

**SKRIPSI**  
**PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT (CS) UNTUK BETON**  
**BERPORI RAMAH LINGKUNGAN**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada  
Jurusan Teknik Sipil



Disusun Oleh :

**ADRIANSYAH**

**D01 21 353**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**  
**MAJENE**  
**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT (CS) UNTUK**  
**BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :**

**Adriansyah**

**D01 21 353**

**(Sarjana Jurusan Teknik Sipil)**

**Universitas Sulawesi Barat**

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

Tanggal 02 Mei 2025

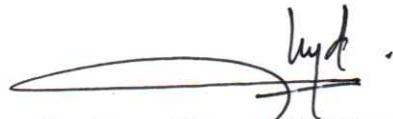
Mengetahui

**Pembimbing 1**



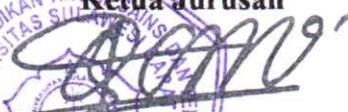
**Herni Suryani, ST., M.Eng.**  
**NIP. 19861009 202203 2 003**

**Pembimbing 2**



**Dr. Eng. Ir. Amry Dasar, ST., M.Eng.**  
**NIP. 198801 15 201903 1 006**

**Ketua Jurusan**



**Amalia Nurdin, S.T., M.T.**  
**NIP. 19871212 201903 2 017**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Ir. Hafsah Nirwana, S.T., M.T.**  
**NIP. 19640405 199003 2 002**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini terdapat karya yang sebelumnya telah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi. Sepanjang pengetahuan saya, tidak ada karya atau pendapat lain yang ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Majene, 14 Februari 2025



**ADRIANSYAH**

**D01 21 353**

## ABSTRAK

### PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT (CS) UNTUK BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN

ADRIANSYAH

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

[adriansyahst2@gmail.com](mailto:adriansyahst2@gmail.com)

Beton berpori merupakan inovasi material konstruksi yang memiliki pori-pori besar, sehingga memungkinkan air untuk meresap dan mengurangi risiko banjir serta efek pulau panas di perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah cangkang sawit (CS) sebagai bahan tambahan agregat kasar dalam pembuatan beton berpori yang ramah lingkungan. Dalam penelitian ini, menggunakan cangkang sawit pada pembuatan beton berpori. benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Penelitian ini menggunakan 8 benda uji silinder dan 1 buah plat beton berpori setiap variasi. beton berpori dibuat dengan variasi penggantian agregat kasar oleh cangkang sawit sebesar 25% dan 50%, dengan pengujian terhadap kuat tekan, permeabilitas, total void, densitas, dan kuat tarik belah pada umur 7 dan 28 hari.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi cangkang sawit, semakin rendah nilai kuat tekan dan densitas beton, sementara permeabilitas dan total void meningkat. Variasi penggantian 25% menunjukkan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan sifat hidrologis yang lebih baik dibandingkan dengan 50%. Pada umur 28 hari variasi CS25-TP memiliki nilai kuat tekan, permeabilitas, total void, densitas, dan kuat belah masing-masing sebesar 2,028 Mpa, 1,097 cm/s, 23,907%, 1587.46 kg/m<sup>3</sup>, dan 0,444 Mpa. Dengan demikian, pemanfaatan limbah cangkang sawit sebagai bahan substitusi agregat kasar berpotensi untuk mendukung pembangunan konstruksi yang lebih berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Beton berpori, cangkang sawit, sifat mekanik beton berpori, material ramah lingkungan.

## **ABSTRACT**

### **UTILIZATION OF PALM SHELL (CS) WASTE FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY POROUS CONCRETE**

**ADRIANSYAH**

*Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of West Sulawesi (2025)*

[adriansyahst2@gmail.com](mailto:adriansyahst2@gmail.com)

*Porous concrete is an innovation in construction materials that have large pores, allowing water to seep in and reducing the risk of flooding and the heat island effect in urban areas. This study aims to utilize palm shell (CS) waste as an additional coarse aggregate in the manufacture of environmentally friendly porous concrete. In this study, using palm shells in the manufacture of porous concrete. cylindrical test objects with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm. This study used 8 cylindrical test objects and 1 porous concrete plate for each variation. Porous concrete is made with variations of coarse aggregate replacement by palm shells of 25% and 50%, with testing of compressive strength, permeability, total voids, density, and splitting tensile strength at the age of 7 and 28 days. The results showed that the higher the proportion of palm shells, the lower the compressive strength and density of concrete, while the permeability and total voids increased. The 25% replacement variation showed a better balance between mechanical strength and hydrological properties compared to 50%. At the age of 28 days, the CS25-TP variation had compressive strength, permeability, total voids, density, and splitting strength values of 2.028 Mpa, 1.097 cm/s, 23.907%, 1587.46 kg/m<sup>3</sup>, and 0.444 Mpa, respectively. Thus, the utilization of palm shell waste as a substitute for coarse aggregate has the potential to support more sustainable construction development.*

*Keywords: Porous concrete, palm shells, mechanical properties of porous concrete, environmentally friendly materials.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Beton berpori adalah jenis material bangunan yang memiliki karakteristik unik. Beton ini memiliki pori-pori yang memungkinkan air untuk mengalir melalui strukturnya. Penggunaan beton berpori dapat menjadi alternatif dalam konstruksi, karena pori-porinya dapat digunakan untuk menyerap air yang mengalir di permukaan. (Anggraeni, dkk. 2020)

Peningkatan penggunaan bahan untuk pembuatan beton akan sejalan dengan peningkatan pembangunan infrastruktur. Beton adalah material yang sangat penting dalam konstruksi. Dalam proses pembuatan beton, komponen utama yang digunakan adalah agregat, semen portland, dan air. Agregat kasar biasanya terdiri dari batu pecah atau kerikil, sedangkan agregat halus umumnya berupa pasir. Seperti pasir, kerikil juga merupakan material alami yang memiliki keterbatasan, sehingga ketersediaannya akan berkurang seiring waktu dan dapat habis. (Simanjuntak dkk. 2021).

Dampak perubahan iklim saat ini mendorong perkembangan inovasi di industri arsitektur dan bahan bangunan. Arsitektur hijau fokus pada peningkatan efisiensi sumber daya seperti air, energi, dan material dalam setiap tahap proyek mulai dari desain interior hingga pembangunan dan perawatan jangka panjang.

Dalam beberapa dekade terakhir, pertumbuhan urbanisasi yang pesat telah menyebabkan peningkatan penggunaan permukaan kedap air seperti aspal dan beton konvensional. Hal ini berdampak pada berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan, yang akhirnya berkontribusi terhadap berbagai masalah lingkungan, seperti banjir perkotaan, erosi tanah, pencemaran air, dan efek pulau panas. Untuk mengatasi tantangan tersebut, inovasi dalam teknologi material bangunan mulai dikembangkan. Salah satu inovasi terbaru dalam pembuatan perkerasan tanah yang ramah lingkungan adalah penggunaan Beton Pori. Beton ini memiliki pori yang lebih besar dibandingkan dengan beton biasa dan aspal, sehingga memungkinkan air mengalir dan meresap ke dalam tanah secara alami.

Dengan demikian, Beton Pori dapat membantu menyimpan air dan mengurangi risiko banjir di permukaan. (Abrar, 2021).

Beton berpori tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan hidrologi perkotaan, tetapi juga memiliki potensi dalam mendukung pengurangan jejak karbon. Penggunaannya dapat dikombinasikan dengan bahan daur ulang, mengurangi konsumsi agregat alami, serta meningkatkan efisiensi energi dalam pembangunan. Dengan berbagai manfaatnya, beton berpori telah menjadi bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan di banyak kota modern, mendukung visi lingkungan yang lebih sehat dan lebih adaptif terhadap perubahan iklim.

Cangkang sawit adalah limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak sawit. Proses ini melibatkan pengepresan buah kelapa sawit sehingga menghasilkan cangkang sebagai produk sekunder. Umumnya, Cangkang sawit diproses melalui pabrik-pabrik kelapa sawit di seluruh Indonesia. (Asiva Noor Rachmayani, 2015)

Limbah kelapa sawit merupakan limbah lignoselulosik yang bersifat organik dan tersedia dalam jumlah yang sangat besar di lingkungan. Hingga kini, limbah ini belum dimanfaatkan secara maksimal dan memiliki nilai ekonomi yang rendah. Terkait pemanfaatan limbah dari tanaman kelapa sawit, Abdullah dan rekan-rekannya (2010) pernah melakukan penelitian dengan menggunakan Bongkahan Cangkang Sawit (BCS) sebagai bahan campuran agregat. Dengan proporsi tertentu, penggunaan BCS dapat menghasilkan mutu beton di atas 25 MPa untuk beton ringan busa. Ini menunjukkan cangkang sawit berpotensi untuk menggantikan bahan agregat alami. (Riadi and Danil, 2016)

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis mencoba melakukan penelitian terhadap **“Pemanfaatan Limbah Cangkang Sawit (CS) Untuk Beton Berpori Ramah Lingkungan”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan memanfaatkan cangkang sawit sebagai bahan tambah campuran agregat kasar dalam penggunaan beton berpori dapat diambil suatu rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh kuat tekan beton berpori menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori ?
2. Berapa koefisien permeabilitas beton berpori menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori ?
3. Berapa persentase total void pada beton berpori menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori ?
4. Bagaimana densitas beton berpori menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori ?
5. Bagaimana kuat belah beton berpori menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori ?
6. Apakah penggunaan cangkang sawit sebagai bahan pengganti sebagian kerikil pada beton berpori dapat meningkatkan infiltrasi dan pertumbuhan rumput, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif penghijauan kota yang efektif?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka diperoleh tujuan penelitian berikut:

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton berpori menggunakan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori.
2. Untuk mengetahui koefisien permeabilitas beton berpori menggunakan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori.
3. Untuk mengetahui persentase pori-pori pada beton berpori menggunakan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori.

4. Untuk mengetahui kepadatan beton berpori menggunakan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori.
5. Untuk mengetahui kuat belah beton berpori menggunakan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25%, dan 50% sebagai bahan tambah agregat kasar pada pembuatan beton berpori.
6. Untuk mengetahui potensi cangkang penggunaan cangkang sawit sebagai bahan tambah pada beton berpori dalam meningkatkan kemampuan infiltrasi air dan pertumbuhan rumput dan penghijauan kota.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Perencanaan beton berpori banyak terdapat masalah-masalah yang sangat luas cakupannya dan dalam hal ini penulis membatasi permasalahan-permasalahan yang akan dikaji yaitu sebagai berikut:

1. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Cv. Anato, Kec Dampanua, Kab. Pinrang, Prov. Sulawesi Selatan dan air yang digunakan berasal dari sumur bor kampus Padhang-Padhang Universitas Sulawesi Barat.
2. Cangkang sawit yang digunakan diambil PT. Lestari II di Kecamatan Budong-Budong, Kab. Mamuju Tengah, Prov. Sulawesi Barat.
3. Semen yang digunakan adalah semen Tipe I, merek Tonasa.
4. Semua agregat yang digunakan dicuci terlebih dahulu.
5. Bahan tambah cangkang sawit: 0%, 25%, dan 50%.
6. Cangkang sawit yang digunakan adalah cangkang tanpa perlakuan (Tanpa saring).
7. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dan plat dengan panjang 30 cm, lebar 25 cm dan tinggi 10 cm.
8. Penelitian yang dilakukan meliputi kuat tekan, permeabilitas, total void, densitas, dan kuat belah.
9. Setiap variasi pencampuran benda uji sebanyak 3 buah untuk pengujian kuat tekan, 3 buah untuk uji permeabilitas, porositas, densitas, dan 2 buah untuk pengujian kuat belah.

10. Perawatan beton atau *curing* dilakukan dengan perendaman dengan air tawar pada suhu ruangan.
11. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, dan 28 hari, uji permeabilitas, total void, densitas, kuat belah dilakukan pada umur 28 hari. serta pengujian pertumbuhan rumput dilakukan selama 30 hari.
12. Pengujian kuat tekan berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 03-0691-1996.
13. Pengujian permeabilitas berdasarkan National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R-10).
14. Pengujian total void berdasarkan (Beton Non Pasir. Trisnoyuwono, 2014).
15. Pengujian densitas berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 1973:2016.
16. Pengujian kuat belah berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 03-2491-2002.
17. Pengujian pertumbuhan rumput berdasarkan (Bahan Pembersih Performa Pertumbuhan Tanaman Dari Beton Tembus Pandang Yang Mengandung Agregat Cangkang Tiram Yang Dihancurkan. Horiguchi, Itaru, Yoichi Mimura, dan Paulo J M Monteiro. 2021.)

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan sumbangan bagi ilmu pengetahuan khususnya dalam teknologi beton berpori yang memenuhi syarat kekuatan dan ramah lingkungan.
2. Penelitian ini dapat dipakai untuk merancang campuran beton berpori dengan menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah agregat kasar.
3. Memberikan nilai tambah terhadap cangkang sawit dimana selama ini merupakan limbah yang sangat minim pemanfaatannya.
4. Untuk penulis, adalah suatu pemikiran yang perlu terus dikembangkan dan diupayakan untuk disosialisasikan kemasyarakatan dalam pemakaian beton khususnya beton berpori.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum, penulisan penelitian ini terbagi dalam 5 bab yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian, dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. Berikut rincian sistematika penulisan penelitian ini.

### **BAB I PENDAHULUAN**

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

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini memuat tentang tinjauan literatur tentang penelitian seperti spesifikasi standar mutu, standar nasional, teori tentang karakteristik bahan, dan sebagainya.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat tentang bagan alur penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian yang meliputi tempat dan waktu penelitian, material dan alat penelitian, prosedur-prosedur penelitian, dan metode pengumpulan data.

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

Bab ini membahas mengenai hasil serta data-data dari penelitian yang dilakukan.

### **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 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian agar dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Penulis mengangkat beberapa penelitian terdahulu yang bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Selain itu untuk menghindari kesamaan dengan penelitian ini, maka dalam tinjauan Pustaka ini, penulis mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut:

- a. (Sulianti, dkk. 2022) “Upaya Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan *Admixture Superplasticizer* Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar”

Penelitian ini berfokus pada penggunaan cangkang kelapa sawit dengan tambahan admixture superplasticizer. Proporsi cangkang kelapa sawit ditentukan berdasarkan agregat kasar dan proporsi air. Variasi cangkang kelapa sawit yang digunakan adalah 0%, 25%, 75%, dan 100%. Uji tekan dilakukan pada hari ke-14 dan ke-28, dengan mutu beton rencana K 225. Penelitian ini berfokus pada penggunaan cangkang kelapa sawit dengan tambahan admixture superplasticizer. Proporsi cangkang kelapa sawit ditentukan berdasarkan agregat kasar dan proporsi air. Variasi cangkang kelapa sawit yang digunakan adalah 0%, 25%, 75%, dan 100%. Uji tekan dilakukan pada hari ke-14 dan ke-28, dengan mutu beton rencana K 225.

Perbedaan pada penelitian ini dengan penelitian Sulianti dkk adalah penggunaan admixture superplasticizer dan proporsi cangkang sawit yang lebih bervariasi. Penelitian ini tidak menggunakan admixture dan hanya mempertimbangkan proporsi cangkang sawit sebesar 25% dan 50%.

- b. (Vitri and Herman, 2019) “Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton”

Penelitian ini adalah studi laboratorium yang menggunakan limbah kelapa sawit, yaitu cangkang kelapa sawit sebagai agregat kasar dan abu boiler sebagai

agregat halus. Material diuji sesuai standar SNI untuk mencapai mutu beton 25 MPa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik agregat memenuhi standar SNI, dengan limbah kelapa sawit dapat digunakan sebagai substitusi agregat hingga 10% untuk abu boiler dan 30% untuk cangkang kelapa sawit. Namun, kuat tekan beton pada hari ke-7 dan ke-28 hanya mencapai 21 MPa, di bawah target.

Perbedaan pada penelitian ini yaitu penelitian Gusni Vitri dkk terletak pada proporsi penggunaan abu boiler dan cangkang kelapa sawit. Sedangkan pada penelitian penulis tidak menggunakan abu boiler cangkang sawit serta penggunaan cangkang kelapa sawit sebesar 25% dan 50%.

- c. (Manaf, dkk, 2023) “Pengaruh Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Berpori”

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap sifat mekanik beton berpori. Dengan kuat tekan di umur 7, 14, 21, dan 28 hari, permeabilitas dan porositas beton berpori umur 28 hari. Hasil pengujian yang diperoleh adalah nilai optimum penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti semen dengan persentase 0-40% dengan interval 10% dari berat total semen sampai pada persentase penggunaan abu cangkang sawit 20%, berdasarkan SNI 03-0691-1996 termasuk dalam mutu D yang diperuntukan untuk penggunaan taman dan lainnya.

Perbedaan pada penelitian ini yaitu penelitian Abdi Manaf dkk menggunakan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 10%, 20%, 30% dan 40% Sedangkan pada penelitian penulis tidak menggunakan abu cangkang sawit.

- d. (Agus, 2022) “Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan”

Penelitian ini menggunakan kerikil lokal dengan ukuran maksimum 20 mm dan variasi faktor air semen (FAS) 0,27, 0,30, dan 0,35. Pengujian fisik beton meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, perkolasi, dan volume pori. Kuat tekan dan tarik belah diuji pada umur 3, 7, dan 28 hari menggunakan silinder

berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, beton berongga dengan FAS 0,35 memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi 11,04 MPa dan kuat tarik belah 3,41 MPa, serta volume pori rata-rata 21,13%. Untuk perkolasi, FAS 0,27 mengalirkan air selama 7,75 detik/liter, FAS 0,30 selama 9 detik/liter, dan FAS 0,35 selama 14,5 detik/liter. Pada umur 60 hari, rumput dapat tumbuh di atas beton berongga baik dengan maupun tanpa tanah

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Irzal Agus adalah penggunaan agregat kasar berukuran maksimum 20 mm tanpa bahan tambah dan variasi FAS, sedangkan penulis menggunakan cangkang sawit sebagai bahan tambah dengan agregat ukuran 0,5 – 1 cm.

e. (Patah and Dasar, 2023) “Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar”

Studi ini meneliti hubungan antara ukuran agregat, kekuatan tekan, struktur pori, dan permeabilitas, serta menganalisis dampak ukuran agregat terhadap kekuatan tekan beton berpori. Tiga ukuran agregat kasar yang digunakan adalah 5-10 mm, 10-20 mm, dan 20-30 mm. Metode yang diterapkan mencakup pengujian kekuatan tekan, porositas, dan permeabilitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi dengan perbandingan 50%:50% pada variasi 1 mengalami peningkatan signifikan pada ukuran agregat 10-20 mm dan 5-10 mm, mencapai nilai 22,40 MPa, yang memenuhi standar minimum SNI 03-0691-2022 untuk Kelas B (digunakan dalam aplikasi parkir). Sebaliknya, penggunaan agregat dengan ukuran seragam 100% menghasilkan kekuatan tekan yang lebih rendah.

Perbedaan pada penelitian ini yaitu penelitian Dahlia Patah dkk menggunakan agregat kasar (kerikil) sebagai bahan utama dalam pembuatan beton berpori. Sedangkan pada penelitian penulis menggunakan abu cangkang sawit sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton berpori.

f. (Gina and Amalia, 2019) “Kualitas Beton Berpori dengan Bahan Tambah Silica Fume sebagai Bahan Perkerasan Kaku yang Ramah Lingkungan”

Penelitian ini menganalisis dampak silica fume terhadap kualitas beton berpori untuk perkerasan kaku. Variasi silica fume yang digunakan adalah 0%, 3%, 6%, dan 9% dari berat semen. Hasil menunjukkan beton berpori dengan 9%

silica fume memiliki performa terbaik, kecuali pada pengujian regangan dan laju infiltrasi. Beton dengan 6% silica fume menunjukkan regangan tertinggi, sedangkan laju infiltrasi tertinggi terjadi pada beton tanpa silica fume. Analisis regresi linear menunjukkan dampak signifikan silica fume terhadap kualitas beton segar dan keras. Berdasarkan RSNI T-14-2004, beton berpori dengan minimal 9% silica fume layak untuk perkerasan kaku.

Perbedaan pada penelitian ini yaitu penelitian Gina dkk menggunakan silica fume sebagai bahan tambah semen, sementara penulis menggunakan cangkang sawit sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar (kerikil) dalam pembuatan beton berpori.

## **2.2 Beton Secara Umum**

### **2.2.1 Pengertian Beton**

Beton adalah suatu material komposit yang terdiri dari campuran bahan pengikat (biasanya semen), agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah), air, dan, dalam beberapa kasus, bahan tambahan (aditif atau admixture). Beton merupakan salah satu bahan konstruksi paling umum digunakan di seluruh dunia karena sifatnya yang kuat, tahan lama, dan fleksibel untuk berbagai jenis konstruksi.

Beton merupakan bahan komposit yang terdiri dari partikel agregat yang saling terikat membentuk suatu struktur padat dengan bantuan material semen. Bahan ini dikenal memiliki kekuatan tekan yang cukup baik, mudah dibentuk, dapat diproduksi secara lokal, relatif kaku, dan ekonomis. Namun, di sisi lain, beton memiliki sejumlah keterbatasan baik dalam proses produksinya maupun dalam sifat mekaniknya, sehingga umumnya hanya digunakan untuk konstruksi berukuran kecil hingga menengah (Almufid, 2018).

### **2.2.1 Kelebihan Dan kekurangan Beton**

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, pengertian beton ialah suatu campuran dari semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan yang membentuk suatu massa padat. Secara umum beton memiliki kelebihan dan kekurangan diantaranya:

- a. Kelebihan beton, (SNI-03-2847-2002) Beberapa kelebihan yang dimiliki beton antara lain:
  1. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
  2. Mampu memikul beban yang berat
  3. Biaya pemeliharaan yang kecil
  4. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
- b. Kekurangan beton, (SNI-03-2847-2002) Adapun kekurangan beton diantaranya:
  1. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
  2. Berat
  3. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
  4. Daya pantul suara yang besar

## **2.3 Beton Berpori**

### **2.3.1 Pengertian Beton Berpori**

Beton tanpa agregat halus/pasir (*no-fines concretes*) disebut pula sebagai beton berongga (*porous concrete*) karena bentuk fisiknya terdiri dari banyak rongga-rongga (pori) adalah suatu jenis beton yang secara total agregat halus dihilangkan, sehingga terdiri dari kesatuan antara agregat kasar, air serta semen. Rongga-rongga pada beton berongga bermanfaat untuk menyalurkan air dan menyaring kotoran sehingga tidak terbawa ke dalam tanah atau saluran air. Rongga-rongga tersebut diharapkan juga dapat menyerap energi sinar matahari. Fungsi lain dari beton berongga yaitu sebagai lapis permukaan yang menahan gerusan air terhadap permukaan tanah sehingga mampu mengurangi laju erosi. Rumput-rumput dapat tumbuh di atas permukaan beton berongga, dan proses oksidasi yang dilakukan oleh akar-akar rumput meningkatkan konsentrasi oksigen di sekitarnya. Beton berongga (*porous concrete, pervious concrete, no fine concrete, permeable concrete*) adalah beton tanpa agregat halus dan hanya terdiri dari agregat kasar, semen dan air serta bahan kimia tambahan (Agus 2022).

Beton berpori adalah jenis beton yang memiliki rongga dan tingkat porositas tinggi, sehingga memungkinkan air untuk mengalir dengan mudah. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton berpori terdiri dari campuran semen, air,

agregat kasar, serta sedikit agregat halus atau bahkan tanpa agregat halus (Irlan, Kurniawati, and Sofyan, 2020).

Perkerasan beton berpori adalah inovasi yang telah menunjukkan hasil positif dalam mengatasi berbagai masalah yang telah disebutkan sebelumnya seperti banjir yang mulai sering terjadi dikala musim hujan datang. Beton ini memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi, memungkinkan air mengalir langsung ke tanah. Proses pembuatan beton berpori juga cukup unik; sesuai dengan namanya, beton ini memiliki pori-pori yang berfungsi untuk memfasilitasi aliran air ke tanah. Pori-pori tersebut terbentuk dari metode pembuatan beton yang tidak menggunakan agregat halus atau hanya menggunakan dalam jumlah sedikit. Biasanya, agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi di antara agregat kasar untuk memperkuat ikatan (Indrayadi, Sutandar, and Supriyadi, 2021).

## **2.4 Material Penyusun Beton Berpori**

Menurut (Mustofa, 2015) Komposisi yang digunakan untuk beton berpori hampir sama dengan beton biasa. Namun, perbedaannya terletak pada penggunaan agregat halus yang sangat sedikit atau bahkan tidak ada dalam campuran beton berpori. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan untuk menciptakan rongga-rongga yang memungkinkan porositas air. Dengan demikian, beton berpori memiliki pori-pori yang dihasilkan dari campuran utama yang terdiri dari semen Portland, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lainnya dengan proporsi tertentu.

### **2.4.1 Semen Portland**

Semen Portland adalah jenis semen hidraulik yang paling umum digunakan dalam konstruksi modern. Semen ini memiliki sifat unik, yaitu mampu mengeras ketika bercampur dengan air dan tetap mempertahankan kekuatannya meskipun terpapar air dalam jangka waktu lama. Namanya diambil dari batu Portland di Inggris, yang memiliki warna dan karakteristik serupa dengan beton yang dibuat dari semen ini. Jenis atau tipe semen yang digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, dalam hal ini perlu diketahui tipe semen yang distandarisasikan di Indonesia.

Semen PCC (Portland Composite Cement) atau semen *Portland composite*, adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *blended cement* atau semen campur. (Setiati and Halim, 2018).

#### **a. Tipe-Tipe Semen**

Menurut ASTM C150 semen Portland dibagi menjadi 5 tipe, yaitu sebagai berikut:

- 1) Tipe I: Ordinary Portland Cement (OPC), Semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus (panas, hidrasi, ketahanan terhadap sulfat kekuatan awal)
- 2) Tipe II: Moderate Sulphate Cement, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
- 3) Tipe III: High Early Strength Cement, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi
- 4) Tipe IV: Low Heat Of Hydration, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah
- 5) Tipe V: High Sulphate Resistance, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang lebih tinggi terhadap sulfat.

#### **b. Pemeriksaan Berat Jenis**

Pemeriksaan berat jenis semen ini berdasarkan ASTM C-188, di mana ASTM menetapkan batas berat jenis sebesar 3,15 dan kekerasan minimum 3,0 hingga 3,2. Meskipun begitu, produksi semen biasanya memiliki rentang dari 3,05 hingga 3,25. Variasi ini dapat memengaruhi komposisi campuran semen dan jika hasilnya tidak mencapai target tersebut, proses pembakaran mungkin tidak akan sempurna. Pengujian berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan *Le Chaterial Flaks* menurut ASTM C-188 dengan prosedur sebagai berikut.

- 1) Isi botol *Le chaterial* dengan minyak tanah dengan skala botol antara 0-1

- 2) Masukkan botol *Le Chaterial* yang berisi minyak tanah kedalam wadah yang terlebih dahulu telah di isi air, dan masukan pula thermometer sebagai pengukur suhu
- 3) Tambahkan es batu kedalam wadah tersebut, hingga suhu air mencapai suhu 4°C
- 4) Pada saat suhu air dengan suhu cairan dalam botol *Le Chaterial* maka selanjutnya baca skala pada botol sebagai pembacaan nilai (V1)
- 5) Saring semen Portland dengan menggunakan saringan No. 40 kemudian menimbang sebanyak 64 gram
- 6) Keluarkan botol dari wadah dan masukkan semen Portland sedikit demi sedikit kedalam botol yang berisi minyak tanah dengan menggunakan corong kaca dengan menjaga agar semen tidak menempel pada dinding atas bagian botol *Le Chaterial*
- 7) Masukkan kembali botol *Le Chaterial* yang berisi minyak tanah dan semen kedalam wadah dengan tetap menjaga agar suhu air mencapai 4°C
- 8) Pada saat suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol *Le Chaterial*, skala pada botol dibaca sebagai nilai (V2)
- 9) Untuk mencari nilai berat jenis semen, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis} = \frac{W}{V_1 - V_2} \times Y_{\text{air}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

W = Berat benda uji semen Portland

V1 = Pembacaan pada botol *Le Chaterial* yang berisi minyak terhadap suhu 4°C

V2 = Pembacaan pada botol *Le Chaterial* yang berisi minyak tanah dan semen pada suhu 4°C

Y air = Berat isi air pada suhu 4°C

#### **2.4.2 Agregat**

Agregat adalah material granular yang digunakan sebagai bahan penyusun utama dalam konstruksi, terutama untuk pembuatan beton, mortar, dan lapisan jalan. Agregat mencakup bahan seperti pasir, kerikil, batu pecah, atau material lain yang berasal dari alam maupun hasil olahan. Agregat berfungsi sebagai bahan

pengisi yang memberikan kekuatan, stabilitas, dan daya tahan pada campuran konstruksi.

**a. Agregat Kasar (Kerikil)**

Agregat kasar adalah material granular yang memiliki ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm (sesuai standar ayakan No. 4) dan merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton, mortar, atau material konstruksi lainnya. Agregat kasar berfungsi sebagai bahan pengisi yang memberikan kekuatan, stabilitas, dan daya tahan pada struktur beton. Material ini dapat berupa batu pecah, kerikil, atau material lainnya yang berasal dari alam maupun hasil olahan.

Menurut (PBI, 1971), kerikil yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi kriteria berikut:

- 1) Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alam dan batuan-batuan. Pada umumnya dimaksudkan dengan agregat kasar butir 5 mm sesuai dengan syarat-syarat pengawasan mutu agregat untuk sebagai mutu.
- 2) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori, agregat kasar yang mengandung butir-butir ini hanya dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari butir agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung lempung dari 1% (ditentukan dengan berat kering) yang artinya dengan lumpur adalah bagian-bagian yang lolos ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lempung melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat raktif alkali.
- 5) Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana rudeloff dengan benda uji 20-ton dimana dipenuhi syarat-syarat berikut.
  - a) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat
  - b) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-20 mm lebih dari 22% berat

- 6) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan ditentukan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.
- a) Sisa diatas ayakan 31,5 mm 0% berat
  - b) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98% berat
  - c) Selisi sisa-sisa komulatif di atas ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- 7) Berat butir harus maksimum tidak boleh lebih dari pada seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal plot atau tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan, penyimpanan dari batangan ini di izinkan apabila menurut penilaian pengawasan ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kecil.

Agregat kasar (kerikil, batu pecah atau pecahan dari blast furnance) menurut ASTM C 33-03, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. standar pengujian lainnya mengacu pada standar yang direkomendasikan pada ASTM.

**Tabel 2.1** Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

<b>Diameter Saringan (mm)</b>	<b>Persen Lolos (%)</b>	<b>Gradasi Ideal (%)</b>
25,00	100	100
19,00	90 - 100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 – 5	2,5

*Sumber: ASTM C 33-03*

## **b. Pengujian Karakteristik Agregat Kasar**

Sebelum melakukan pembuatan campuran beton, terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik agregat kasar dengan berdasarkan Standar Nasional Indonesia. Adapun pengujian karakteristik agregat adalah sebagai berikut:

### 1) Analisa saringan

Berdasarkan SK SNI M-08-1989-f dan SNI 03-1968-1990 prosedur pengujian analisa saringan agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- a) Siapkan agregat kasar sebanyak 3000 gram dengan sistem perempat/quartering, lalu oven selama 24 jam.
- b) Timbang agregat kering oven sebanyak 1500-gram dalam kondisi suhu kamar.
- c) Timbang saringan satu persatu dalam keadaan kosong dan bersih.
- d) Susun aringan secara urut menurut ukuran saringan. Mulai dari pan, lubang saringan terkecil dan seterusnya sampai lubang saringan terbesar (diameter lubang terbesar diatas).
- e) Masukkan benda uji pada saringan teratas kemudian tutup. Pasang aringan pada mesin saringan lalu hidupkan mesin pengguncang selama 15 menit. Penyaringan dilakukan dengan menggoyangkan saringan selama 30 menit bila secara manual.
- f) Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
- g) Buka saringan tersebut, kemudian timbang masing-masing saringan beserta isinya dengan timbangan ketelitian 1 gram. Catat hasil percobaan saringan dalam daftar table.
- h) Lakukan dua kali percobaan untuk menentukan rata-rata
- i) Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.
- j) Hitung persentase berat tertahan kumulatif untuk mendapatkan faktor kehalusan.
- k) Hitung persentase lolos
- l) Plot kedalam grafik hasil perhitungan lolos

Persamaan analisa perhitungan untuk pengujian gradasi butiran adalah sebagai berikut.

$$\text{Persen Berat Tertahan} = \frac{\text{Berat Tertahan Persaringan (gram)}}{\text{Jumlah Berat Total (gram)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan Kumulatif } f(\%)+300}{\text{Jumlah Berat Tertahan } (\%)} \dots\dots\dots (2.3)$$

2) Berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SNI 1969:2008, prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- a) Ambil kerikil sebanyak 500 gram. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau kotoran yang ada pada butir-butir kerikil.
- b) Masukkan 2 sampel kerikil masing-masing 2500-gram kedalam tungku pada suhu 105°C sampai berat tetap.
- c) Dinginkan benda uji sampai temperature kamar ( $\pm 3$  jam), kemudian timbang (BK).
- d) Rendam benda uji sampai dalam temperature kamar selama  $\pm 24$  jam. Ambil kedua benda uji dari dalam air, kemudian lap
- e) dengan kain sampai kondisinya jenuh kering permukaan.
- f) Timbang benda uji jenuh kering (BJ).
- g) Masukkan kerikil kedalam keranjang kawat, kemudian guncangkan agar udara yang tersekap keluar. Lalu timbang dalam air (BA).

Adapun persamaan analisa perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut:

$$\text{Apparent spesific gravity} = \frac{Bk}{Bk+B-Bt} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Bulk specific gravity on dry basic} = \frac{Bk}{SSD+B+Bt} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Bulk specific gravity SSD basic} = \frac{SSD}{SSD+B-Bt} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{SSD-Bk}{SSD+B-Bt} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Bj \text{ SSD Rata-rata} = \frac{Bj \text{ 1}+Bj \text{ 2}}{2} \dots\dots\dots (2.8)$$

3) Berat isi/volume

Berdasarkan SNI 03-4804-1998, metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

Kondisi Lepas

- a) Ukur volume container (V)
- b) Timbang container dalam keadaan kosong (W1).
- c) Isi container dengan kerikil sampai penuh
- d) Ratakan permukaan container dengan alat perata
- e) Timbang berat container + kerikil (W2)

Kondisi Padat

- a) Ukuran volume container (V)
- b) Timbang berat container dalam keadaan kosong (W1)
- c) Masukkan agregat kasar (kerikil) ke dalam container ± 1/3 bagian lalu tumbuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali
- d) Ulangi prosedur ketiga (3) untuk lapis ke dua (2)
- e) Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atas container lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali
- f) Ratakan permukaan dengan alat perata
- g) Timbang berat container + kerikil (W2)

Adapun persamaan analisa perhitungan berat isi/volume adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{W2-W1}{V} \dots\dots\dots (2.9)$$

4) Kadar lumpur

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, prosedur percobaan untuk pengujian kadar lumpur agregat kasar (kerikil), adalah sebagai berikut.

- a) Ambil dua sampel dan timbang agregat kasar masing-masing sebanyak 500 gram, lalu oven selama 24 jam.
- b) Setelah 24 jam, timbang kembali agregat kasar tersebut untuk mendapatkan berat kering (A).
- c) Setelah ditimbang cuci kerikil sampai bersih dengan rendam didalam ember, lalu guncang-guncangkan selama ± 5 menit.
- d) Ulangi prosedur 3 diatas, hingga air pencuci menjadi jernih (lumpur hilang)
- e) Setelah bersih, keringkan permukaan agregat kasar dengan kain lap

- f) Oven agregat kasar dengan suhu 105°C sampai beratnya tetap
- g) Setelah dioven, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering (B)
- h) Hitung persentase kadar lumpurnya

Untuk analisis perhitungan kadar lumpur, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

5) Kadar air

Berdasarkan SNI 03-1971-1990, prosedur percobaan pengujian kadar air agregat kasar (kerikil), adalah sebagai berikut:

- a) Timbang berat talang kosong (A).
- b) Masukkan kerikil dalam talang dan menimbang berat basah nya, kondisi lapangan (B), lalu hitung berat benda uji (C)
- c) Masukkan kerikil berikut kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C sampai berat tetap.
- d) Setelah ± 24 jam, dinginkan lalu timbang berat talang dan kerikil kering (D)

Persamaan analisis perhitungan untuk pengujian kadar air adalah sebagai berikut.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{C - D}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

**2.4.3 Air**

Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang paling murah. Fungsi air dalam beton adalah untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Untuk membuat semen bereaksi hanya dibutuhkan air sekitar 25-30 persen dari berat semen. Tetapi pada kenyataan dilapangan apabila faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 maka adukan sulit dikerjakan, sehingga umumnya faktor air semen lebih dari 0,40 yang mana terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Kelebihan air inilah yang berfungsi sebagai pelumas agregat, sehingga membuat adukan mudah dikerjakan (Zulkarnain and Kamil n.d.).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia (PUBI. 1982) antara lain:

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO<sub>3</sub>.
5. Semua air yang muatannya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi

## **2.5 Perencanaan Beton Berpori (Mix Design)**

Desain campuran beton, atau mix design, adalah proses penting untuk menentukan proporsi bahan-bahan dalam pembuatan beton agar memenuhi kebutuhan teknis dan ekonomis, dengan fokus pada kekuatan, daya tahan, kemudahan pengerjaan, dan efisiensi biaya. Perencanaan beton berpori membutuhkan pendekatan yang hati-hati dalam memilih bahan, mendesain campuran, dan mengaplikasikan beton di lapangan, yang menawarkan solusi inovatif untuk pengelolaan air hujan dan keberlanjutan lingkungan, meskipun terdapat beberapa kelemahan seperti kekuatan tekan yang rendah. Beton berpori dianggap sebagai pilihan unggul dalam proyek konstruksi modern karena manfaatnya dalam aplikasi ramah lingkungan. Biasanya beton berpori dirancang untuk mencapai:

1. Mudah nya pengolahan (*workability*) adukan beton, yang dalam praktik diukur melalui nilai slump.
2. Memenuhi kekuatan yang ditentukan, beton harus memiliki kekuatan tekan (*Compressive Strength*) yang sesuai dengan kebutuhan struktural pada umur tertentu.

3. Konsistensi dan kestabilan, campuran perlu memiliki tingkat stabilitas yang tinggi sepanjang proses pengadukan, pengecoran, dan pemadatan.

Dalam perencanaan campuran beton, terdapat beberapa faktor yang sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kinerja beton yang dihasilkan. Faktor-faktor ini harus diperhitungkan dengan cermat agar beton memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

1. Faktor air-semen (W/C ratio) adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran beton. Ini merupakan parameter paling penting dalam menentukan kekuatan tekan dan durabilitas beton.
2. Gradasi agregat mengacu pada distribusi ukuran butiran dalam agregat kasar dan halus. Gradasi yang baik akan menghasilkan beton yang lebih padat dan lebih kuat.
3. Slump adalah ukuran dari kekentalan atau kelecakan (workability) beton segar. Workability sangat penting untuk memastikan beton dapat dengan mudah ditempatkan dan dipadatkan tanpa segregasi atau bleeding.
4. Waktu pengerasan beton sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan.

## **2.6 Slump Test**

Slump test merupakan suatu metode dalam uji beton yang akan digunakan pada pengecoran. Sebelum pelaksanaan pengecoran akan diambil uji sampel yang dimana sampel akan digunakan untuk uji slump. Saat sebelum pengecoran akan diambil sampel beton yang dimana pengambilan sampel dilakukan untuk mengetahui nilai slump dari beton yang akan digunakan. Penggunaan vendor dilakukan untuk mempercepat pekerjaan sekaligus menjaga mutu dari beton yang digunakan (Sunjoto 1989).

Menurut peraturan beton Indonesia (PBI 1971), nilai slump untuk pekerjaan beton dapat dilihat berdasarkan pada table 2.2 berikut.

**Tabel 2.2** Nilai slump untuk pekerjaan beton

Uraian	Slumpt (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tiang betulang, kaison, pondasi bawah tanah	9,0	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
Pekerjaan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

## 2.7 Sifat Mekanik Beton Berpori

Sifat mekanik beton mengacu pada perilaku dan sifatnya saat terkena beban mekanis, seperti tekanan, tarik, geser, lentur, dan torsi. Aspek ini sangat krusial dalam perencanaan dan desain struktur karena berdampak pada kinerja serta keamanan beton dalam penggunaan sehari-hari. Di bawah ini adalah penjelasan rinci tentang sifat mekanik beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi yakni beton segar dan beton yang sudah mengeras.

### 2.7.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) adalah beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur saat diberi gaya tekan tertentu dari mesin. Ini adalah sifat paling penting dalam menentukan kualitas beton. Kekuatan tekan dipengaruhi oleh perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air, serta jenis campuran. Rasio air terhadap semen adalah faktor utama dalam menentukan kekuatan beton (Dady 2015).

Standarisasi kekuatan tekan beton berpori sesuai SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2.3** Sifat-Sifat Fisika Beton

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air rata-rata maks
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber: SNI 03-0691-1996

Keterangan:

Beton mutu A = Digunakan untuk jalan

Beton mutu B = Digunakan untuk pelataran parkir

Beton mutu C = Digunakan untuk pejalan kaki

Beton mutu D = Digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya

Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan ACI 522-10, beton berpori memiliki nilai kuat tekan yang tercantum dalam tabel 2.4 di bawah ini.

**Tabel 2.4** Kuat Tekan Beton Berpori

Nilai	NRMCA, 2011 (Mpa)	ACI 522R-10 (Mpa)
Minimum	3,5	2,8
Maksimum	28	28

Sumber: NRMCA, 2011 dan ACI 522R-10

Menurut SNI 1974-2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum benda uji dengan luas penampangnya. Kuat tekan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

$f_c$  = Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (Mpa)

P = Gaya tekan aksial (Newton, N)

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

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/mm^2$  atau Mpa (Mega pascal). Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Jenis dan kualitas semen berpengaruh pada kuat tekan rata-rata serta kuat batas beton
- b. Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
- c. Perawatan beton penting untuk diperhatikan karena pengeringan prematur dapat mengurangi kekuatan hingga 40%.
- d. Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan
- e. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

### 2.7.2 Permeabilitas

Menurut (Nevilla, 1995), permeabilitas merupakan kemudahan air atau gas melewati beton. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah faktor air semen dari campuran beton, kondisi lingkungan, dan sifat dari semen.

Menurut (Hanta, 2015) dan (Makmur, 2015), nilai permeabilitas dapat ditentukan melalui pengujian yang memanfaatkan prinsip penurunan tinggi energi (*Falling Head Meter*). Nilai akhir permeabilitas air pada beton berpori dihitung menggunakan rumus berikut.

$$I = \frac{KM}{D^2 t} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

I = Lanju infiltrasi (Cm/C)

D = Diameter benda uji (mm)

T = Waktu yang dibutuhkan ntuk meloloskan air (s)

K = Konstanta dengan nilai 4,584,666,000

M = Massa dengan nilai 1 Kg

Menurut (NRMCA. 2011) dan (ACI 522R-10), beton berpori memiliki nilai permeabilitas minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Permeabilitas Beton Berpori

Nilai	NRMCA, 2011 (cm/s)	ACI 522R-10 (cm/s)
Minimum	0,2	0,14
Maksimum	1,2	1,22

Sumber: NRMCA, 2011 dan ACI 522R-10

### 2.7.3 Total Void

Total void pada beton berpori adalah persentase volume ruang kosong (pori-pori) dalam beton dibandingkan dengan volume totalnya. Pori-pori ini terbentuk akibat kombinasi antara rongga udara, evaporasi air, serta celah antar agregat yang tidak sepenuhnya terisi pasta semen. Total void dalam beton berpori adalah parameter penting yang mempengaruhi kekuatan, permeabilitas, dan daya tahan beton. Kontrol terhadap void sangat penting untuk memastikan beton memiliki performa optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasinya, baik untuk struktur ringan maupun perkerasan jalan yang membutuhkan permeabilitas tinggi.

Isi pori ditentukan berdasarkan prosentase total dari pori-pori oleh volume dalam benda uji. Isi pori dari beton berpori dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Total Void (\%)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

A = Berat sampel dalam air (gram)

B = Berat sampel kondisi permukaan jenuh (gram)

C = Berat sampel kering oven (gram)

Beton non-pasir memiliki nilai rongga minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 2.5, sebagaimana diungkapkan oleh (Tisnoyuwono 2014).

**Table 2.6** Nilai Rongga Beton Non Pasir

Nilai Rongga	Persentase(%)
Minimum	12
Maksimum	25

Sumber: Trisnoyuwono, 2014

#### 2.7.4 Densitas

Densitas adalah rasio antara massa suatu objek dan volume objek tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara menimbang berat objek yang diuji dan membaginya dengan volume objek tersebut (Asiva Noor Rachmayani, 2015).

SNI 1973:2008, yang membahas metode uji densitas beton, menyediakan prosedur untuk menentukan densitas campuran beton segar secara gravimetrik, serta persamaan untuk menghitung volume produksi campuran, kadar semen, dan kandungan udara. ACI 522R-10 menambahkan bahwa berat satuan (densitas) beton berpori biasanya berkisar antara 1.680 kg/m<sup>3</sup> hingga 1.920 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan SNI 1973:2008, nilai densitas beton berpori dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{M}{V} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

M = massa benda uji (kg)

V = volume benda uji (m<sup>3</sup>)

#### 2.7.5 Kuat Belah

Beton rentan terhadap tegangan tarik, dengan kekuatan tarik biasanya 9%–15% dari kekuatan tekan. Dalam penelitian ini, kekuatan tarik diukur menggunakan percobaan belah silinder pada silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm yang dibebani tegak lurus sumbu longitudinal hingga terbelah (Supit, Pandaleke, dan Dapas, 2016).

Menurut SNI 03-2491-2002 tentang agregat ringan untuk beton ringan struktural, kuat tarik belah beton ringan minimal 2,0 MPa dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi l D} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

$F_{ct}$  = Kuat tarik belah (Mpa)

P = Beban pada waktu belah (N)

l = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

Berdasarkan JIS (*Japanese Industrial Standard*) A 1113 kuat belah beton memiliki nilai berkisar  $\frac{1}{10}$  sampai dengan  $\frac{1}{13}$  dari nilai kuat tekannya. Melalui pengujian sampel beton dengan prosedur dengan standar ini. Dapat disimpulkan jika nilai perbandingan kuat belah terhadap kuat tekan lebih tinggi dari  $\frac{1}{13}$  berarti memiliki kuat belah yang kuat dan apabila nilai yang didapatkan lebih rendah dari  $\frac{1}{10}$  maka nilai kuat belah yang dihasilkan lemah.

#### **2.7.6 Pertumbuhan Rumput**

Infiltrasi adalah proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam lapisan tanah, yang berasal dari hujan, irigasi, atau sumber lain. Proses ini penting untuk mengisi cadangan air tanah, mengurangi limpasan permukaan, dan mencegah erosi. Laju infiltrasi pada beton berpori menunjukkan kecepatan air meresap melalui beton ke tanah di bawahnya, berkat rongga-rongga yang terbentuk dari agregat kasar, berbeda dengan beton biasa yang sulit dilalui air. Pengujian pertumbuhan rumput pada beton berpori penting karena infiltrasi air mempengaruhi ketersediaan air, oksigen, dan nutrisi di zona akar rumput. Beton berpori dirancang untuk memungkinkan air meresap ke tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, termasuk rumput. (Horiguchi, Mimura, and Monteiro, 2021).

#### **2.8 Perawatan Beton (*Curing*)**

Curing beton adalah proses perawatan beton segar setelah pengecoran untuk memastikan beton memperoleh kekuatan dan daya tahan optimal. Proses ini bertujuan untuk menjaga kelembapan, suhu, dan kondisi lingkungan beton selama periode tertentu, sehingga reaksi hidrasi semen dapat berlangsung dengan baik. Perawatan beton dilakukan setelah beton mencapai fase pengerasan atau setelah bekisting dibongkar. Tujuannya adalah untuk menciptakan kondisi yang mendukung reaksi kimia dalam campuran beton. Proses curing mencakup pemeliharaan kelembapan dan suhu, baik di dalam maupun di permukaan beton, selama periode tertentu.

Menurut (Nugroho, 2010), tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan persentase pori-pori beton dibandingkan dengan volume total beton. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai porositas adalah sebagai berikut:

### **2.8.1 Tujuan perawatan beton**

Adapun tujuan dari perawatan beton atau curing adalah sebagai berikut:

- a. Menjaga beton dari kelembapan air semen yang banyak pada saat setting time concrete.
- b. Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan dari hari pertama.
- c. Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungannya yang terlalu besar.
- d. Mendapatkan kekuatan beton tertinggi.
- e. Menjaga stabilitas dimensi beton.
- f. Menjaga beton dari keretakan.

### **2.8.2 Metode perawatan beton**

Perawatan pada beton dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan yang terutama disebabkan oleh suhu, serta perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki berbagai segi kualitas beton tersebut. Beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut. (Setiawan, 2015).

#### **a. Perawatan dengan air**

Cara ini paling banyak digunakan. Namun demikian, penggunaan cara ini perlu didukung oleh pertimbangan ekonomi sehubungan dengan kondisi lapangan dan tersedianya air. Dengan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton.

Beberapa macam cara perawatan beton menggunakan air adalah sebagai berikut:

- 1) Penyemprotan dengan menggunakan air.
- 2) Perendaman dalam air.
- 3) Penumpukan jerami basah.
- 4) Pelapisan tanah atau pasir basah.
- 5) Penyelimutan dengan kain atau karung basah.

#### **b. Perawatan dengan penguapan**

Cara ini banyak digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan kuat tekan awal yang tinggi pada elemen-elemen beton pracetak, seperti pada fabrikasi tiang pancang beton pratekan.

c. Perawatan dengan penguapan tekanan tinggi

Cara ini juga dikenal sebagai High Pressure Steam Curing. Banyak digunakan untuk perawatan elemen beton ringan. Cara ini digunakan sering kali dengan tujuan untuk mengurangi resiko terjadinya retak susut elemen beton dan sekaligus meningkatkan kemampuan ketahanan terhadap sulfat.

d. Perawatan dengan isolasi permukaan beton

Perawatan dengan lapisan rapat pada permukaan beton biasa efektif menghambat penguapan air dalam pori-pori beton dan mengurangi risiko perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar beton. Beberapa material yang biasa digunakan untuk keperluan perawatan ini antara lain:

- 1) Lapisan pasir kering
- 2) Lapisan plastik
- 3) Kertas berserat, yang dilapisi dengan adhesive bituminous

e. Tanpa perawatan

Seringnya dijumpai dilapangan konstruksi setelah dilakukan pengecoran, banyak sekali dijumpai dilapangan mengabaikan perawatan pada bangunan ruko-ruko atau bangunan lainnya.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari data penelitian analisis dan pembahasan dapat ditarik beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton berpori pada umur 7 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP adalah 8,029 Mpa, 3,504 Mpa, dan 1,772 Mpa. Sedangkan pada umur 28 hari, nilai kuat tekan untuk variasi yang sama adalah 11,054 Mpa, 2,028 Mpa, dan 0,677 Mpa. Dari nilai tersebut variasi CS0-TP pada umur 7 dan 28 hari dan variasi CS25-TP pada umur 7 hari memenuhi persyaratan NMRCA 2011 dan ACI 522R-10 sedangkan variasi lain tidak memenuhi syarat.
2. Permeabilitas beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 0,773 cm/s, 1,097 cm/s, dan 1,321 cm/s. Dari nilai tersebut variasi CS0-TP dan variasi CS25-TP memenuhi persyaratan NMRCA 2011 dan ACI 522R-10 sedangkan variasi CS50-TP tidak memenuhi syarat.
3. Total void beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 16,44%, 23,907%, dan 24,687%. Dari nilai diatas semua variasi memenuhi syarat yang ditetapkan Trisnoyuwono, 2014 dalam buku Beton Non Pasir.
4. Densitas beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 1856.61 kg/m<sup>3</sup>, 1587.46 kg/m<sup>3</sup>, dan 1321.24 kg/m<sup>3</sup>. Dari nilai tersebut variasi CS0-TP memenuhi syarat berdasarkan ACI 522R-10 sedangkan variasi lain tidak memenuhi.
5. Kuat belah beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 1,015 Mpa, 0,444 Mpa, dan 0,222 Mpa. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, semua variasi beton berpori tidak memenuhi syarat.

6. Hasil uji pertumbuhan rumput ini membuktikan bahwa campuran ini memiliki kemampuan infiltrasi yang baik. Pertumbuhan rumput pada beton berpori dengan bahan tambah cangkang sawit menunjukkan bahwa material ini dapat menjadi alternatif yang baik untuk aplikasi perkerasan ramah lingkungan dan penghijauan kota.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis, maka sebagai bahan pertimbangan perlu diajukan saran sebagai berikut:

1. Diharapkan ada penelitian lanjutan beton berpori dengan penggunaan bahan pengganti atau bahan campuran lainnya yang dapat meningkatkan kuat tekan beton berpori.
2. Penelitian ini dapat ditingkatkan dengan melakukan perbandingan terhadap berbagai jenis benda uji yang lebih beragam untuk memperoleh kualitas yang lebih baik.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori yang menggunakan perawatan yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, Aidil. 2021. "Komposisi Beton Pori Sebagai Bahan Ramah Lingkungan Mengatasi Banjir." *Jurnal Unitek* 14(2): 48–57. doi:10.52072/unitek.v14i2.244.
- Agus, Irzal. 2022. "Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan." *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN* 11(1): 18–24. doi:10.55340/jmi.v11i1.825.
- Alkhaly, Yulius Rief, and M Nazar. 2013. "Beton Non-Pasir Dengan Agregat Cangkang Kelapa Sawit." *Teras Jurnal* 3(1): 76–83.
- Almufid, Almufid. 2018. "Inovasi Beton Mutu Tinggi Ramah Lingkungan Sebagai Penunjang Pembangunan Nasional." *Jurnal Teknik* 7(1). doi:10.31000/jt.v7i1.939.
- Anggraeni, Nurfitri, Yusrianti Yusrianti, and Amrullah Amrullah. 2020. "Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Jenis PET Pada Pembuatan Beton Berpori." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 6(1): 53–59. doi:10.29080/alard.v6i1.994.
- Anonim. 1982. "PUBI-1982 Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia." *Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum* 2(1): 1–344. <https://simantu.pu.go.id/personal/img-post/autocover/5093c1377acb71720fc692e637db990e.pdf%0Ahttp://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/43/65>.
- ASTM C.33-03, 2002. *Standard Spesification for Concrete Aggregates. Annual Books of ASTM Standards*. USA.
- ACI Committee. 2010. *ACI 522R-10, Report on Pervious Concrete*. American Concrete Institute, USA.
- ASTM C150, *Standar specification For Portland Cement* ASTM Internasional.
- ASTM C-188, *Standar Test Method For Density Of Hyndraulic Cement* ASTM Internasional.
- ASTM C.33-03, 2002. *Standard Spesification for Concrete Aggregates. Annual Books of ASTM Standards*. USA.

- Badan Standarisasi Indonesia, 1990. SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2008. SNI 1969:2008, *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar* Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 1998. SNI 03-4804-1998, *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat Kasar (Kerikil)*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 1990. SNI 03-1971-1990, *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 1996. SNI 03-0691-1996, *Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2011. SNI 1974:2011, *Uji Kuat Tekan Beton*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2016. SNI 1973:2011, *Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara (Gravimetrik)*. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1972-1990, *Tata Cara Pengujian Slump Test*. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 03-2491-2002, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*, Jakarta, BSN.
- Butarbutar, Nico Fauzi S., Daniel Siagian, Rahelina Ginting, and Janter Napitupulu. 2023. "KAJIAN PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON  $f'_c$  30 MPa." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 12(2): 280. doi:10.46930/tekniksipil.v12i2.3598.
- Dady, Yohanes Trian. 2015. "Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang." *Jurnal Sipil Statik* 3(5): 341–50.
- Dasar, A., Patah, D. and Okviyani, N., 2025. Impact of incorporating nano-palm oil fuel ash on the mechanical properties and durability of paving blocks prepared with seawater and sea sand for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 481, p.141539.

- Dasar, A., Patah, D., Caronge, M.A., Mahmuddin, F. and Apriansyah, A., 2024. Strength and Durability of Paving Block with Seawater and POFA (Palm Oil Fuel Ash). *Key Engineering Materials*, 1000, pp.11-22.
- Eko, Hidrayanto, Nugroho. 2010. “Analisis porositas Dan Permeabilitas Beton Dengan Bahan Tambah Fly Ash Untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)”.
- Gina, Mazaya Btari, and Amalia Amalia. 2019. “Kualitas Beton Berpori Dengan Bahan Tambah Silica Fume Sebagai Bahan Perkerasan Kaku Yang Ramah Lingkungan.” *Jurnal Poli-Teknologi* 18(1): 93–102. doi:10.32722/pt.v18i1.1293.
- Horiguchi, Itaru, Yoichi Mimura, and Paulo J M Monteiro. 2021. “Bahan Pembersih Performa Pertumbuhan Tanaman Dari Beton Tembus Pandang Yang Mengandung Agregat Cangkang Tiram Yang Dihancurkan.” 2(November).
- Indrayadi, M, Erwin Sutandar, and Asep Supriyadi. 2021. “Beton Berpori Precast.” *Jurnal TEKNIK-SIPIL* 21(2): 146. doi:10.26418/jtsft.v21i2.51318.
- Irlan, Ade Okvianti, Grace Kurniawati, and Muhammad Sofyan. 2020. “Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori Dengan Penggunaan Flyash Dan Superplasticizer Untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan.” *Kilat* 9(2): 244–56. <https://stt-pln.e-journal.id/kilat/article/view/954>.
- Manaf, Abdi, Irma Ridhayani, and Amalia Nurdin. 2023. “Pengaruh Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Berpori.” *Bandar* 5(1): 17–26.
- Mustofa, Ahmad Said. 2015. *Pengaruh Variasi Ukuran Gradasi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Berpori*. [http://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/65672/Ainul Latifah-101810401034.pdf?sequence=1](http://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/65672/Ainul%20Latifah-101810401034.pdf?sequence=1).
- National Ready Mixed Concrete Assosiation. 2011. *NRMCA 2011, Pervious Concrete and Construction (International Concrete Sustainability Conference Dubai, Desember 2011)*. USA.
- Patah, Dahlia, and Amry Dasar. 2023. “Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar.” *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 11(2): 206–12. doi:10.32487/jtt.v11i2.1762.

- Patah, D., Dasar, A. and Nurdin, A., 2025a. Sustainable concrete using seawater, sea-sand, and ultrafine palm oil fuel ash: Mechanical properties and durability. *Case Studies in Construction Materials*, 22, p.e04129.
- Patah, D., Dasar, A. and Noor, N.M., 2025b, January. The Effects of Palm Oil Fuel Ash on Mechanical and Durability Properties of Sustainable Foamed Concrete. In *Journal of the Civil Engineering Forum* (pp. 75-84).
- Patah, D., Dasar, A., Fakhruddin, F., Shintarahayu, B. and Apriansyah, A., 2024. The Impact of Fly Ash and Sea Sand on Strength and Durability of Concrete. *Key Engineering Materials*, 1000, pp.23-33.
- Patah, D., Dasar, A., Ridhayani, I., Suryani, H., Saudi, A.I. and Sainuddin, S., 2024. Kekuatan dan Durabilitas Oil Palm Shell (OPS) sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar pada Beton Bertulang. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 12(1), pp.80-87.
- PBI. 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971." *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan* 7: 130.
- Riadi, Hafiz, and Danil Danil. 2016. "Pemanfaatan Bahan Limbah Cangkang Sawit Sebagai Bahan Pengisi Agregat Kasar Pada Beton." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 1(2): 80–85. doi:10.29080/alard.v1i2.119.
- Setiati, N. Retno, and Hanna Abdul Halim. 2018. "Pemanfaatan Semen Portland Slag Untuk Meningkatkan Sifat Mekanik Dan Durabilitas Beton." *Jurnal Permukiman* 13(2): 77. doi:10.31815/jp.2018.13.77-89.
- Simanjuntak, Johan Oberlyn, Tiurma Elita Saragi, Nurvita Insani Simanjuntak, and Imesari Hulu. 2021. "Pengujian Kuat Tekan Beton Terhadap Penggunaan Cangkang Kemiri Pada Beton Ramah Lingkungan." *Jurnal Darma Agung* 29(2): 146. doi:10.46930/ojsuda.v29i2.942.
- Sulianti, Ika, Agus Subrianto, Bambang Hidayat Fuady, and A Z Fuad. 2022. "96+-+103+Ika+Sulianti." 11(2): 96–103.
- Sunjoto. 1989. "Jurnal Teknik Sipil 1 Jurnal Teknik Sipil." *Jurnal Sendi Teknik Sipil* 1(1): 1–8. <https://jurnal.usk.ac.id/JTS/index>.
- Supit, Fransiska Verent, Ronny Pandaleke, and Servie O Dapas. 2016. "Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Agregat Yang Berasal

Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara.” *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 6(2): 476–84.

Trisnoyuwono, Diarto. 2014. *Beton Non Pasir*. Yogyakarta, Graha Ilmu.

Vitri, Gusni, and Hazmal Herman. 2019. “Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton.” *Jurnal Teknik Sipil ITP* 6(2): 78–87. doi:10.21063/jts.2019.v602.06.

Zulkarnain, Fahrizal, and Bustanul Kamil. “Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sica Fume Pada Perendaman Air Laut.” : 1–10.