 hari.
- b. Membandingkan porositas *paving block* normal dengan yang menggunakan Nano-RHA 10% dan 20%, dicampur dan dirawat dalam air dan air laut pada umur 28 dan 56 hari.
- d. Mengetahui pengaruh larutan asam pada *paving block* dengan Nano-RHA 0%, 10%, dan 20% setelah 28 hari perendaman.

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:

- a. Semen yang digunakan adalah *Cement Portland Composit* (PCC) tipe 1.
- b. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Kecamatan Mapilli, Kabupaten Polewali Mandar. Agregat halus (pasir) yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm).
- c. Agregat kasar (kerikil) yang digunakan berasal dari Kecamatan Duampanua, Kabupaten Pinrang, yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) dengan tertahan saringan N0.4 (4,75 mm).
- d. Bahan pengganti semen yang digunakan adalah Abu Sekam Padi (ASP) yang diambil dari Desa Arjosari, Kecamatan Wonomulyo, Kabupaten Polewali Mandar yang lolos saringan No.200, dengan persentase 0% dan 20% dan 30%.

- e. Air laut (*sea water*) yang digunakan diambil dari Kecamatan Banggae, Kabupaten Majene. Air laut digunakan sebagai bahan pencampuran sekaligus bahan perawatan pada *paving block*.
- f. Air tawar (*fresh water*) yang digunakan diambil dari Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat. Air tawar digunakan sebagai bahan pencampuran pada variasi normal.
- g. Target FAS (Faktor Air Semen) maksimal 0,38.
- h. Benda uji berukuran panjang 20 cm x lebar 10 cm x tinggi 8 cm.
- i. Pengujian kuat tekan berdasarkan (SNI 03-0691-1996) dilakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari dengan jumlah *paving block* sebanyak 15 sampel.
- j. Pengujian porositas berdasarkan (SNI 03-0691-1989) dilakukan pada umur 28 dan 56 hari dengan jumlah *paving block* sebanyak 15 sampel.
- k. Pengujian *acid resistance* berdasarkan ASTM-C1898-20 dilakukan pada umur 56 hari setelah 28 hari perendaman dengan jumlah *paving block* sebanyak 15 sampel.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah memberikan masukan tentang pengaruh kuat tekan, porositas dan ketahanan asam pada *paving block* dengan variasi abu sekam padi 0%, 10%, dan 20% yang digunakan sebagai bahan pengganti semen.
- b. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya khususnya di bidang ketekniksipilan.

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 air laut terhadap kuat tekan *paving block* sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis sedikit berbeda dari peneliti terdahulu mulai dari bentuk perawatan yang digunakan, persentase material yang digunakan, bentuk cetakan dan material pengganti yaitu abu sekam padi. Selain itu fokus dari peneliti adalah efektivitas pengganti semen dengan Nano-RHA dan penggunaan air laut sebagai media perawatan pada *paving block*.

- a. (Dasar, dkk., 2024). *Pengaruh Air Laut Pada Kualitas Paving Block untuk Aplikasi Non- Struktural*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan air laut sebagai alternatif pengganti air tawar dalam proses pembuatan dan perawatan *paving block*. Metode penelitian melibatkan empat jenis campuran paving block: AT-AT (pencampuran dan perawatan dengan air tawar), AT-AL (pencampuran dengan air tawar dan perawatan dengan air laut), AL-AT (pencampuran dengan air laut dan perawatan dengan air tawar), dan AL-AL (pencampuran dan perawatan dengan air laut). Pengujian dilakukan pada umur benda uji 28 dan 91 hari untuk mengevaluasi kuat tekan, daya serap air, porositas, ketahanan terhadap larutan asam, dan nilai resistivitas listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AT-AT pada umur 28 hari memiliki kualitas terbaik dengan kuat tekan tertinggi 18.29 MPa, porositas 8.26%, dan daya serap air terendah 3.60%, serta ketahanan optimal terhadap lingkungan asam dengan kuat tekan 17.30 MPa dan potensi degradasi rendah. Campuran AL-AT juga menunjukkan performa baik dengan electrical resistivity tinggi dan penurunan porositas signifikan, menjadikannya layak untuk aplikasi di wilayah pesisir.

- b. (Bitu & Dhani, 2022). *Analisa Penambahan Limbah Abu Sekam Padi Asal Kelurahan Ngari-Kari Kecamatan Bungi Kota Bau-Bau Pada Pembuatan Paving Block*. Dari hasil pengujian karakteristik kuat tekan dengan penambahan abu sekam padi maka, klasifikasi untuk *paving block* ini masih memenuhi persyaratan mutu SNI untuk standar kuat tekan 100 kg/cm², sesuai dengan peruntukannya bagi taman kota dan pejalan kaki. Serta serapan air *paving block* dengan penambahan 5-10% abu sekam padi tidak dapat mengurangi penyerapan air paving normal (tanpa penambahan abu sekam padi). Penyerapan air *paving block* yang dihasilkan dengan menggunakan bahan tambah abu sekam padi sampai 10% dari berat semen rata-rata sebesar 10,04% tergolong dalam mutu IV (Taman Kota) sesuai SNI-03-0691-1996 dengan batas bawah penyerapan air sebesar 10%.
- c. (Putra, 2024). *Pemanfaatan Air Laut dalam Pembuatan Paving Block untuk Parkiran*. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan air laut (umur 91 hari) sebesar 18,13 MPa tipe A-PM-AL, sedangkan pada penggunaan air tawar sebesar 17,65 MPa tipe B-PM-AT. Untuk nilai optimum pada pembuatan paving block dengan menggunakan air laut terdapat pada sampel tipe A-PM-AL sebesar 18,13 MPa (mutu B) untuk parkiran. Pada umur 91 hari nilai daya serap air dan porositas pada penggunaan air laut dalam pembuatan paving block rata-rata terendah berturut-turut sebesar 6,26% dan 12,52% tipe A-PM-AL, sedangkan pada penggunaan air tawar dalam pembuatan paving block berturut-turut sebesar 6,58% dan 11,88% A-PM-AT. Pada pengujian ketahanan acid diperoleh benda uji yang berisiko mengalami kerusakan paling rendah terdapat pada tipe sampel APM-AL dengan kuat tekan rata-rata sebesar 17,90 MPa (mutu B) untuk parkiran. Maka tipe sampel A-PM-AL cocok untuk daerah yang lembap (basah).
- d. (Trianto, 2021). *Pengaruh Bentuk dan Ukuran Paving Block Terhadap Faktor Koreksi Kuat Tekan*. Pada penelitian ini variasi Mix design paving block menggunakan benda uji dengan perbandingan semen terhadap pasir 1 semen : 3 pasir, 1 semen : 4 pasir, 1 semen : 5 pasir. Penelitian ini mendapatkan hasil

nilai nilai kuat tekan pada benda uji 20x10x7 cm, 73 cm, 53 cm, dan 5x5x10 cm. secara berurutan 20.03 MPa, 15.917 MPa, 12.35 MPa, dan 10.17 MPa pada campuran 1:3. 17.570 MPa, 15.09 Mpa, 11.202 Mpa dan 9.493 Mpa pada campuran 1:4 dan 20.03 Mpa, 15.917 Mpa, 12.35 Mpa, dan 10.17 Mpa pada campuran 1:3.

- e. (Apriansyah dkk., 2022). *Paving Block Abu Sekam Padi untuk Infrastruktur Desa dan Pesisir Sulawesi Barat*. Penelitian ini menguji nilai kuat tekan paving block dengan variasi abu sekam padi 5%,10% dan 15% untuk mengetahui komposisi material semen dan abu sekam padi yang menghasilkan nilai kuat tekan optimal pada paving block. Metode penelitian yang digunakan adalah metode ekperimental dengan pembuatan sampel sesuai dengan tabel mutu kuat tekan paving block pada SNI 03-0691-1996. Hasil yang diperoleh dari penelitian didapatkan nilai kuat tekan paving block pada umur 28 hari dengan variasi ASP 0% sebesar 16,37 Mpa, masuk kedalam mutu paving block kelas C, variasi ASP 5% sebesar 8,99 Mpa dan variasi ASP 10% sebesar 11,43 Mpa, masuk kedalam mutu paving block kelas D dan variasi ASP 15% sebesar 4,95 Mpa, tidak memenuhi syarat. Komposisi material semen dan abu sekam padi yang meghasilkan nilai kuat tekan optimal adalah paving block variasi ASP 10% dengan komposisi semen 90% dan abu sekam padi 10%.

2.2 Paving Block

2.2.1 Definisi paving block

Paving block adalah salah satu produk konstruksi yang biasa digunakan untuk perkerasan jalan, halaman rumah, taman kota, parkir trotoar dan lainnya. Dalam pembuatan, bata beton (*paving block*) suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland, air dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton. Menurut SNI 03-0691-1996.

Paving block mulai dikenal dan dipakai di Indonesia terhitung sejak tahun 1977/1978. *Paving block* sendiri mempunyai beberapa variasi bentuk untuk memenuhi selera pemakai. Penggunaan *paving block* ini disesuaikan dengan tingkat kebutuhan, misalnya saja digunakan sebagai tempat parkir, taman kota, terminal, jalan setapak dan juga perkerasan jalan di kompleks-kompleks perumahan serta untuk keperluan lain. *Paving block* merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. *Paving block* dikenal juga dengan sebutan bata beton (*concrete block*) atau *paving block (cone block)*.

Sebagai bahan penutup dan pengerasan permukaan tanah, *paving block* sangat luas penggunaannya untuk berbagai keperluan, mulai dari keperluan yang sederhana sampai penggunaan yang memerlukan spesifikasi khusus. *Paving block* dapat digunakan untuk pengerasan dan memperindah trotoar jalan di kota-kota, pengerasan jalan di kompleks perumahan atau kawasan permukiman, memperindah taman, pekarangan dan halaman rumah, pengerasan areal parkir, areal perkantoran, pabrik, taman dan halaman sekolah, serta di kawasan hotel dan restoran syarat dan mutu *paving block*.

Ketebalan *paving block* yang sering di gunakan (*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*, *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:

a. Klasifikasi berdasarkan bentuk

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

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

b. Klasifikasi berdasarkan ketebalannya

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 kekuatan

Pembagian kelas *paving block* berdasarkan mutu betonnya adalah:

- 1) *Paving block* dengan mutu beton f_c 37,35 Mpa
- 2) *Paving block* dengan mutu beton f_c 27,00 Mpa

d. Klasifikasi berdasarkan warna

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

2.2.3 Syarat dan mutu *paving block*

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

a. Sifat tampak

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

b. Ukuran

Bata beton (*paving block*) harus mempunyai tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

c. Sifat fisika

Bata beton (*paving block*) harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisika *Paving Block*

Mutu	Kuat tekan (mpa)		Kekuatan 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*):

- a. *Paving block* mutu A :Digunakan untuk jalan
- b. *Paving block* mutu B :Digunakan untuk pelataran parkir
- c. *paving block* mutu C :Digunakan untuk pejalan kaki
- d. *paving block* mutu D :Digunakan untuk taman dan lainnya

Menurut *British Standar Instituion 6717* part I 1986 tentang *Precast Concrete Paving Block*. Persyaratan untuk *paving block* antara lain:

- a. *paving block* sebaiknya mempunyai ketebalan tidak kurang dari 60 mm
- b. Ketebalan *paving block* yang baik yaitu 60 mm, 65 mm, 80 mm, dan 100 mm.
- c. *Paving block* dengan bentuk persegi Panjang sebaiknya mempunyai panjang 200 mm dan lebar 100 mm.
- d. Lebar tali air yang terdapat pada badan *paving* sebaiknya lebih dari 7 mm
- e. Toleransi dimensi pada *paving block* yang diijinkan yaitu:
 - 1) Panjang ± 2 mm.
 - 2) Lebar ± 2 mm.
 - 3) Tebal ± 3 mm.

2.2.4 Material penyusun *paving block*

Material yang digunakan dalam pembuatan *paving block* diantaranya adalah semen Portland dan agregat halus (pasir), hanya saja dalam penelitian ini ditambahkan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) sebagai pengganti sebagian semen. Bahan penyusun *paving block* diantaranya adalah:

a. Semen Portland

Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih, bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling Bersama-sama dengan bahan utamanya. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Semen yang digunakan di Indonesia syarat SII.0013-81 dan sesuai dengan (SNI-15-2049-1994).

Portland cement (PC) atau lebih dikenal dengan semen berfungsi membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut. Adapun sifat-sifat semen (Mona khoirunnisah 2015) adalah sebagai berikut:

1) Sifat kimia

Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah, dan bilamana kurang sempurna pembakarannya, menyebabkan ikatan yang cepat.

2) Sifat fisika

Sifat fisika semen diantaranya adalah:

a) Kehalusan butir

Semakin halus semen, maka permukaan butirannya akan semakin luas, sehingga persenyawaannya dengan air akan semakin sepat dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar pula. Pada umumnya

semen memiliki kehalusan sedemikian rupa sehingga kurang lebih 80% dari butirannya dapat menembus ayakan 44 mikron. Makin halus butiran semen, makin cepat pula persenyawaannya. Makin halus butiran semen, maka luas permukaan butir untuk suatu jumlah berat semen akan menjadi lebih besar. makin besar luas permukaan butir ini, makin banyak pula air yang dibutuhkan bagi persenyawaannya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menentukan kehalusan butir semen. Cara yang paling sederhana dan mudah dilakukan ialah dengan mengayaknya.

b) Berat jenis

Berat jenis dari bubuk semen pada umumnya berkisar antara 3,10 sampai 3,30. Biasanya rata-rata berat jenis ditentukan 3,15. Berat jenis semen penting untuk di ketahui, karena semen Portland yang tidak sempurna pembakarannya dan atau dicampur dengan bubuk batuan lainnya, berat jenisnya akan terlihat lebih rendah dari pada angka tersebut. Untuk mengukur baik atau tidaknya atau tercampur tidaknya suatu bubuk semen dengan bahan lain, dipakai angka berat jenis 3,00. dengan demikian jika kita menguji semen dan hasilnya menunjukkan bahwa berat jenisnya kurang dari 3,00 kemungkinan semen itu tercampur dengan bahan lain (tidak murni) atau Sebagian semen itu telah mengeras.

c) Waktu pengerasan semen

Pada pengerasan semen dikenal dengan adanya waktu pengikatan awal (initial setting) dan waktu pengikatan awal dihitung sejak semen tercampur dengan air hingga mengeras. Pengikatan awal untuk semua jenis semen harus diantara 60-120 menit.

d) Kekekalan bentuk

Pasta semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk.

e) Pengaruh suhu

Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 35°C dan berjalan dengan lambat pada suhu dibawah 15°C.

b. Agregat halus

Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran *paving block* sehingga dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat/semen. Pasir adalah salah satu dari bahan campuran beton yang diklasifikasikan sebagai agregat halus. Yang dimaksud dengan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.8 dan tertahan pada saringan no.200. pasir merupakan bahan tambahan yang tidak bekerja aktif dalam proses pengerasan, walaupun demikian kualitas pasir sangat berpengaruh pada beton. Mutu dari agregat halus ini sangat menentukan mutu *paving block* yang dihasilkan.

Syarat-syarat agregat halus (pasir) dalam (Mona khoirunnisah 2015) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

- 1) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tertinggal diatas ayakan No.200 dan terdiri dari butiran tajam dan kerja modulus kehalusan antara 1,5-3,8
- 2) Kadar lumpur / bagian butir yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5%. dari berat kering, jika kadar lumpur lebih dari 5% maka pasir harus di cuci.
- 3) Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan pencampuran agregat halus dengan larutan natrium sulfat (Na_2SO_4) 3%, jika di bandingkan dengan warna standar atau perbandingan tidak lebih tua dari pada warna standar.
- 4) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan atau zat yang sifatnya merusak beton, termasuk yang menimbulkan karat pada tulangan (PBBI 1971)

- 5) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur 5% yang dimaksud lumpur adalah bagian yang lolos saringan no.200 mm. apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus dicuci.
- 6) Berat jenis agregat halus dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus (pasir).
- 7) Gradasi pasir adalah distribusi ukuran butir pasir. Bila butir-butir pasir mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukurannya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butirannya yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi lebih sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi. Susunan ayakan pasir yang dipakai adalah 9,60; 4,80; 2,40; 1,20; 0,60; 0,30; dan 0,15 mm. Hasil yang diperoleh dari pemeriksaan gradasi pasir berupa modulus halus butir (mhb) dan tingkat kekasaran pasir. Mhb menunjukkan ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat yang dihitung dari jumlah persentase kumulatif butiran yang tertahan dibagi 100. Semakin kecil nilai mhb menunjukkan semakin halus atau kecil butir-butir agregatnya. Sebagaimana ditentukan sesuai (SNI-03-2834-2000) tampak pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Gradasi agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase berat butir yang lolos saringan			
	Zona I (Pasir kasar)	Zona II (Pasir sedang)	Zona III (Pasir agak halus)	Zona IV (Pasir halus)
9,60	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	85-100	85-100	95-100
1,20	30-70	75-100	75-100	90-100
0,60	15-34	60-79	60-79	80-100
0,30	5-20	12-40	12-40	15-50
0,15	0-10	0-40	0-10	0-15

Sumber : Tabel gradasi halus (SNI-03-2834-2000)

c. Agregat kasar

Sesuai SNI 1969-2008, kerikil sebagai hasil disintegrasi 40 mm (No. 1 ½ inci). Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,75 mm (Saringan No.4). Berat jenis dapat dinyatakan dengan berat jenis curah kering, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan atau berat jenis semu. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan) dan penyerapan air berdasarkan pada kondisi setelah (24+4) jam direndam di dalam air.

Agregat yang diambil dari bawah muka air tanah akan memiliki penyerapan yang lebih besar apabila digunakan, bila tidak dibiarkan mengering. Sebaliknya, beberapa jenis agregat apabila digunakan mungkin saja mengandung kadar air yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kondisi terendam selama (24+4) jam. Untuk agregat yang telah kontak dengan air dan terdapat air bebas pada permukaan partikelnya, persentase air bebasnya dapat ditentukan dengan mengurangi penyerapan dari kadar air total yang ditentukan dengan cara uji AASHTO T 255. Pada penelitian ini, digunakan kerikil yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) dengan tertahan saringan no.4 (4,75 mm).

Berikut tabel 2.3 ketentuan gradasi agregat kasar berdasarkan SNI-03-2834-2000.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir yang Lolos Saringan		
	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
75,0			100-100
37,5		100-100	95-100
19,0	100-100	95-100	35-70
9,5	50-85	30-60	10-40
4,75	0-10	0-10	0-5

Sumber: Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000)

d. Air tawar

Fungsi air pada campuran *paving block* adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlansungnya proses pengikatan. Persyaratan air sesuai dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah sebagai berikut:

- 1) Tidak mengandung lumpur (atau benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organic, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- 3) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0.5 gram/liter.
- 4) Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Pemakaian air pada pembuatan campuran harus pas karena pemakaian air yang terlalu berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai dan hal tersebut akan mengurangi kekuatan *paving block* yang di hasilkan. Sedangkan terlalu sedikit air akan menyebabkan proses hidrasi 15 tidak tercapai seluruhnya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan *paving block* yang dihasilkan.

e. Air laut

Fungsi air laut pada campuran *paving block* adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlansungnya proses pengikatan. Air laut mengandung 3,5% garam pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang. Dikarenakan banyak jurnal yang membahas tentang pencampuran dan perawatan air laut yang menghasilkan kuat tekan lebih baik.

f. Abu sekam padi

Menurut Badan Pusat statistika (2021) luas panen di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 10,66 juta hectare, di mana total produksi padi pada tahun 2020 mencapai 54,65 juta ton GKG (Gabah Kering Gilingan). Sekam padi dihasilkan dari limbah padi yang kemudian digunakan masyarakat sebagai bahan untuk membakar batu bata, dari proses tersebut akan menghasilkan

produk samping yaitu limbah abu sekam padi. Material ini juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada *paving block* karena kandungan silikannya yang sangat besar. Selain itu juga bisa memberikan nilai ekonomis terhadap abu sekam padi dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Komposisi kimia yang terkandung dalam abu sekam padi adalah seperti pada tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.4 komposisi kimia abu sekam padi (%)

Bahan	Temperature				
	Origin (%)	400° (%)	600° (%)	700° (%)	1000° (%)
SiO ₂	88.01	88.05	88.67	92.15	95.48
MgO	1.17	1.13	0.84	0.51	0.50
SO ₃	1.12	0.83	0.81	0.79	0.09
CaO	2.56	2.02	1.73	1.60	1.16
K ₂ O	5.26	6.48	6.41	3.94	11.28
NaO ₂	0.79	0.76	1.09	0.99	0.73
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.29	0.74	0.46	0.00	0.43

Sumber : Hwang, C.L.,(2002)

2.2.5 Metode pembuatan *paving block*

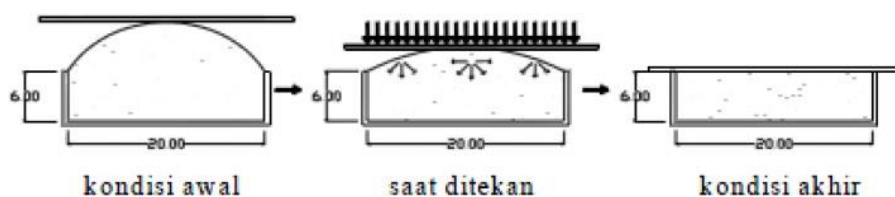
Masyarakat biasanya menggunakan 2 metode dalam cara pembuatan *paving block* metode yang digunakan, yaitu:

a. Metode konvensional

Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Cara konvensional dalam pembuatan *paving block* dilakukan dengan menggunakan alat geblokan/plat tebal dengan beban pemadatan yang berpengaruh terhadap tenaga pekerjanya. Metode konvensional banyak digunakan oleh masyarakat sebagai *industry* rumah tangga karena selain alat yang digunakan sederhana, juga mudah dalam proses

pembuatannya sehingga dapat digunakan oleh siapa saja semakin kuat tenaga orang yang mengerjakan maka akan semakin padat dan kuat *paving block* yang dihasilkan.

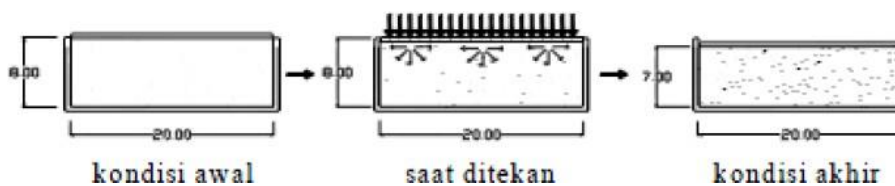
Dilihat dari cara pembuatannya, akan mengakibatkan pekerja cepat kelelahan karena proses pemadatan dilakukan dengan menghantam alat pemadat pada adukan yang berada dalam cetakan.



Gambar 2.1 Metode Konvensional (Fardzanella suwarto dkk.,2020)

b. Metode mekanisme

Metode mekanis didalam masyarakat biasanya disebut metode press. Metode ini masih jarang digunakan karena untuk pembuatan *paving block* dengan metode mekanis membutuhkan alat yang relatif mahal. Metode mekanis biasanya membutuhkan alat yang digunakan oleh pabrik dengan skala industry sedang atau besar. Pembuatan *paving block* cara mekanis dilakukan dengan menggunakan mesin (*compression apparatus*).



Gambar 2.2 Metode Mekanis (Fardzanella Suwarto dkk., 2020)

2.2.6 Perawatan *paving block*

Metode perawatan benda uji mengacu pada SNI-2493-2011. Setelah pembuatan sampel benda uji selesai, maka akan dilakukan perawatan (*curing*) dengan metode penyiraman seluruh permukaan *paving block* dengan menggunakan air tawar (*fresh water*) dan air laut (*sea water*). Selain itu

digunakan pula perawatan dengan menggunakan larutan asam (*acid*). Hal ini juga tercantum dalam SNI 03-0691-1996 yang membahas tentang uji ketahanan asam pada *paving block*. Larutan yang digunakan dalam uji ketahanan asam adalah larutan H₂SO₄. Perawatan menggunakan *acid* juga telah diteliti oleh Samuel (2022) dalam skripsi yang berjudul *Pengaruh Perendaman Natrium Sulfat Terhadap Perilaku Mekanik Paving Block*, yang mengemukakan bahwa serangan sulfat pada beton akan terjadi ketika larutan sulfat menembus dan bereaksi dengan beton, terutama dengan semen.

Dengan demikian, faktor yang mempengaruhi ketahanan beton terhadap sulfat tidak hanya pada apa yang mempengaruhi reaksi kimia dengan senyawa pada semen, tetapi juga pada apa yang mempengaruhi permeabilitas dan kualitas keseluruhan dari beton. Hasil penelitian menunjukkan berat volume pada *paving block curing* asam sulfat dan udara yang dimulai dari siklus perendaman 1 hari sampai dengan siklus perendaman 16 hari dan siklus udara 1 hari sampai dengan siklus udara 16 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi. Dimana presentasi peningkatan terbesar pada variasi rendaman asam sulfat terdapat pada variasi 100% *Bottom Ash I* yaitu sebesar 3,26 %, sedangkan presentasi peningkatan terbesar pada variasi curing udara terdapat pada variasi 100% *Bottom Ash II* yaitu sebesar 1,24 %. Nilai kuat tekan pada *paving block* siklus 16 hari mengalami peningkatan dari tiap-tiap variasi dimana presentasi peningkatan nilai kuat tekan maksimum terdapat pada variasi control yaitu sebesar 35,69 %. *Untrasonic Pulse Velocity Test* pada setiap variasi campuran *paving block* berbanding lurus dengan nilai kuat tekan *paving block*.

2.2.7 Pengujian *paving block*

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

a. Kuat tekan *paving block*

Kuat tekan *paving block* 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 di gunakan untuk menghitung kuat tekan/kuat desak adalah sebagai berikut:

$$\sigma = P/A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

σ = Kuat tekan/kuat desak *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* dibagi dengan jumlah sampel yang diuji. Umur benda uji yang akan dilakukan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari. Dalam pengolahan data pengujian kuat tekan, disertakan pula standar deviasi karena memiliki peran krusial dalam menganalisis dan menginterpretasikan hasil pengujian.

Standar deviasi memberikan informasi tentang seberapa besar variasi atau penyebaran data kuat tekan beton dari nilai rata-ratanya. Semakin kecil nilai standar deviasi, semakin seragam kualitas beton yang dihasilkan. Sebaliknya, nilai standar deviasi yang besar menunjukkan variasi kualitas beton yang kurang seragam. Adapun standar deviasi yang digunakan, terdapat pada persamaan 2.2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S= standar deviasi

$\sum$ = simbol sigma (menunjukkan penjumlahan)

xi = nilai data ke-i

$\bar{x}$ = rata-rata sampel

n= jumlah data dalam sampel

Untuk menentukan mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton yaitu semakin kecil nilai standar deviasi yang digunakan maka pengendalian

pelaksanaan pencampuran beton pada pelaksanaan semakin baik. Berikut adalah penetapan nilai standar deviasi.

Tabel 2.5 Standar Deviasi

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Standar Deviasi (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: Teknologi Beton, 2004

b. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total *paving block* umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan seperti faktor air semen yang berpengaruh pada letakan antara pasta semen dan agregat, besar kecilnya nilai slump pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada *paving block* maka semakin besar kuat tekan atau mutu *paving block*, sebaliknya semakin besar porositas *paving block*, maka kekuatan beton akan semakin kecil.

Menurut (ASTM C 642-90), Rumus yang digunakan untuk menghitung porositas adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{C-A}{C-D} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

n = Porositas benda uji (%)

A = Berat kering oven (kg)

C = Berat beton jenuh air setelah pendidihan (kg)

D = Berat beton dalam air (kg)

Porositas juga dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun *paving block* yang relative besar, sehingga tidak maksimal. Porositas beton juga menggambarkan besar kecilnya kekuatan *paving block* dalam menyangga suatu konstruksi. Semakin padat *paving block*, maka kekuatannya juga akan semakin besar sehingga dapat menyangga konstruksi yang lebih berat. Sebaliknya semakin renggang *paving block*, maka kekuatannya juga akan semakin lemah sehingga hanya bisa menyangga konstruksi yang ringan dan ketahanannya juga tidak terlalu lama.

c. Ketahanan asam

Pada penelitian ini, ketahanan acid mengacu pada ASTM-C1898-20. Larutan yang digunakan adalah larutan H_2SO_4 . Larutan ditambahkan sebanyak 3% dari banyaknya air perendaman. Setelah melewati 28 hari perendaman, selanjutnya akan dilakukan uji kuat tekan. Untuk persamaan yang digunakan sama pada persamaan 2.1.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksin, R.A., 2024. *Pemanfaatan Air Laut sebagai Bahan Pembuatan Paving Block untuk Area Parkir*. [Online] Fakultas Teknik Unsulbar Available at: <https://repository.unsulbar.ac.id/id/eprint/1166> [Accessed Sabtu Januari 2025].
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2024. *Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. In AASHTO T 255. Washington DC: WSDOT Materials Manual.
- American Society for Testing and Materials, 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. In ASTM C33. United States: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials, 2006. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. In ASTM C 642-06. United States: ASTM International.
- Arif, M., 2024. *Evaluasi Kekuatan dan Durabilitas Paving Block Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan Menggunakan Nano Palm Oil Fuel Ash (NPOFA)*. Skripsi. Universitas Sulawesi Barat.
- Badan Standardisasi Nasional, 1996. *Bata Beton (Paving Block)*. In SNI 03-0691-1996. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. In SNI 03-2834-2000. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. In SNI 2493:2011. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. In SNI 2847:2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bitu, L.G. & Dhani, N., 2022. *Analisa Penambahan Limbah Abu Sekam Padi Asal Kelurahan Ngkari-Kari Kecamatan Bungi Kota Bau-Bau Pada Pembuatan Paving Block*. pp.137-43.
- British Standard Institution. (1986). BS 6717: Part 1: 1986: *Precast Concrete Paving Blocks*. London: British Standards Institution.

- Dasar, A., Patah, D. & Apriansyah, 2024. *Pengaruh Air Laut pada Kualitas Paving Block untuk Aplikasi Non-Struktural*. Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil, 8, pp.253-266.
- Dasar, A., Patah, D., Hamada, H., Sagawa. & Yamamoto, D., 2020. *Penerapan Air Laut Sebagai Bahan Pencampur dan Pengeras Beton Umur 4 Tahun*. Jurnal Elsevier: Konstruksi dan Bahan Bangunan, jilid 259.
- Dasar, A. & Patah, D., 2021. *Pasir dan Kerikil Sungai Mapilli sebagai Material Lokal untuk Campuran Beton di Sulawesi Barat*. Bandar: *Journal of Civil Engineering*, 3, pp.9-14.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. In PBI 1971. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Farhan, M., Nuklirullah, M. & Bahar, F.F., 2023. *Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Teknik, 21, pp.58-67.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2004. *Persyaratan Semen Portland untuk Campuran Beton*. In SII 0013-81. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*. Andi.
- Murdock, L.J. & Brook, K.M., 1979. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Nofrianto, H. & Hutrio, 2023. *Analisis Mutu Paving Block dengan Variasi Agregat Halus*. Jurnal Teknologi dan Vokasi, 1, pp.54-62.
- Nugroho, P.A., 2020. *Analisis Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) sebagai Upaya Pengurangan Penggunaan Semen Portland Pada Beton Normal (Menggunakan SNI 7656-2012)*. Skripsi. Tegal: Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.
- Patah, D, Permadi, Y.D., Apriansyah. & Yusman, 2022. *Paving Block Abu Sekam Padi untuk Infrastruktur Desa dan Pesisir Sulawesi Barat*. Jurnal Penelitian Enjiniring, 26, pp.8-28.
- Patah, D. & Dasar, A., 2022. *Kinerja Kekuatan Beton Menggunakan Abu Sekam Padi (ASP) Sebagai Bahan Tambahan Semen (BPS)*. Jurnal Forum Teknik Sipil, pp.261-276.

- Patah, D. & Dasar, A., 2023. *Dampak Penggunaan Abu Sekam Padi, Air Laut dan Pasir Laut Terhadap Korosi Tulangan Beton*. Jurnal Forum Teknik Sipil, pp.251-262.
- 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, pp.23-28.
- Patah, D., Dasar, A. & Indrayani, P., 2022. *Pengaruh Metode Perawatan yang Berbeda terhadap Kekuatan Beton*. Bandar: Jurnal Teknik Sipil, 4, pp.1-9.
- Patah, D., Dasar, A., Apriansyah & Caronge, M.A., 2023. *Pengembangan Kekuatan Beton yang Dicampur dan Diawetkan dengan Air Laut dengan Berbagai Rasio Penggantian Abu Terbang*.
- Putra, F.S., 2024. *pemanfaatan air laut dalam pembuatan paving block untuk parkir*. Skripsi. Universitas Sulawesi Barat
- 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*. JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), 11, pp.241-248.
- Saifullah, N.A.A. & Setyadi, R., 2023. *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Paving Block*. [Online] Institut Teknologi Indonesia Available at: <http://repository.iti.ac.id/jspui/handle/123456789/1972> [Accessed Sabtu Januari 2025].
- Thomas, B.S., 2020. *Beton hijau yang sebagian terdiri dari abu sekam padi sebagai bahan tambahan semen – Tinjauan komprehensif*. Elsevier, 82, pp.3913-23.
- Trianto, W., 2021. *Pengaruh Bentuk dan Ukuran Paving Block Terhadap Faktor Koreksi Kuat Tekan*. Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan.