

# **SKRIPSI**

## **PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI MATERIAL INOVATIF UNTUK BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN**

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



**Disusun oleh :**

**MUHAMMAD ARIF**

**D01 21 514**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT DAN ABU**  
**CANGKANG SAWIT SEBAGAI MATERIAL INOVATIF**  
**UNTUK BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :**

**Muhammad Arif**

**D01 21 514**

**(Sarjana Jurusan Teknik Sipil)**

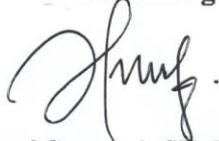
**Universitas Sulawesi Barat**

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

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Maene, 7 Mei 2025



*Amf*

MUHAMMAD ARIF

## ABSTRAK

### PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI MATERIAL INOVATIF UNTUK BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN

MUHAMMAD ARIF

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

[muh.arif.0117@mail.com](mailto:muh.arif.0117@mail.com)

Beton berpori merupakan solusi beton ramah lingkungan karena kemampuannya dalam mengisi kembali air tanah dan mengurangi limpasan air permukaan. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi penggunaan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu cangkang sawit (POFA) sebagai campuran dalam pembuatan beton berpori, dengan fokus untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan, permeabilitas, total void, densitas, dan kuat tarik belah beton. Metode penelitian menggunakan substitusi agregat kasar (kerikil) sebesar 25% dan 50% dengan cangkang sawit, serta substitusi semen sebesar 10% dengan abu cangkang sawit (POFA), dan pengujian dilakukan pada umur beton 7 hari (kuat tekan) dan 28 hari (kuat tekan, permeabilitas, total void, densitas, dan kuat tarik belah). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan cangkang sawit dan abu cangkang sawit cenderung meningkatkan nilai total void dan permeabilitas beton, namun berpotensi menurunkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan densitas beton berpori.

**Kata Kunci:** Beton berpori, cangkang sawit, abu cangkang sawit, ramah lingkungan.

## ***ABSTRACT***

### ***UTILIZATION OF PALM KERNEL SHEEL AND PALM OIL FLY ASH AS INNOVATIVE MATERIALS FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY POROUS CONCRETE.***

**MUHAMMAD ARIF**

**Civil Engineering Study Program, Faculty of Enineering, Universitas  
Sulawesi Barat (2025)**

[\*muh.arif.0117@mail.com\*](mailto:muh.arif.0117@mail.com)

Porous concrete is an environmentally friendly concrete solution due to its ability to replenish groundwater and reduce surface water runoff. This research aims to investigate the potential use of oil palm shells as a partial replacement for coarse aggregates and oil palm ash (POFA) as a mixture in the production of porous concrete, focusing on determining its impact on compressive strength, permeability, total voids, density, and splitting tensile strength of the concrete. The research method involves substituting 25% and 50% of the coarse aggregate (gravel) with oil palm shells, as well as substituting 10% of the cement with POFA. Testing is conducted at 7 days (compressive strength) and 28 days (compressive strength, permeability, total voids, density, and splitting tensile strength) of concrete age. The results indicate that the utilization of oil palm shells and POFA tends to increase the total void and permeability values of the concrete, but has the potential to decrease the compressive strength, splitting tensile strength, and density of the porous concrete.

***Keywords:*** *Pervious concrete, palm kernel shell, palm oil fly ash, environmentally friendly.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Beton adalah campuran dari semen Portland, agregat kasar, agregat halus, dan air atau tanpa adanya bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton merupakan elemen yang sangat penting karena fungsi utamanya sebagai salah satu pembentuk struktur yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Fenomena ini bisa dipahami karena sistem konstruksi beton memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan alternatif lain. Keunggulan beton sebagai bahan konstruksi antara lain yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap api, dan biaya perawatan yang relatif murah (Nasrah, dkk. 2024).

Seiring dengan meningkatnya pembangunan, kebutuhan akan beton juga semakin tinggi. Namun, peningkatan penggunaan beton ini dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mencari solusi dalam menghasilkan beton yang ramah lingkungan. Beton ramah lingkungan adalah jenis beton yang menggunakan lebih sedikit energi alam dalam proses produksinya dan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> (karbondioksida) yang lebih rendah dibandingkan dengan beton biasa. Bahan utama dalam pembuatan beton adalah semen, yang berasal dari batu kapur. Selama proses pembuatan semen, CO<sub>2</sub> akan dilepaskan. Dengan demikian, beton ramah lingkungan berperan penting dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dengan cara mengurangi penggunaan semen (Simanjuntak, dkk. 2020).

Beton berpori merupakan salah satu jenis beton yang ramah lingkungan karena mampu mengisi kembali air tanah dan mengurangi limpasan air permukaan. Beton ini banyak digunakan dalam pengaspalan jalan, trotoar, area parkir, dan jalur pejalan kaki karena memiliki permeabilitas yang tinggi serta sifat termal yang baik. Namun, untuk mencapai tingkat porositas yang tinggi dan rongga yang terhubung, beton perlu memiliki jumlah pori yang sedikit dengan cara tidak menggunakan agregat halus. Meskipun demikian, pendekatan ini dapat menyebabkan penurunan signifikan pada kekuatan dan daya tahan beton. Oleh karena itu, meskipun beton berpori menawarkan sifat ramah lingkungan yang lebih baik dan kemampuan untuk

menyerap air hujan, penerapannya tetap terbatas karena menghasilkan kuat tekan yang rendah(Patah & Dasar, 2023).

Sulawesi Barat memiliki potensi besar dalam sektor perkebunan kelapa sawit dan berada di posisi kedua di Kawasan Timur Indonesia, dengan luas lahan mencapai 152,725 hektar yang menghasilkan 242,733 ton. Kabupaten Pasangkayu dan Mamuju Tengah merupakan dua daerah penghasil sawit utama di Sulawesi Barat, di mana banyaknya perkebunan kelapa sawit menyebabkan penumpukan limbah abu cangkang sawit. Masyarakat di sekitar wilayah tersebut umumnya hanya memanfaatkan abu cangkang sawit sebagai pupuk untuk tanaman, sehingga limbah ini tidak memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi di mata masyarakat setempat, yang berakibat pada peningkatan jumlah limbah setiap tahunnya.

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor agroindustri yang paling signifikan di Indonesia. Menurut laporan Kementerian Pertanian pada tahun 2021, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai sekitar 15,08 juta hektar. Namun, industri ini juga menghasilkan limbah yang dikenal sebagai Palm Oil Fly Ash (POFA). POFA adalah limbah padat yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari proses industri kelapa sawit, yang diperoleh melalui pembakaran limbah seperti serat kelapa sawit, kernel, tandan buah kosong, dan cangkang di pembangkit listrik untuk menghasilkan energi(Dasar & Patah, 2024).

Limbah cangkang sawit dan abu cangkang sawit merupakan potensi baru yang sangat berpotensi untuk dikembangkan dan dimanfaatkan lebih lanjut. Dengan demikian, nilai ekonomis dari abu cangkang sawit dapat ditingkatkan, serta dapat mengurangi limbah di lingkungan. Di harapkan, pemanfaatan limbah cangkang sawit dan abu cangkang sawit dapat maksimal, misalnya dengan menggunakan limbah cangkang sawit sebagai material inovatif pada beton berpori yang ramah lingkungan.

Dari beberapa uraian diatas, penulis mengambil judul **“PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI MATERIAL INOVATIF PADA BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN”**. Dengan memanfaatkan limbah cangkang sawit ini sebagai material inovatif pada beton berpori yang ramah lingkungan diharapkan dapat

meningkatkan kualitas dari beton berpori itu sendiri. Selain itu diharapkan juga dapat membantu mengurangi permasalahan limbah yang ada dilingkungan dengan memanfaatkan limbah cangkang sawit ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan memanfaatkan limbah cangkang sawit dan abu cangkang sawit sebagai material inovatif dalam pembuatan berpori dapat diambil rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana pengujian densitas (massa jenis) beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?
2. Bagaimana pengujian total void beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?
3. Bagaimana pengujian permeabilitas beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?
4. Bagaimana pengujian kuat tekan beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?
5. Bagaimana pengujian kuat belah beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?
6. Bagaimana proses pertumbuhan rumput pada plat beton berpori yang memanfaatkan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dengan persentase cangkang sawit 0%, 25%, 50% dan abu cangkang sawit 10%, pada campuran beton berpori?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

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

1. Untuk mengetahui nilai densitas (massa jenis) pada beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.
2. Untuk mengetahui nilai total void pada beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.
3. Untuk mengetahui nilai permeabilitas pada beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.
4. Untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.
5. Untuk mengetahui nilai kuat belah pada beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.
6. Untuk mengetahui pertumbuhan rumput pada plat beton berpori dengan variasi campuran cangkang sawit 0%,25%, dan 50% dan abu cangkang sawit 10%.

### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam pembuatan beton berpori ini terdapat banyak 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 Anato, Kab. Pinrang, Prov. Sulawesi Selatan.
2. Limbah cangkang sawit yang digunakan diambil dari PT. Lestari II di Kecamatan Budhong-budhong, Kab. Mamuju Tengah, Prov. Sulawesi Barat.
3. Pembuatan dan perawatan beton berpori menggunakan air tawar yang berasal dari sumur bor kampus padhang-padhang Universitas Sulawesi Barat.

4. Persentase cangkang sawit yang digunakan yaitu 0%, 25% dan 50% dan abu cangkang sawit yaitu 10%.
5. Semua agregat yang digunakan dicuci terlebih dahulu.
6. Cangkang sawit yang digunakan yaitu tanpa perlakuan atau tidak melalui proses penyaringan.
7. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dan 1 buah plat dengan tinggi 10 cm, lebar 25 cm, dan pajang 30 cm.
8. Setiap variasi pencampuran benda uji sebanyak 8 buah beton silinder dan 1 buah pelat.
9. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan dengan SNI 1974:2011, permeabilitas dengan ASTM C1701, densitas (massa jenis) dengan SNI 1973:2016, total void dengan ASTM C642, dan kuat tarik belah beton dengan SNI 2491:2014.
10. Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton dengan umur 7 hari dan 28 hari. Sedangkan pengujian permeabilitas, total void, densitas, dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 28 hari.

### **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 lebih ramah lingkungan.
2. Penelitian ini dapat dipakai untuk merancang campuran beton berpori dengan menggunakan cangkang sawit sebagai pengganti sebagai kerikil.
3. Memberikan nilai tambah terhadap cangkang sawit dimana selama ini merupakan limbah yang sangat minim pemanfaatannya.
4. Pada penelitian bisa digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi lima bab yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh

Penutup. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab diatas.

### **BAB I Latar Belakang**

Bab ini memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

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

### **BAB III Metode Penelitian**

Bab ini memuat bagian alir penelitian, tahapan selama penelitian meliputi tempat dan waktu penelitian, alat penelitian, prosedur kerja, metode percobaan, metode pengumpulan data, serta diagram alir penelitian.

### **BAB IV Hasil dan Penelitian**

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil-hasil pengujian kuat tekan, permeabilitas, kepadatan, kuat tarik dan total void.

### **BAB V Penutup**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisis hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Dalam bidang konstruksi, banyak peneliti yang telah melakukan studi mengenai ketahanan dan kualitas beton dengan fokus pada material penyusunnya. Beberapa di antaranya telah membahas pemanfaatan limbah cangkang sawit dalam pembuatan beton berpori. Namun, penelitian yang dilakukan oleh penulis memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya, baik dari segi persentase material yang digunakan, ukuran, maupun jenis tes uji yang diterapkan pada berbagai sampel yang dibuat.

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

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh abu cangkang sawit sebagai substitusi sebagian semen dalam pembuatan beton berpori. Penelitian ini menerapkan abu cangkang sawit dengan persentase 10%, 20%, 30%, dan 40% sebagai pengganti semen. Pengujian kekuatan tekan beton berpori dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari, sementara pengujian porositas dan permeabilitas dilakukan pada beton berpori yang berumur 28 hari. Nilai optimum penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti semen berkisar antara 0-40% dengan interval 10% dari berat total semen, dan menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang sawit sebesar 20% termasuk dalam mutu D berdasarkan SNI 03-0691-1996, yang diperuntukkan bagi aplikasi taman dan sejenisnya.

Perbedaan dari penelitian tersebut yaitu penelitian tersebut menggunakan abu cangkang sawit dengan persentase 10%, 20%, 30%, dan 40% sedangkan penelitian penulis menggunakan abu cangkang sawit dengan persentase 10%. Adapun perbedaan lainnya yaitu penelitian penulis ini menggunakan limbah cangkang sawit tanpa saring dengan persentase 25% dan 50%.

- b. Anugrah (2023), Pembuatan Beton Berpori Dengan Menggunakan Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Kerikil.

Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan limbah cangkang sawit sebagai pengganti kerikil dalam pembuatan beton berpori. Penelitian ini memanfaatkan

cangkang sawit sebagai pengganti agregat kasar (kerikil) dengan menggunakan ukuran agregat yaitu ukuran 1-2 cm dan ukuran 0,5-1 cm. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan pada beton berpori dengan umur 7 dan 28 hari, pengujian permeabilitas dan porositas pada umur 28 hari.. Nilai optimum penggunaan cangkang sawit sebagai pengganti kerikil dengan persentase 25%, 50%, 75% dan 100% pada umur 28 hari adalah beton berpori variasi CSA50B50 dengan nilai kuat tekan sebesar 0,868 Mpa, permeabilitas sebesar 2,833 cm/s dan porositas sebesar 33,739%. Tidak memenuhi dari standar yang ditetapkan dan nilai kuat tekan beton berpori ini tidak masuk dalam mutu dikarenakan cangkang sawit tidak efektif untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar (kerikil).

Perbedaan pada penelitian tersebut yaitu penelitian anugrah menggunakan cangkang sawit sebagai pengganti kerikil dengan persentase 25%, 50%, 75%, dan 100% sedangkan penelitian penulis menggunakan cangkang sawit dengan persentase 25% dan 50%.

c. Simanjuntak dkk., (2020). Beton Bermutu dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Cangkang Sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah abu cangkang kelapa sawit dalam pembuatan beton ramah lingkungan. Dalam penelitian ini, abu cangkang sawit dijadikan sebagai bahan tambah pada semen dengan variasi campuran 0%, 3%, 6%, 9% dari berat semen. Jenis pengujian yang dilakukan berupa kuat tekan beton dan pengamatan benda uji dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Perhitungan kuat tekan beton yang hasil kuat tekan meningkat seiring dengan besar persentase penambahan abu cangkang sawit hingga 6% dengan kuat tekan sebesar 27,84 MPa dan hasil kuat tekan Menurun Pada persentase penambahan abu cangkang sawit pada 9% dengan kuat tekan sebesar 20,25 MPa.

Perbedaan pada penelitian tersebut yaitu penelitian simanjuntak dkk. menggunakan abu cangkang sawit sebagai bahan tambah pada semen dengan persentase 0%, 3%, 6%, dan 9% sedangkan penelitian penulis menggunakan abu cangkang sawit dengan persentase 10%. Adapun perbedaan lainnya yaitu penelitian

simanjuntak dkk. menggunakan sampel beton sedangkan penelitian penulis menggunakan sampel beton berpori.

d. Patah & Dasar, (2023) Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar

Studi ini meneliti hubungan antara ukuran agregat, kekuatan tekan, struktur pori, dan permeabilitas, serta berusaha memahami 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 meliputi pengujian kekuatan tekan pada umur 7 dan 28 hari, serta pengujian porositas dan permeabilitas pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tekan untuk komposisi 50%:50% pada Variasi 1 meningkat signifikan dengan ukuran agregat 10-20 mm dan 5-10 mm, mencapai nilai 22,40 MPa yang memenuhi syarat minimum yang ditetapkan oleh SNI 03-0691-2022 untuk Kelas B (aplikasi taman parkir). Di sisi lain, penggunaan agregat dengan ukuran seragam 100% menghasilkan kekuatan tekan yang lebih rendah.

Perbedaan dari penelitian yaitu penelitian Dahlia Patah, dkk. membuat beton berpori dengan menggunakan bahan utama agregat kasar sedangkan penelitian penulis membuat beton berpori dengan menggunakan bahan tambah cangkang sawit sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen.

e. Ardiansyah, (2023) Efek pencampuran Air laut dan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kekuatan Beton.

Beton juga diteliti untuk menemukan proporsi optimal dalam menggantikan sebagian semen dengan 5%, 10%, dan 20% abu cangkang sawit, dicampur dengan air laut dan menggunakan faktor air-semen sebesar 40%. Untuk mengevaluasi perilaku mekanik beton, penelitian ini menerapkan metode pengujian kuat tekan dan kuat belah, serta menghitung modulus elastisitas beton dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 10 cm x 20 cm, yang diuji pada umur 7 dan 28 hari. Pengujian ini didasarkan pada target kuat tekan sebesar 24,9 MPa. Untuk hasil dari penelitian tersebut mendapatkan nilai optimum penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian dari semen dengan persentase 5%, 10% dan 20% pada umur 28 hari adalah beton variasi 5% (CS5-SF) dengan nilai kuat tekan beton

sebesar 34.92 Mpa, dengan kuat belahnya 3.51 Mpa. Sudah memenuhi standar mutu beton yaitu mutu beton K300 (24,9 Mpa).

Perbedaan dari penelitian tersebut yaitu penelitian ardiansyah menggunakan beton sebagai sampel sedangkan penelitian penulis menggunakan beton berpori sebagai sampel. Perbedaan yang lain juga bisa dilihat yaitu penelitian ardiansyah menggunakan persentase abu cangkang sawit yaitu 5%, 10%, dan 20% sedangkan penelitian penulis ini menggunakan persentase abu cangkang sawit sebesar 10%.

## **2.2 Beton Secara Umum**

### **2.1.1. Pengertian Beton**

Menurut SNI 2847 : 2019, Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Proses pengerasan beton terjadi melalui reaksi kimia antara semen dan air, yang dikenal sebagai hidrasi, menghasilkan material yang kuat dan tahan lama, mirip dengan batu. Beton sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk gedung, jembatan, dan jalan raya, karena kemampuannya menahan beban tekan yang tinggi. Selain itu, beton dapat dicampur dengan bahan tambahan (*admixture*) untuk meningkatkan karakteristik tertentu seperti durabilitas dan kemudahan pengerjaan. Dengan sifat yang kokoh dan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya, beton menjadi pilihan utama dalam pembangunan infrastruktur modern.

### **2.1.2. Jenis jenis beton**

Secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu :

a. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton

Kelas dan mutu beton ini, dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu:

1. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural, seperti konstruksi jalan dan lantai dasar. Kuat tekan yang termasuk dalam kelas ini adalah K100, K125, K150, K175, dan K200.
2. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum yang memerlukan keahlian tertentu. Mutu yang termasuk dalam kelas ini adalah K225, K250, dan K275.

3. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang berat yang memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Mutu yang termasuk dalam kelas ini adalah K300, K350, K375, dan K500.
- b. Beton berdasarkan jenisnya
- Beton dibagi berdasarkan jenisnya, yaitu:
1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Berat jenis agregat ringan sekitar  $1900 \text{ kg/m}^3$  atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara  $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ , dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 Mpa.
  2. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2400 \text{ kg/m}^3$  dengan kuat tekan sekitar 15-40 Mpa.
  3. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

### **2.1.3. Kelebihan dan Kekurangan Beton**

Dalam SNI 03-2847-2019, beton memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu:

a. Kelebihan beton

Beton memiliki beberapa kelebihan adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan tinggi

Beton memiliki kemampuan menahan kuat tekan yang baik, menjadikannya ideal untuk struktur bangunan yang memerlukan dukungan beban berat.

2. Tahan terhadap korosi

Beton tidak mudah terpengaruh oleh korosi dan pembusukan, sehingga memiliki daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan.

3. Fleksibilitas dalam pencetakan

Beton segar dapat dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan, memudahkan dalam pembuatan berbagai elemen struktural.

4. Tahan terhadap api dan aus

Beton memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi dan abrasi, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap api dan keausan.

5. Perawatan yang mudah

Setelah pengerasan, beton memerlukan sedikit perawatan dan pemeliharaan, menjadikannya pilihan ekonomis dalam jangka panjang.

b. Kekurangan Beton

Beton memiliki beberapa kekurangan adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik rendah

Beton lemah dalam menahan gaya tarik, sehingga sering kali memerlukan penambahan baja tulangan untuk meningkatkan daya tahannya terhadap beban tarik.

2. Sensitif terhadap perubahan suhu

Beton dapat mengalami penyusutan dan pengembangan akibat perubahan suhu, yang dapat menyebabkan retakan jika tidak direncanakan dengan baik.

3. Berat

Beton memiliki berat jenis yang tinggi, sehingga memerlukan struktur penopang yang lebih kuat.

4. Getas

Beton bersifat getas (daktail), sehingga perlu perhitungan yang cermat untuk memastikan bahwa struktur tetap aman terutama pada kondisi beban dinamis seperti gempa bumi.

## **2.3 Beton Berpori**

### **2.3.1 Definisi Beton Berpori**

Beton berpori adalah salah satu jenis beton yang ramah lingkungan karena dapat mengisi kembali muka air tanah dan mengurangi limpasan air permukaan. Beton berpori digunakan secara luas dalam pengaspalan jalan, trotoar, halaman parkir, dan jalur pedestrian karena permeabilitasnya yang tinggi, dan sifat termal yang baik. Namun, untuk mencapai tingkat porositas yang tinggi dan rongga yang terhubung, beton harus memiliki jumlah pori yang sedikit dengan cara tanpa menggunakan agregat halus, namun hal ini pengurangan yang signifikan pada kekuatan dan daya tahan. Oleh karena itu, terlepas sifat ramah lingkungan yang lebih baik dan peresapan air hujan, akan tetapi penerapannya terbatas karena menghasilkan kekuatan tekan yang rendah (Patah & Dasar, 2023).

Menurut ACI 522R-10 “beton porous dapat dideskripsikan sebagai beton yang memiliki nilai slump mendekati nol, yang terbentuk dari semen portland, agregat kasar, sedikit agregat halus atau tidak sama sekali, campuran tambahan, dan air.” (Mimi et al., 2024).

### **2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Berpori**

Menurut (Quinli et al., 2020) Beton berpori memiliki kelebihan dan kekurangan adalah sebagai berikut:

- a. Kelebihan beton berpori
  1. Manajemen efektif untuk aliran air hujan
  2. Mengurangi kontaminasi di aliran air
  3. Mengisi kembali persediaan air tanah
  4. Mengurangi efek panas bumi
  5. Mengurangi suara ribut akibat interaksi antara ban dan jalan
- b. Kekurangan beton berpori
  1. Pemakaian terbatas untuk kendaraan berat di lalu lintas padat
  2. Praktek konstruksi khusus
  3. Sensitif terhadap konten air dan control dalam beton segar
  4. Kekurangan metode percobaan yang di standarisasi
  5. Perhatian khusus dan pemeliharaan dalam desain untuk tipe tanah tertentu

6. Perhatian khusus mungkin diperlukan untuk tanah dengan kandungan air tanah yang tinggi.

### 2.3.3 Pengaplikasian Beton Berpori

Beton berpori memiliki kekuatan yang rendah dibandingkan beton konvensional, namun mempunyai porositas yang tinggi sehingga cocok untuk pengaplikasian pada konstruksi ringan seperti area parkir, trotoar untuk pejalan kaki, taman, serta perkerasan kaku untuk jalan lokal dengan intensitas lalu lintas yang rendah lapangan tenis, dan lainnya.



**Gambar 2.1** Jalan Beton Berpori  
(Sumber : [coffeecivil.com](http://coffeecivil.com))

## 2.4 Material Penyusun Beton Berpori

Menurut ACI 522R-10 beton berpori terbuat dari campuran semen portland, agregat kasar, sedikit agregat halus atau tidak sama sekali, campuran tambahan, dan air.

### 2.4.1 Semen *Portland*

Menurut SNI 2049:2015 Semen *portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen *portland* berfungsi sebagai bahan perekat untuk mengikat agregat menjadi massa padat.



**Gambar 2.2** Semen Portland  
(Sumber: [tunasniagakonstruksindo.com](http://tunasniagakonstruksindo.com))

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 semen

Pemeriksaan berat jenis semen berdasarkan ASTM C-188, dimana berat jenis yang disyaratkan oleh ASTM C-188 adalah 3,15 dan kemurnian semen yang disyaratkan adalah 3,0-3,2. Namun pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,05-3,25. Narasi ini akan mempengaruhi pada proporsi campuran semen dalam campuran, dan apabila pada percobaan tidak diperoleh hasil demikian maka pembakarannya tidak akan sempurna. Adapun standar pengujian untuk berat jenis semen portland dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut ini.  $\text{gr/cm}^3$

**Tabel 2.1** Standar Pengujian Berat Jenis Semen

No	Item	Interval Nilai	Standar
1	Semen Portland	3,0-3,2 $\text{gr/cm}^3$	ASTM C-188

Sumber : ASTM C-188

## 2.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar menurut ASTM C 33-03 adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. Standar pengujian lainnya mengacu pada standard yang direkomendasikan pada ASTM. Untuk gradasi saringan ideal agregat kasar dapat dilihat pada tabel 2.2. berikut.

**Tabel 2.2** 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*

### a. Pengujian karakteristik agregat kasar

Sebelum melakukan pembuatan campuran beton, terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik agregat kasar berdasarkan Standar Nasional Indonesia. Pengujian Karakteristik agregat kasar berdasarkan standar-standarnya dapat dilihat pada tabel 2.3. berikut ini.

**Tabel 2.3** Standar Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

<b>NO</b>	<b>Karakteristik Agregat</b>	<b>Interval Nilai</b>	<b>Standar</b>
1	Kadar Lumpur	0,2-1%	SNI 03-4142-1996
2	Kadar Air	0,5%-2%	SNI 1971-2011
3	Berat Volume		SNI 03-4804-1998
	a. Kondisi Padat	0,6-1,9 Kg/L	
	b. Kondisi Lepas	0,6-1,9 Kg/L	
4	a. Bj. Nyata	1,6-3,2 gr	SNI 1969-2008
	b. Bj. Dasar Kering	1,6-3,2 gr	
	c. Bj. Kering	1,6-3,2 gr	

### **2.4.3 Air**

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air bereaksi dengan semen akan menjadi pasta pengikat agregat. Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, bila dihembuskan dengan udara tidak keruh dan lain-lain, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum.

### **2.4.4 Bahan tambah (Cangkang Sawit dan Abu Cangkang Sawit)**

Bahan tambah dalam pembuatan beton, yang sering disebut sebagai admixture, adalah material tambahan yang dicampurkan ke dalam beton atau mortar sebelum atau selama proses pengadukan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas dan performa beton. Bahan tambah bisa berupa fly ash, silica fume dan lain lain.

Bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan berpori ini yaitu cangkang sawit dan abu cangkang sawit.

#### **a. Cangkang Sawit**

Cangkang kelapa sawit yang juga disebut tempurung kelapa sawit merupakan bagian terberat dari buah kelapa sawit dan berfungsi untuk melindungi isi buahnya. Struktur keras cangkang buah kelapa sawit berfungsi sebagai lapisan pelindung. Diharapkan cangkang kelapa sawit dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton karena memiliki tekstur keras seperti kerikil (Butarbutar et al., 2023).

Banyaknya penggunaan beton dalam bidang konstruksi membuat upaya mutu beton yang baik dan ekonomis, salah satu upaya tersebut adalah dengan memanfaatkan cangkang sawit sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton berpori atau pengganti sebagian agregat kasar. Cangkang sawit pada penelitian ini diaplikasikan sebagai pengganti sebagian agregat kasar/kerikil dalam pembuatan berpori. Penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, permeabilitas, kuat

belah, kepadatan dan total void dengan menggunakan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian agregat.



**Gambar 2. 3** Cangkang Sawit

b. Abu Cangkang sawit (*Palm Oil Fly Ash*)

Di Indonesia terdapat berbagai macam jenis limbah, salah satunya limbah yang dihasilkan dari sektor perkebunan seperti perkebunan kelapa sawit. Limbah yang dapat digunakan dari perkebunan kelapa sawit yang memiliki potensi sebagai bahan tambah pada semen adalah abu cangkang kelapa sawit. Abu cangkang sawit berasal dari proses pembakaran cangkang menjadi abu.

Abu cangkang kelapa sawit merupakan limbah hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang mengandung banyak silikat. Selain itu, abu cangkang kelapa sawit juga mengandung kation anorganik seperti kalium dan natrium. Abu cangkang sawit sebagai campuran pada semen untuk campuran beton berpori.

Menurut(Simanjuntak et al., 2020) abu cangkang kelapa sawit secara visual memiliki karakteristik sebagai berikut.

1. Bentuk partikelnya tidak beraturan ada burtiran bulat panjang, bulat, dan persegi.
2. Kehalusan abu cangkang sawit berkisar antara 0-2,3 mm.
3. Warna abu kehitaman.

Menurut (Simanjuntak et al., 2020) abu cangkang sawit memiliki kandungan senyawa kimia yang terdapat pada semen. Dapat dilihat pada tabel 2.4. berikut:

**Tabel 2.4** Senyawa Kimia Semen yang Terdapat Pada Abu Cangkang Sawit

Kandungan Kimia	Semen	Abu Cangkang Sawit	Sifat Unsur Kimia
Kapur (CaO)	√	√	Berfungsi dalam proses perekatan/pengikatan
Silika (SiO <sub>2</sub> )	√	√	Berfungsi sebagai bahan pengisi(filler)
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	√	√	Berfungsi mempercepat proses pengerasan
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	√	√	Berfungsi sebagai bahan penyempurna pada reaksi pembakaran pembentukan semen
Magnesia (MgO)	√	√	Berfungsi sebagai bahan pengisi (Filler)
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	√		Berfungsi dalam mengatur proses hidrasi semen dan pengembangan kekuatan.
Potash (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	√		Berfungsi dalam mengurangi paparan beton terhadap kelembaban.

Sumber :Hasil penelitian (Simanjuntak et al., 2020)

Pengujian berat jenis abu cangkang sawit dilakukan berdasarkan ASTM C-188, dimana berat jenis yang disyaratkan oleh ASTM C-188 adalah 3,15 dan kemurnian semen yang disyaratkan ialah 3,0-3,2. Untuk pengujian berat jenis abu cangkang sawit dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut ini.

**Tabel 2.5** Standar Pengujian Karakteristik Abu Cangkang Sawit

No	Item	Karakteristik Pengujian	Standar
1	Abu Cangkang Sawit	Berat Jenis	ASTM C-188

Sumber : ASTM C-188

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

Bahan dasar pembentuk beton berpori yaitu semen, agregat, dan air, setelah dicampur merata menghasilkan suatu campuran *plastis* (antara cair dan padat) dimana sifat dari campuran yang *plastis* ini akan menjadi keras karena proses kimia antara semen dan air. Kekuatan, keawetan, dan sifat beton yang lain tergantung

pada sifat dan karakteristik bahan dasar, nilai perbandingan bahan dasar, cara pengerjaan, pengadukan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan.

Perancangan campuran beton berpori bertujuan untuk menentukan komposisi atau proporsi bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton berpori. Proporsi campuran ini ditetapkan melalui proses perancangan beton berpori (*mix design*). Umumnya, beton berpori dirancang untuk mencapai :

- a. Mudah nya pengerjaan (*Workability*) adukan beton didalam prakteknya ditentukan dengan tingginya dengan *slump test*.
- b. Kuat tekan (*compressive strength*) pada umur tertentu bagi beton yang sudah mengeras.
- c. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan, dan perataan) dengan mudah dapat mengisi sesuai acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen), keawetan (*durability*) bagi beton yang sudah mengeras.
- d. Permeabilitas yang dimaksudkan untuk mengetahui apakah *mix design* beton berpori benar-benar berfungsi mengalirkan air secara baik dengan umur tertentu.

## 2.6 Slump Test

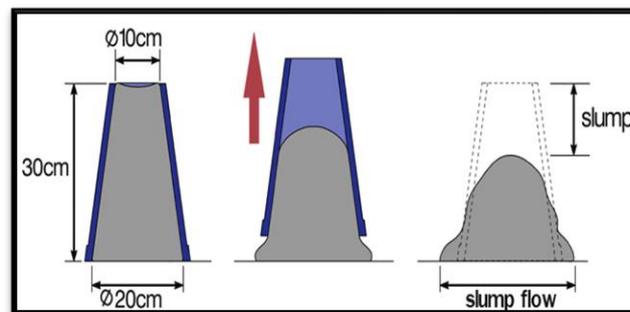
Pengujian *slump test* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau tingkat kekakuan campuran berton segar. Pengujian *slump test* bertujuan untuk menilai *workability* beton segar sebelum diterapkan dalam pekerjaan pengecoran. Nilai slump memberikan informasi mengenai kelayakan penggunaan beton berdasarkan kekentalan adukan. Percobaan *slump test* dilakukan dengan alat berbentuk kerucut abrams, dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm serta tingginya 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat kerucut dan tongkat pemadat.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1972:2008, berikut adalah langkah-langkah dan ketentuan dalam pengujian *slump test*.

- a. Tempatkan kerucut abrams diatas permukaan datar dan tidak menyerap air

- b. Isi kerucut dengan adukan beton dalam tiga lapisan, masing-masing setinggi 1/3 tinggi kerucut, sambil padatkan dengan tongkat baja sebanyak 8 kali per lapisan.
- c. Ratakan permukaan atas adukan setelah pengisian
- d. Biarkan selama 30 detik
- e. Angkat kerucut secara vertikal tanpa memutar dan ukur penurunan puncak adukan beton.

Nilai slump diukur dalam satuan cm, dan kisaran nilai yang umum diterima adalah antara 8 hingga 12 cm untuk memastikan bahwa beton memiliki *workability* yang baik. Jika nilai slump diluar kisaran ini, pengujian dapat diulang hingga maksimal tiga kali.



**Gambar 2. 4 Uji Slump Test**

## 2.7 Sifat Mekanik Beton Berpori

Dalam proses pembuatan beton berpori, penting untuk mempertimbangkan sifat-sifat yang diinginkan dari beton tersebut. Sifat utama yang perlu diperhatikan adalah sifat-sifat mekanis beton, yang berpengaruh pada perhitungan dan pencampuran bahan. Sifat-sifat mekanis ini dapat dibedakan berdasarkan dua kondisi, yaitu beton segar dan beton yang telah mengeras. Sifat mekanik beton meliputi berbagai karakteristik yang menentukan kinerja dan daya tahan beton dalam aplikasi konstruksi. Beberapa sifat penting dari beton berpori antara lain kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitas.

### 2.7.1 Kuat Tekan Beton Berpori

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekanan per satuan luas. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Quinli et al., 2020). Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat, air dan berbagai campuran lainnya.

Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

- a. Komposisi campuran beton seperti semen, air, pasir, dan kerikil haru mencapai proporsi yang tepat.
- b. Kualitas bahan baku yang digunakan harus memiliki kualitas yang baik.
- c. Perawatan beton harus diperhatikan sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- d. Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.
- e. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

Standarisasi nilai kuat tekan beton berpori menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996 tentang sifat-sifat fisika suatu beton berpori dapat dilihat pada tabel 2.6. berikut ini.

**Tabel 2.6** Sifat-Sifat Fisika Beton

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

Sumber : SNI 03-0691-1990

Keterangan :

- a. Beton Mutu A : Digunakan untuk jalan
- b. Beton Mutu B : Digunakan untuk peralatan parkir
- c. Beton Mutu C : Digunakan untuk pejalan kaki
- d. Beton Mutu D : Digunakan untuk taman dan penggunaan lainnya.

Menurut *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10 beton berpori mempunyai nilai kuat tekan seperti pada tabel 2.7 berikut.

**Tabel 2.7** Standar Nilai Kuat Tekan Beton Berpori

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

Berdasarkan SNI 1974-2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang. Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan adalah sebagai berikut.

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

Keterangan :

- $F_c'$  = Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (Mpa)
- $P$  = Gaya tekan aksial (Newton, N)
- $A$  = Luas penampang melintang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 2.7.2 Permeabilitas Beton Berpori

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Untuk mengetahui dan mengukur permeabilitas beton perlu dilakukan pengujian, salah satunya uji aliran (*flow test*) yaitu pengujian untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila air dapat mengalir melalui sampel beton (Quinli et al., 2020).

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui berapa lama air dapat tembus melewati beton berpori dalam satuan cm/s. Metode pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C1701 (*Standar Test Method for Infiltration Rate of In Place Concrete*). Berikut rumus pengujian permeabilitas dapat dilihat pada berikut.

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

Keterangan :

- $I$  = Laju infiltrasi (cm/s)
- $D$  = Diameter benda uji (mm)
- $t$  = waktu yang dibutuhkan untuk meloloskan air (s)
- $K$  = Konstanta dengan nilai 4,584,666,000 ((mm<sup>2</sup>detik)/(kg.jam))

M = Massa jenis air (g/cm<sup>3</sup>)

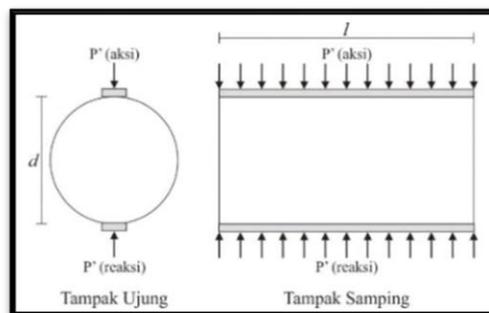
Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R-10) beton berpori mempunyai nilai permeabilitas minimum dan nilai permeabilitas maksimum dapat dilihat pada tabel 2.7. berikut ini.

**Tabel 2.8** Nilai Standar Permeabilitas Beton Berpori

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

### 2.7.3. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut. Benda uji diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja mesin uji tekan (SNI 2491:2014). Pengujian dilakukan dengan cara merebahkan benda uji beton silinder, kemudian memberi gaya tekan aksial searah vertikal sehingga terjadi tegangan tarik pada sisi horizontal. Sketsa pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada gambar 2.5. berikut ini.



**Gambar 2.5** Sketsa Uji Kuat Tarik Belah Beton  
Sumber : Jurnal (Widiyanto et al., 2020)

Besarnya kuat tarik belah beton diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$f'_{ct} = \frac{2 \cdot P_l}{\pi \cdot h \cdot d} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

$f'_{ct}$  = Kuat tarik belah (Mpa)

P' = beban uji maksimum (beban belah/hancur) (N)

h = Panjang benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

Berdasarkan standar JIS (*Japanese Industrial Standard*) A 1113, kuat tarik belah beton memiliki nilai  $\frac{1}{10}$  hingga  $\frac{1}{13}$  dari nilai kuat tekannya. Melalui pengujian sampel beton sesuai dengan prosedur dalam standar ini, terlihat bahwa beton memiliki kemampuan menahan gaya tarik yang jauh lebih rendah dibandingkan kemampuannya menahan gaya tekan. Jika, nilai perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan yang di dapatkan lebih tinggi dari  $\frac{1}{10}$  berarti memiliki kuat tarik yang kuat dan apabila nilai yang didapatkan di lebih rendah dari  $\frac{1}{13}$  maka nilai kuat tarik yang dihasilkan lemah.

#### **2.7.4. Total Void Beton Berpori**

Total void pada beton berpori merujuk pada persentase total rongga atau pori yang terdapat pada volume beton. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai total void juga akan semakin meningkat dan hal ini akan memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton.

Pengujian total void pada beton berpori dilakukan untuk menentukan seberapa banyak rongga yang ada dalam sampel beton. Metode umum yang digunakan adalah ASTM C642-90. Berdasarkan ASTM C642-90 didapatkan persamaan total void beton berpori sebagai berikut.

$$n (\%) = \frac{C-A}{C-D} \times 100 \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

n = Total void benda uji (%)

A = Berat kering oven benda uji (kg)

C = Berat beton kondisi SSD (kg)

D = Berat beton dalam air (kg)

Berdasarkan ACI 522R-10, beton berpori mempunyai nilai rongga minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut ini.

**Tabel 2.9** Nilai Rongga Beton Berpori

Nilai Rongga	Persentase (%)
Minimum	15
Maksimum	35

Sumber : ACI 522R-10

### 2.7.5. Densitas (massa jenis) Beton Berpori

Densitas pada beton berpori adalah ukuran berat jenis beton yang dihitung dari massa beton per unit volume. Beton berpori biasanya memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional.

Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui kepadatan beton berpori, yang merupakan indikator penting dari kualitas material. Pengujian densitas pada beton berpori menggunakan standar SNI 1973:2016 dan ASTM C6188. Berdasarkan standar tersebut didapatkan persamaan densitas beton berpori adalah sebagai berikut.

$$V_s = \pi \times r^2 \times h \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\text{Densitas} = \frac{W}{V_s} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

- $V_s$  = Volume silinder ( $m^3$ )
- $R$  = jari-jari (cm)
- $h$  = tinggi silinder (cm)
- $W$  = Berat benda uji (kg)

Densitas beton berpori sangat bervariasi, tergantung pada desain campuran, tingkat porositas yang diinginkan dan material yang digunakan. Berdasarkan ACI 522R-10 , beton berpori mempunyai berat jenis minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada tabel 2.11 berikut ini.

**Tabel 2.10** Nilai Standar Densitas Beton Berpori

ACI 522R-10	Densitas ( $g/cm^3$ )
Minimum	1,750
Maksimum	2,000

Sumber : ACI 522R-10

### 2.7.6 Pertumbuhan Tanaman Plat Beton Berpori

Pengujian pertumbuhan rumput pada plat beton berpori adalah proses evaluasi untuk mengukur kemampuan rumput tumbuh dan berkembang di atas media beton yang dirancang khusus dengan pori-pori. Pengujian ini penting untuk menilai efektivitas plat beton berpori sebagai solusi konstruksi berkelanjutan yang memungkinkan vegetasi tumbuh di area yang biasanya tertutup oleh beton konvensional. Parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi tingkat perkecambahan benih rumput, kepadatan pertumbuhan, tinggi rumput, serta kesehatan dan warna rumput. Hasil pengujian ini akan memberikan informasi penting dalam menentukan jenis campuran beton berpori yang paling sesuai untuk pertumbuhan rumput, serta memberikan panduan dalam perawatan dan pengelolaan rumput yang tumbuh di atasnya untuk memastikan keberlanjutan fungsi ekologis dan estetika dari plat beton berpori tersebut.

Beton berpori adalah jenis beton khusus dimana agregat berukuran tunggal diikat bersama dengan pasta semen atau mortar dan dianggap sebagai bahan yang ramah lingkungan karena permeabilitas airnya yang tinggi. Oleh karena itu kami meneliti apakah beton berpori dari pemanfaatan limbah cangkang sawit ini akan cocok untuk menanam tanaman yang berpotensi untuk di aplikasikan sebagai fondasi penanaman penghijauan kota(Horiguchi et al., 2021).



**Gambar 2.6** Pengujian Pertumbuhan Rumput pada Plat Beton Berpori

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

Beton berpori adalah jenis beton yang memiliki rongga-rongga di dalam strukturnya, sehingga memungkinkan air untuk mengalir melalui material tersebut. Meskipun memberikan manfaat dalam hal pengelolaan air, beton berpori cenderung memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton konvensional.

Kualitas beton sendiri bukan hanya dipengaruhi oleh material penyusun beton saja, namun proses pelaksanaan pembuatan beton juga akan mempengaruhi kualitas beton. Salah satu proses pelaksanaan yang menunjang kualitas beton adalah perawatan beton. Beton dengan perawatan dan tanpa perawatan memiliki kuat tekan yang berbeda, dimana beton dengan perawatan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi(Widiyanto et al., 2020).

### **2.8.1. Tujuan Perawatan beton**

Menurut SNI 03-2847-2002, tujuan perawatan beton berpori adalah sebagai berikut.

- a. Menjaga kelembaban beton agar tidak kehilangan air terlalu cepat, yang dapat mengganggu proses hidrasi.
- b. Mencegah retak plastis akibat penguapan air yang cepat.
- c. Mendukung proses hidrasi dengan memastikan reaksi kimia antara semen dan air berlangsung secara optimal.
- d. Meningkatkan kekuatan dengan menjaga kondisi yang baik selama curing, kekuatan tekan beton dapat tercapai sesuai spesifikasi.

### **2.8.2. Metode perawatan beton berpori**

Perawatan pada beton berpori 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.

Menurut (Supartono, 1997) terdapat beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut.

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

Cara ini paling banyak digunakan dan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton. Beberapa macam cara perawatan beton dengan menggunakan air, 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 balok pracetak, seperti pada pabrikasi tiang pancang beton pratekan

c. Perawatan dengan 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 risiko terjadinya retak susut terhadap elemen beton dan sekaligus meningkatkan kemampuan ketahanan terhadap *sulfat*.

d. Perawatan dengan isolasi permukaan beton

Cara perawatan dengan menggunakan lapisan yang rapat untuk menutupi permukaan beton biasa merupakan solusi yang baik, karena cara ini bisa penghambat proses penguapan air pori dalam beton, disamping juga bisa mengurangi risiko timbulnya perbedaan temperatur yang mencolok antara bagian dalam beton dengan bagian luar beton. Beberapa material yang biasa digunakan untuk keperluan perawatan ini antara lain :

a. Lapisan pasir kering.

b. Lembaran plastik.

c. Kertas berserat, yang dilapisi dengan *adhesive bituminious*.

e. Tanpa perawatan

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

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan limbah cangkang sawit dan abu cangkang sawit pada benda uji beton berpori terhadap kuat tekan, permeabilitas, total *void*, densitas, kuat tarik belah dan plat beton berpori, dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Kuat tekan beton berpori : Nilai kuat tekan yang dihasilkan dari setiap variasi umur benda uji tidak memenuhi nilai klasifikasi mutu beton berdasarkan SNI 03-0691-1990 sehingga dengan pemanfaatan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dalam pembuatan berpori kurang efektif untuk pengaplikasiannya.
- b. Permeabilitas beton berpori : Hasil pengujian permeabilitas seiring dengan penambahan cangkang sawit pada setiap variasi pencampuran nilai permeabilitas semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena cangkang sawit memiliki bentuk yang lebih terbuka sehingga memudahkan air mengalir melalui beton seiring dengan penambahan cangkang sawit.
- c. Total void beton berpori : Hasil pengujian total *void* nilai setiap variasi meningkat seiring dengan penambahan cangkang sawit hal ini disebabkan karena cangkang sawit memiliki bentuk yang tidak rata dan seragam, sehingga cangkang sawit cenderung menciptakan lebih banyak rongga dalam beton.
- d. Densitas beton berpori : hasil pengujian densitas seiring dengan penambahan cangkang sawit pada setiap variasi menyebabkan penurunan densitas beton, hal ini disebabkan cangkang sawit memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan agregat kasar (kerikil) dan ruang kosong yang terdapat pada beton berpori menyebabkan penurunan nilai densitas.
- e. Kuat tarik belah beton berpori : Pada variasi tanpa cangkang sawit (P10CS0-TP) menghasilkan nilai tertinggi dari variasi lainnya namun seiring dengan penambahan cangkang sawit pada variasi P10CS25-TP dan P10CS50-TP mengalami penurunan kuat tarik belah, hal ini disebabkan daya serap air pada

cangkang sawit tinggi sehingga dapat mengurangi efektivitas ikatan antar material dalam beton.

- f. Pada setiap variasi plat beton berpori proses pertumbuhan rumput menunjukkan bahwa rumput dapat tumbuh dengan baik pada, hal ini menandakan bahwa beton ini mendukung kehidupan tanaman.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan limbah cangkang sawit dan abu cangkang sawit sebagai material inovatif untuk beton berpori ramah lingkungan. Penulis menyampaikan beberapa saran yang terkait pada penelitian ini, adalah sebagai berikut.

- a. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori dengan penggunaan bahan pengganti atau bahan campuran lainnya yang dapat meningkatkan kuat tekan beton berpori yang memenuhi nilai klasifikasi mutu beton sehingga bisa diaplikasikan.
- b. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori yang menggunakan perawatan yang berbeda.
- c. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori yang menggunakan cangkang sawit dengan FAS yang untuk bisa mendapatkan nilai *workability* pada campuran dengan baik yang memenuhi standar nilai *slump test*.
- d. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori dengan menggunakan sampel yang berbeda pada pengujian permeabilitas, total *void*, dan kuat tekan pada umur 28 hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, 2023. *Efek Pencampuran Air Laut Dan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kekuatan Beton*. Skripsi. Majene: Unsulbar.
- Anugrah, 2023. *Pembuatan Beton Berpori Dengan Menggunakan Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Kerikil*. Skripsi. Majene: Unsulbar.
- ACI Committee. 2010. *ACI 522R-10, Report on Pervious Concrete*. American Concrete Institute, USA.
- ASTM C-150, *Standard Specification For Portland Cemen*. ASTM Internasional.
- ASTM C-188, *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. ASTM Internasional.
- ASTM C 33-03, *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM Internasional.
- ASTM C 1701/C 1701M-09, *Standard Test Method for Infiltration rate of In Place Pervious Concrete*. ASTM Internasional.
- ASTM C642, *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM Internasional.
- ASTM C496/C496M-04. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM Internasional.
- ASTM C1688/C1688M-08. *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete*. ASTM Internasional.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019. *SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015. *SNI 2049:2015, Semen Portland*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008. *SNI 1969:2008, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990. *SNI 03-1968-1990, Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1998. *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Jakarta, BSN.

- Badan Standarisasi Nasional, 1996. *SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. *SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008. *SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1996. *SNI 03-0691-1996 Bata Beton (Paving Blok)*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008. *SNI 1973:2008 Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2014. *SNI 2491:2014 Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. *SNI 2493:2011, Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2016. *SNI 1973:2016, Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara (Gravimetrik) Beton*. Jakarta, BSN.
- BPS, 2021. *Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Barat Data Penghasil Cangkang Sawit Di Provinsi Sulawesi Barat*.  
<https://sulbar.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzM3IzI=/produksi-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi.html>. Diakses tanggal 21 Januari 2024.

- Butarbutar, N. F. S., Siagian, D., Ginting, R., & Napitupulu, J. (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. <https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v12i2.3598>
- Dasar, A., & Patah, D. (2024). Kekuatan dan Durabilitas Beton Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Pasir Pantai. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 83–94. <https://doi.org/10.35334/be.v8i1.5090>
- 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.
- Dasar, A., Patah, D., Sainuddin, S., & Caronge, M. A. Ketahanan Korosi Baja Tulangan dalam Beton menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Air Laut. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 29(2), 243-252.
- Horiguchi, I., Mimura, Y., & Monteiro, P. J. M. (2021). *Bahan Pembersih Performa pertumbuhan tanaman dari beton tembus pandang yang mengandung agregat cangkang tiram yang dihancurkan*. 2(November).
- Japanese Industrial Standard, 2018. *JIS A 1113:2018, Method Of Test For Splitting Tensile Strength Of Concrete*. Japan, JIS.
- Kosakoy, M. N. M., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. (2017). Perbandingan Nilai Kuat Tarik Langsung Dan Tidak Langsung Pada Beton Yang Menggunakan Fly Ash. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 383–392.
- Manaf, A., Ridhayani, I., & Nurdin, A. (2023). Pengaruh Abu Cangkang Sawit

Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Berpori. *Bandar*, 5(1), 17–26.

Mimi, H., Syahputri<sup>13</sup>, D., & Purnomo, D. (2024). Pengaruh Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan, Porositas, Dan Permeabilitas Pada Beton Porous Sebagai Material Green Building. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(2), 16–17. <https://doi.org/10.62603/konteks.v1i2.26>

Nasrah., Simbolon, R., Hasibuan, M.H. (2024). *Analisis Penggunaan Abu Cangkang Sawit Sebagai Bahan Pengurang Jumlah Semen Terhadap Kuat Tekan Beton*. 2(2), 1162–1169.

Patah, D., & Dasar, A. (2023). Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 206–212. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1762>

Patah, D., Dasar, A., Ridhayani, I., Suryani, H., Saudi, A. I., & Sainuddin, S. (2024). Kekuatan dan Durabilitas Oil Palm Shell (OPS) sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar pada Beton Bertulang. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 12(1), 80-87.

Patah, D., Dasar, A. and Noor, N.M., 2025, 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. and Nurdin, A., 2025. 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., Hamada, H., & Astuti, P. (2021, February). Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride Contaminated Mortar. In *4th International Conference on Sustainable Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020)* (pp. 60-63). Atlantis Press.

Quinli, C., Steenie, O., Wallah, E., & Windah, R. S. (2020). Sifat Mekanik Dan

Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi Fly Ash Terhadap Semen.  
*Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 495–500.

Simanjuntak, J. O., Saragih, T. E., Lumbangaol, P., & Panjaitan, S. P. (2020). Beton Bermutu Dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Cangkang Sawit. *Jurnal Darma Agung*, 28(3), 387.  
<https://doi.org/10.46930/ojsuda.v28i3.803>

Widiyanto, E., Rakhmawati, A., Murtopo, A., Sipil, J. T., Teknik, F., Tidar, U., Sipil, J. T., & Teknik, F. (2020). *Analisis pengaruh metode perawatan terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton.*