

**SKRIPSI**  
**EVALUASI KEKUATAN BETON MENGGUNAKAN AIR LAUT DAN**  
***ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH (UPOFA)***



Disusun Oleh :

**MUH. RIFAJLI**

**D01 21 023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SULAWESI BARAT**

**MAJENE**

**2025**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Padhang-Padhang Banggae Timur Majene Sulawesi Barat  
Website ://ft.unsulbar.ac.id Instragram : ft\_universitas Sulawesi Barat

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EVALUASI KEKUATAN BETON MENGGUNAKAN AIR LAUT DAN  
ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH (UPOFA)**

**TUGAS AKHIR**

Oleh

**MUH. RIFAJLI**

**NIM: D0121023**

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)

Tanggal 25 Maret 2025

Menyetujui,

Tim Pembimbing,

**Pembimbing 1**

**Pembimbing 2**

**Dr. Eng. Ir. Dahlia Patah, ST., M.Eng**  
NIP. 19860825 201504 2 001

**Amalia Nurdin, S.T., MT.**  
NIP. 19871212201903 2 017

Mengetahui,

**Ketua Jurusan**

**Dekan Fakultas Teknik**

**Amalia Nurdin, ST., MT**  
NIP. 19871212 201903 2 017

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

## ABSTRAK

### EVALUASI KEKUATAN BETON MENGGUNAKAN AIR LAUT DAN ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH (UPOFA)

MUH. RIFAJLI

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat (2024)

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

Penelitian ini bertujuan untuk menanamkan kekuatan beton yang menggunakan air laut sebagai substitusi air baku dan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) sebagai bahan tambahan. Metode penelitian meliputi sampel pembuatan beton dengan variasi proporsi Normal dan UPOFA 10 %, 20%, 30% yang menggunakan bahan pasir sungai pencampuran air laut. Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 28, dan 56 hari untuk uji kuat tekan kubus beton. Adapun hasil penelitian pada umur 7 hari untuk penambahan 10 – 30 % UPOFA memiliki kuat tekan lebih rendah, umur 28 hari untuk penambahan 10% 20% dan 30% UPOFA lebih tinggi dan lebih rendah dari beton normal, umur 56 hari untuk penambahan 10 % 20% 30 % UPOFA kuat lebih tinggi dan rendah dibandingkan beton normal. Uji UPVT kuat tekan dan kecepatan rambat gelombang ultrasonik memiliki hubungan linear positif, semakin tinggi kuat tekan beton, maka semakin tinggi pula nilai UPVT (*Ultrasonic Pulse Velocity Test*) yang dihasilkan. Uji *Electrical Resistivity* N3, U3-A, U3-B sebesar 244.53  $\Omega$ .cm, 295.41  $\Omega$ .cm, 201.51  $\Omega$ .cm karna termasuk klasifikasi *despicable corrosion risk* U3-C sebesar 98.68  $\Omega$ .cm termasuk dalam klasifikasi *high corrosion risk*.

**Kata Kunci :** Beton, air laut, *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA), kuat tekan, *ultrasonic pulse velocity test* (UPVT) dan *electrical resistivity*.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang memegang peranan penting dalam pembangunan infrastruktur. Beton sangat disukai karena memiliki banyak keunggulan, seperti harga yang relatif murah, mempunyai kekuatan yang tinggi, bahan baku penyusun yang mudah didapatkan, tahan lama, tahan terhadap api, dan tidak mengalami pembusukan. Dalam pembuatan beton secara umum bahan utama yaitu di antaranya agregat halus yang biasanya atau yang umumnya digunakan adalah pasir sungai, kemudian air sebagai campuran dalam beton, serta bahan pelekat yang digunakan adalah semen.

Semen dalam penggunaan bahan beton biasanya sudah banyak digunakan sehingga ada alternatif lain yaitu dengan menggunakan bahan tambah limbah POFA. Informasi tentang bahan tambah limbah POFA dapat dilihat dalam penelitian pembuatan beton telah diteliti oleh Dasar & Patah (2024) POFA mengandung bahan yang bersifat pozzolan sehingga berpotensi dicampur dengan semen Portland sebagai bahan pengganti semen (SCM). Oleh karena itu POFA berpotensi digunakan untuk menghasilkan beton yang memiliki durabilitas dan sekaligus beton yang ramah lingkungan. Penambahan POFA pada semen Portland diharapkan dapat meningkatkan pembentukan gel kalsium silikat hidrat (CSH). Hal ini dapat mendorong meningkatnya kekuatan dan kinerja beton.

Selain dari penggunaan bahan tambah limbah abu cangkang sawit dalam penelitian ini, beberapa penelitian yang menggunakan limbah lain seperti bahan limbah abu sekam padi telah diteliti oleh Patah & Dasar (2022), Dasar, dkk (2023), Ridhayani, dkk (2023). Abu terbang (*Fly Ash*) telah diteliti oleh Patah, dkk (2023), Patah, dkk (2021), Patah, dkk (2020). Abu cangkang sawit telah diteliti oleh Dasar, dkk (2023), Dasar, dkk (2024) Dasar & Patah (2024), Ridhayani, dkk (2023). Cangkang kelapa sawit atau *Oil Palm Shell* (OPS) telah

diteliti oleh Patah, dkk (2024). Abu serat padi telah diteliti oleh Dasar, dkk (2023). Abu serat sagu telah diteliti oleh Ridhayani, dkk (2023).

Dalam penggunaan bahan tambah limbah POFA, penelitian ini juga menggunakan air laut sebagai bahan pengganti air tawar. Penggunaan air laut telah diteliti oleh Rahmat, dkk (2019) penelitian ini menggunakan pencampuran air laut agar dapat mengetahui pengaruh air laut terhadap beton, khususnya pengaruh terhadap kuat tekan beton. Yang dimana air laut juga merupakan sumber daya alam yang sangat besar pada wilayah pesisir khususnya di Kabupaten Majene.

Adapun jenis POFA yang digunakan dalam pembuatan beton sebagai bahan tambahan adalah jenis UPOFA dimana merupakan hasil pembakaran cangkang sawit menjadi abu yang di pabrik dan di saring menggunakan saringan 300 mesh. Pembuatan beton dalam penelitian ini ada beberapa bahan utama yang telah digunakan, salah satunya adalah agregat halus (Pasir Sungai), air laut, dan semen serta *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) sebagai bahan tambah.

Penelitian tentang UPOFA yang telah diteliti oleh Hashim (2014), penggunaan bahan limbah tersebut menghasilkan efek positif pada sifat mortar semen Portland dan beton. Ditemukan bahwa mortar yang mengandung penggantian POFA *ultrafine* antara 10% dan 20% dapat meningkatkan kemampuan kerja, kuat tekan, kuat lentur, porositas, air, penyerapan dan modulus elastisitas. Selain itu, penggantian semen sebesar 20% dari POFA *ultrafine* memberikan kuat tekan tertinggi. Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa POFA dengan kehalusan tinggi cocok untuk digunakan sebagai pengganti semen dalam meningkatkan sifat mekanik dan mikrostruktur mortar.

Berangkat dari latar belakang diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Evaluasi Kekuatan Beton Menggunakan Air Laut Dan *Ultrafine Palm Oil Fuel Ash* (UPOFA)”**

## 1.2. Rumusan Masalah

Dengan memanfaatkan bahan utama seperti agregat halus pasir sungai, semen, air laut serta *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) dalam pembuatan beton dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) sebesar 10%, 20%, 30% dan air laut terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 28, dan 56 hari ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) 10%, 20%, 30% dan air laut pada hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) terhadap beton?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) 10%, 20%, 30% dan air laut pada hasil pengujian *Elektrical Resistivity* terhadap beton?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka diperoleh tujuan penelitian berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) sebesar 10%, 20%, 30% dan air laut terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 28, dan 56 hari.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) 10%, 20%, 30% dan air laut pada hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) terhadap beton.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) 10%, 20%, 30% dan air laut pada hasil pengujian *Elektrical Resistivity* terhadap beton.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton dan memberikan solusi yang terhadap bahan pemanfaatan air laut dan bahan tambah UPOFA yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

## 1.5. Batasan Masalah

Agar permasalahan dalam penelitian ini berjalan secara efektif ataupun tidak terlalu luas, maka ruang lingkup pembahannya dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat.
2. Semen yang digunakan adalah semen Portland komposit (PCC) tipe I.
3. Bahan pekat atau tambahan yang digunakan adalah *ultrafine palm oil fuel* (UPOFA) lolos saringan 300 mesh yakni 10%, 20%, 30%. Yang berasal dari PT. Surya Lestari II di Kecamatan budong-budong, Kabupaten Mamuju Tengah, Provinsi Sulawesi Barat.
4. Agregat halus yang digunakan adalah pasir sungai yang berasal dari Kecamatan Mapilli, Kabupaten Polewali Mandar, yang lolos saringan no.4.
5. Pencampuran air menggunakan air laut yang berasal dari pangali-ali Kecamatan Banggae, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat.
6. Sebelum Agregat halus di gunakan terlebih dahulu di cuci semua, untuk memastikan kadar lumpur dalam agregat halus tidak tinggi.
7. Faktor air semen yang digunakan 50 %.
8. Benda uji silinder dengan diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm untuk uji *Electrical Resistivity* dan UPVT.
9. Benda uji cetakan kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm untuk kuat tekan umur 7, 28, 56 hari.
10. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari.
11. Pengujian *Electrical Resistivity* Silinder dilakukan pada umur 28 dan 56 hari sedangkan untuk kubus dilakukan di umur 56 hari.
12. Pengujian UPVT di lakukan pada umur 28 hari dan di uji laboratorium Universitas Hasanuddin Makassar.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Secara umum, proses penyusunan proposal penelitian sistematika penulisan sangat dibutuhkan agar penulis dapat menyelesaikan dengan baik ataupun terstruktur. Dalam penulisan proposal penelitian ini ada 5 tahapan sistematika penulisan diantaranya sebagai berikut :

### **BAB I LATAR BELAKANG**

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

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

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

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

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

Bab ini membahas hasil dan data – data Penelitian.

### **BAB V PENUTUP**

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

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dan memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Selain itu, untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini. Maka dalam tinjauan pustaka ini peneliti mencantumkan hasil-hasil peneliti terdahulu sebagai berikut:

1. “Kinerja *Ultrafine Palm Oil Fuel Ash* pada Menekan Reaksi Alkali Silika di Mortar Bar” (Asrah, dkk , 2015).

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan bahwa *ultrafine* POFA secara signifikan meningkatkan reaktivitas pozzolan mortir. Pada pengujian 14 hari, POFA *ultrafine* menunjukkan lebih tinggi ketahanan terhadap serangan reaksi alkali silika (ASR). dibandingkan dengan POFA yang lebih kasar. Tingkat penggantian yang lebih tinggi adalah diperlukan POFA yang lebih kasar untuk menahan serangan ASR pada mortar batang.

2. “Pengaruh Penambahan Abu *Boiler* Kelapa Sawit Dalam Meningkatkan Kekuatan Beton” (Napitupulu, 2014)

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat di tarik kesimpulan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi abu *boiler* kelapa sawit sebagai campuran terhadap kekuatan beton, mengetahui hasil pengujian mekanik pada beton dengan variasi campuran abu *boiler* kelapa sawit 2%, 5%, 8%, 10% dan beton normal, membandingkan hasil pengujian mekanik yaitu kuat tekan beton normal dan beton campuran abu *boiler* kelapa sawit sewaktu pengujian 7 hari, 14 hari, 28 hari dan membandingkan hasil penyerapan air pada beton campuran abu *boiler* kelapa sawit pada waktu beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Maka semakin besar penambahan abu *boiler* kelapa sawit pada

beton maka kuat tekan beton yang dihasilkan semakin besar pula. Kuat tekan beton tertinggi pada pengujian 28 hari berada pada komposisi beton abu *boiler* kelapa sawit 10% yaitu 242,96 Kg/cm<sup>2</sup>.

3. “ Kekuatan dan *Durabilitas* Beton Menggunakan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dan Pasir Pantai”. (Dasar, & Patah, 2024)

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat di tarik kesimpulan penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sifat mekanik dan *durabilitas* dari beton yang menggunakan POFA dan pasir laut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian seperti uji kuat tekan, penyerapan air dan porositas, *rapid chloride ion penetration test* (RCPT) dan kedalaman penetrasi klorida. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton menggunakan POFA dan pasir laut lebih rendah dibandingkan beton normal. Lebih lanjut, hasil HCP menunjukkan potensi korosi baja tulangan pada beton yang menggunakan POFA dan pasir laut dalam keadaan pasif seperti pada beton normal. Dan dari penyelidikan penelitian ini ditemukan bahwa penggunaan POFA hingga tingkat penggantian 20% mengurangi penetrasi klorida, menurunkan permeabilitas, meningkatkan sifat mekanik beton yakni pada kuat tekannya dan akan meningkatkan durabilitas khususnya ketahanan terhadap korosi. Dan penelitian ini tingkat penggantian POFA yang direkomendasikan hingga 20%.

4. “Kuat Tekan Beton POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) Dengan Bahan Tambah *Silica Fume*” (Putri, dkk, 2021)

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan dalam hasil pengujian beton POFA dengan bahan tambah *silica fume* yang meliputi uji kuat tekan beton dan uji porositas beton bahwa kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya kadar penambahan *silica fume*. Dan kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar penambahan *silica fume* sebanyak 15% dengan nilai kuat tekan sebesar 26,83 MPa.

5. “Uji Kuat Tekan Beton Menggunakan Air Laut serta Pengaruhnya Terhadap Variasi Perendaman” (Agus, 2023)

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat di tarik kesimpulan bahwa dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi perendaman menggunakan air laut dan air tawar tidak terlalu jauh berbeda nilai kuat tekannya walaupun perendaman menggunakan air laut menghasilkan nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan perendaman menggunakan air tawar, secara umum dari hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7 dan 28 hari mengalami peningkatan nilai kuat tekannya

## **2.2. Beton**

### **2.2.1. Pengertian Beton**

Beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari campuran agregat (seperti pasir, kerikil, atau batu pecah), semen, dan air, yang mengeras menjadi suatu material yang kuat. Beton sendiri adalah merupakan campuran yang homogen antara semen, air dan agregat. Karakteristik beton adalah mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah. Proses pengerasan beton disebut hidrasi, di mana air bereaksi dengan semen dan membentuk senyawa kimia yang memberikan kekuatan kepada beton. Beton biasa digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan raya, dan berbagai infrastruktur lainnya karena kekuatannya yang tinggi dan kemampuannya menahan beban yang besar.

Menurut SNI 03-2847-2002, definisi beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu Pamungkas, (2012). Beton

adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini kemudian akan membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu. Agar memudahkan dalam pengerjaan (*workability*), durabilitas serta waktu pengerasan. Secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang-kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton Asroni, (2010). Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambah tertentu. Material membentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposit tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan. Beton merupakan jenis konstruksi yang banyak digunakan, material penyusun yang mudah di dapat dialam menjadi salah satu faktor utama dipilihnya konstruksi beton.

#### 2.2.2. Jenis-jenis Beton

Ada beberapa jenis-jenis beton yang harus diketahui yaitu sebagai berikut :

1. Beton normal adalah jenis beton standar yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar (kerikil), dan agregat halus (pasir), tanpa tambahan material khusus atau modifikasi signifikan. Beton ini disebut "normal" karena memiliki karakteristik dasar dan kekuatan yang umum digunakan dalam konstruksi pada umumnya.
2. Beton bertulang adalah jenis beton yang diperkuat dengan penambahan tulangan baja (besi) di dalamnya. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi relatif lemah terhadap gaya tarik. Oleh karena itu, penambahan tulangan baja berfungsi untuk

meningkatkan kekuatan tarik beton, sehingga membuatnya lebih kuat dan mampu menahan beban tarik dan lentur yang besar.

3. Beton Prategang (*Pre-stressed Concrete*) adalah jenis beton yang diperkuat dengan memberikan gaya tegangan awal pada baja tulangan sebelum atau selama pengecoran beton. Tujuannya adalah untuk mengatasi gaya tarik yang akan dialami oleh beton saat digunakan, sehingga beton tersebut menjadi lebih kuat dan mampu menahan beban yang lebih besar.
4. Beton ringan adalah jenis beton yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan beton normal, karena menggunakan agregat ringan seperti batu apung, perlit, vermikulit, atau bahan-bahan buatan lainnya. Beton ini umumnya memiliki densitas antara 1.400 hingga 1.800 kg/m<sup>3</sup>, jauh lebih ringan dibandingkan beton normal yang memiliki densitas sekitar 2.300 hingga 2.500 kg/m<sup>3</sup>.
5. Beton serat adalah jenis beton yang diperkuat dengan penambahan serat (*fiber*) ke dalam campurannya. Serat ini bisa berasal dari berbagai bahan seperti serat baja, serat kaca, serat sintetis (seperti *polipropilena*), atau serat alami (seperti serat kelapa atau bambu). Penambahan serat bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis beton, terutama dalam hal ketahanan terhadap retak, tarik, dan keausan.
6. Beton pracetak adalah jenis beton yang dicetak dan dikeraskan di luar lokasi konstruksi, biasanya di pabrik, sebelum dipasang di tempat yang diinginkan. Elemen-elemen beton pracetak ini diproduksi dengan menggunakan cetakan khusus, kemudian diangkut dan dipasang di lokasi proyek. Beton pracetak sangat sering digunakan dalam proyek konstruksi besar karena efisiensi, kualitas, dan waktu pengerjaan yang lebih cepat dibandingkan dengan pengecoran beton di lokasi.
7. Beton Siklop, atau yang sering disebut *cyclopean concrete*, adalah jenis beton yang menggunakan agregat berukuran besar, biasanya

berupa batu kali atau batu alam yang berdiameter lebih dari 15 cm, yang dicampurkan dengan adukan beton biasa (semen, pasir, kerikil, dan air). Agregat batu besar ini ditempatkan secara langsung ke dalam campuran beton saat proses pengecoran.

8. Beton aspal adalah jenis material konstruksi yang terbuat dari campuran agregat (seperti batu, pasir, atau kerikil) dan aspal sebagai bahan pengikat. Campuran ini digunakan terutama untuk pembangunan jalan raya, landasan pacu, dan trotoar. Beton aspal juga dikenal sebagai aspal campuran panas karena biasanya dipanaskan dan dicampur pada suhu tinggi sebelum diaplikasikan.
9. *Self-Compacting Concrete* (SCC) adalah jenis beton yang dirancang untuk mengalir dan memadat sendiri tanpa memerlukan alat pemadat seperti vibrator. Beton ini memiliki kemampuan mengisi cetakan dengan sempurna, bahkan di area dengan tulangan rapat atau bentuk yang rumit, tanpa menimbulkan segregasi (pisahannya bahan-bahan penyusun beton) atau void (rongga udara).
10. Beton geopolimer adalah jenis beton yang dibuat menggunakan bahan pengikat berbasis geopolimer, bukan semen portland tradisional. Geopolimer adalah senyawa anorganik yang terbentuk dari reaksi antara bahan yang mengandung silika dan alumina dengan alkali (biasanya berupa larutan natrium atau kalium hidroksida). Beton ini dikenal sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan beton biasa karena mengurangi emisi karbon dan memanfaatkan bahan-bahan daur ulang.

### 2.2.3. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Saat ini, beton mendominasi material yang paling sering digunakan dalam konstruksi bangunan. Beton dinilai memiliki tingkat kekokohan yang tinggi serta tahan api. Berikut ini adalah ulasan tentang kelebihan dan kekurangan material beton.

## 1. Kelebihan Beton

- a. Biaya pembuatan beton cukup murah karena bahan-bahan penyusunnya bisa diperoleh dari daerah lokal, kecuali semen portland yang harus didatangkan dari luar daerah.
- b. Biaya pemeliharaan beton juga cukup murah karena daya tahannya yang tinggi.
- c. Beton tahan terhadap aus serta tahan api dan air sehingga memberi rasa aman lebih bagi penghuninya.
- d. Memiliki daya kekuatan dan daya dukung yang sangat tinggi sehingga dapat diaplikasikan pada segala desain bangunan.
- e. Beton tidak mudah terpengaruh oleh lingkungan dan tidak berisiko mengalami korosi atau pembusukan.
- f. Partikel-partikel pada beton mampu membentuk susunan yang padat dengan ukuran lebih kecil.
- g. Beton memiliki sifat yang fleksibel, mudah dibuat dalam bentuk dan ukuran sesuai dengan keinginan tanpa mengurangi kualitasnya secara langsung.

## 2. Kekurangan Beton

- a. Walaupun beton mampu menahan gaya beban dengan baik, namun kekuatannya cukup rendah saat menerima gaya tarik.
- b. Selama proses pengeringan, beton yang masih basah bisa mengalami penyusutan akibat struktur mengerut.
- c. Jika beton basah, maka struktur beton tersebut bisa mengembang sehingga kekuatannya menurun.
- d. Beton bisa mengalami keretakan rambut dan keretakan struktur akibat perubahan suhu yang drastis dalam waktu singkat.
- e. Sifat alamiah beton adalah dapat menyerap air melalui pori-porinya. Air tersebut justru bisa merusak beton secara perlahan terutama jika air mengandung kadar garam yang tinggi.

#### 2.2.4. Sifat dan Karakteristik Beton

Sifat dan karakteristik beton mempengaruhi performa dan aplikasinya dalam konstruksi. Berikut adalah beberapa sifat dan karakteristik utama beton:

1. Kekuatan Tekan
  - a. Sifat: Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, artinya mampu menahan beban berat tanpa mengalami kerusakan.
  - b. Karakteristik: Kekuatan tekan ini biasanya diukur dalam megapascals (MPa) atau pound per square inch (psi), dan mencapai kekuatan puncaknya setelah 28 hari pengerasan.
2. Kekuatan Tarik
  - a. Sifat: Beton memiliki kekuatan tarik yang rendah dibandingkan kekuatan tekannya, sehingga lebih mudah mengalami retak jika mengalami beban tarik.
  - b. Karakteristik: Untuk mengatasi kelemahan ini, beton sering diperkuat dengan tulangan baja atau serat.
3. Densitas dan Berat
  - a. Sifat: Beton memiliki densitas yang bervariasi tergantung pada jenis agregat yang digunakan. Beton normal biasanya memiliki densitas sekitar 2.300-2.500 kg/m<sup>3</sup>.
  - b. Karakteristik: Densitas ini mempengaruhi berat struktur dan beban pada pondasi serta biaya transportasi dan penanganan.
4. Isolasi Termal
  - a. Sifat: Beton memiliki sifat isolasi termal yang cukup baik, membantu menjaga suhu di dalam bangunan.
  - b. Karakteristik: Beton ringan atau beton dengan agregat khusus dapat meningkatkan efisiensi isolasi termal lebih jauh.
5. Ketahanan terhadap Cuaca
  - a. Sifat: Beton dapat tahan terhadap berbagai kondisi cuaca, tetapi dapat mengalami pelapukan atau kerusakan jika tidak dirawat dengan baik.

- b. Karakteristik: Beton harus dirancang dan dirawat untuk melawan siklus pembekuan dan pencairan serta serangan bahan kimia.
- 6. Daya Tahan
  - a. Sifat: Beton memiliki daya tahan yang baik terhadap keausan, korosi, dan serangan bahan kimia, tergantung pada campurannya.
  - b. Karakteristik: Penggunaan bahan tambahan atau pengubah seperti fly ash, slag, atau aditif khusus dapat meningkatkan daya tahan beton terhadap kondisi ekstrem.
- 7. Keramahan Lingkungan
  - a. Sifat: Produksi beton menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> dari pembuatan semen, tetapi ada upaya untuk mengurangi dampak ini melalui penggunaan material alternatif dan teknologi yang lebih ramah lingkungan.
  - b. Karakteristik: Beton geopolimer dan beton yang menggunakan bahan daur ulang adalah beberapa contoh inovasi untuk mengurangi dampak lingkungan.
- 8. Keberlanjutan dan Ekonomis
  - a. Sifat: Beton umumnya adalah material yang ekonomis dan dapat diakses secara luas.
  - b. Karakteristik: Biaya beton bervariasi tergantung pada komposisi dan kebutuhan proyek, tetapi beton sering dipilih karena biaya relatifnya yang rendah dibandingkan material lain.
- 9. Kemudahan Pembentukan
  - a. Sifat: Beton dapat dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran menggunakan cetakan.
  - b. Karakteristik: Fleksibilitas desain ini memungkinkan pembuatan elemen struktural yang kompleks dan desain arsitektur yang beragam.

## 10. Kekakuan dan Keberlanjutan

- a. Sifat: Beton memiliki kekakuan yang tinggi, memberikan stabilitas dan kekuatan struktur.
- b. Karakteristik: Kekuatan dan kekakuan ini penting untuk struktur yang harus menahan beban berat dan memberikan stabilitas jangka panjang.

## 2.3. Material Penyusun Beton

### 2.3.1. Semen *Portland*

Semen portland (*portland cement*) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling 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 (SNI 15-2049-2015).

Semen portland berfungsi sebagai pengikat bahan-bahan bangunan lain (batu bata, batu kali, pasir). Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

1. Tipe-tipe semen Menurut ASTM C150, semen Portland dibagi menjadi lima tipe, yaitu:
  - a. Tipe I: *Ordinary Portland cement (OPC)*, semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat, kekuatan awal).
  - b. Tipe II: *Moderate Sulphate Cement*, semen untuk beton yang tahan terhadap sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi sedang.
  - c. Tipe III: *High Early Strength Cement*, semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
  - d. Tipe IV: *Low Heat of Hydration Cement*, semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah, dengan kekuatan awal rendah.

- e. Tipe V: *High Sulphate Resistance Cement*, semen untuk beton yang tahan terhadap kadar sulfat tinggi.

## 2. Pemeriksaan Berat Jenis

Pemeriksaan berat jenis semen ini 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. Namun pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,05 sampai 3,25. Arasi ini akan mempengaruhi pada proporsi campuran semen dalam campuran, dan apabila pada percobaan tidak diperoleh hasil demikian maka pembakarannya tidak akan sempurna. Pengujian berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan Le Chateriel flaks menurut ASTM C-188 dengan prosedur sebagai berikut.

- a. Isi botol Le Chaletier dengan minyak tanah dengan skala botol antara angka 0 – 1.
- b. Masukkan botol ke Le chateriel yang berisi minyak tanah kedalam wadah yang terlebih dahulu telah diisi air. Dan memasukkan pula termometer sebagai pengukur suhu.
- c. Tambahkan es batu kedalam wadah tersebut. Sehingga suhu air mencapai suhu 4°C.
- d. Pada saat suhu air dengan suhu cairan dalam botol Le Chateriel maka selanjutnya baca skala pada botol sebagai pembacaan nilai (V1).
- e. Saring semen portland dengan menggunakan saringan No. 40, kemudian menimbang sebanyak 64 gram.
- f. Keluarkan botol dari wadah dan memasukkan semen portland sedikit demi sedikit ke dalam botol yang berisi minyak tanah dengan menggunakan corong kaca dengan menjaga agar semen tidak menempel pada dinding atas bagian dalam botol Le Chateriel.

- g. Masukkan kembali botol Le Chateriel yang berisi minyak tanah dan semen kedalam wadah dengan tetap menjaga agar suhu air mencapai 4°C.
- h. Pada saat suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol Le Chateriel, skala pada botol dibaca sebagai nilai (V2).
- i. Untuk mencari nilai berat jenis semen, digunakan persamaan sebagai berku

$$\text{Berat jenis} = \frac{w}{v_1 - v_2} \times \gamma \text{ air} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- W = Berat benda uji semen portland
- V1 = Pembacaan pada botol *Le Chatelier* yang berisiminyak tanah pada suhu 4°C
- V2 = Pembacaan pada botol *Le Chatelier* yang berisiminyak tanah dan semen pada suhu 4°C
- $\gamma$  air = berat isis air pada suhu 4°C

### 2.3.2. Agregat

Pada beton biasanya terdapat sekitar 70% sampai 80% volume agregat terdapat volume keseluruhan beton, karena itu agregat mempunyai peranan yang penting dalam properties suatu beton. Agregat ini harus bergradiasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat dan variasi dalam perilaku.

Ukuran agregat secara umum dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan ukuran butirannya, yaitu; Batu, jika butirannya lebih dari 40 mm; Kerikil, jika ukuran butirannya antara 5 mm sampai 40 mm; Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Menurut SNI 03-1969-1990 untuk menentukan berat jenis dan penyerapan (absorpsi) guna menentukan volume agregat harus dalam kondisi SSD. Kondisi SSD ialah keadaan pada agregat dimana tidak terdapat air pada permukaannya, tetapi pada rongganya terisi oleh air

sehingga tidak mengakibatkan penambahan maupun pengurangan kadar air dalam beton.

#### 1. Agregat halus (pasir)

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butir kurang dari 5 mm atau lolos saringan no. 4. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (stone crusher). Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka berulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Menurut PBI, agregat halus harus memenuhi syarat:

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekal artinya tidak hancur oleh pengaruh cuaca dan temperatur, seperti terik matahari, hujan dan lain-lain.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering. Apabila kadar lumpur lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuci bila ingin dipakai untuk campuran beton atau bisa juga digunakan langsung tetapi kekuatan beton kurang 5%.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Haedar dengan larutan  $\text{NaOH}_3$  %
- d. Angka kehalusan untuk fine sand antara 2,2 – 3,2
- e. Angka kehalusan untuk fine antara 3,2 – 4,5

Agregat yang butir - butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (SK SNI T – 15-1991-03). Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan

gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam ASTM C 33/03 “*Standar Specification for Concrete Aggregates*”

**Tabel 2.1** Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus

<b>Diameter Saringan (mm)</b>	<b>Persen Lolos (%)</b>	<b>Gradasi Ideal (%)</b>
9,5	100	100
4,75	95-100	97,5
2,36	80-100	90
1,18	50-85	67,5
600 $\mu$	25-6	42,5
300 $\mu$	5-30	17,5
150 $\mu$	0-10	5

*Sumber : ASTM C33/3*

Pengujian karakteristik agregat ini tentunya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan adalah pada Tabel 2.2. berikut ini.

**Tabel 2.2.** Jenis Pemeriksaan Agregat Halus

<b>No.</b>	<b>Karakteristik Agregat</b>	<b>Interval Nilai</b>	<b>Standar</b>
1.	Kadar Lumpur	0,2 % - 1%	SNI S-041989-F SNI 03-2816-1992
2.	Kadar Air	0,5 % - 2%	SNI 03-1971-1990
3.	Berat Volume		SNI M-10-1989-F
	a. Kondisi Lepas	1,6-1,9 kg/L	
	b. Kondisi Padat	1,6-1,9 kg/L	
4.	Berat Jenis Spesifik		SNI 03-1970-1990
	a. BJ. Nyata	1,6 - 3,2	
	b. BJ. Dasar Kering	1,6 - 3,2	
	c. BJ.Kering Permukaan SSD	1,6 - 3,2	

*Sumber : SNI (Standar Nasional Indonesia)*

## 2. Pengujian karakteristik agregat halus

### a. Analisa saringan

Berdasarkan SK SNI M-08-1989-F dan SNI 03-1968 1990. Prosedur pelaksanaan pengujian gradasi butiran agregat halus (pasir) sebagai berikut.

- 1) Keringkan pasir yang akan diperiksa dengan oven pada suhu  $(110 \pm 5)$  °C sampai beratnya tetap kemudian diambil sampel sebanyak 1.000 gram.
- 2) Timbang masing – masing saringan dalam keadaan kosong dan bersih.
- 3) Susun saringan secara urut yaitu saringan dengan nomor 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100 dan pan.
- 4) Tuangkan pasir kedalam saringan paling atas. Penyaringan dilakukan dengan menggoyangkan saringan selama 30 menit bila secara manual dan 10 menit bila menggunakan mesin goyang.
- 5) Diamkan kurang lebih selama 5 menit setelah proses penggoyangan selesai, maksudnya membiarkan kesempatan pada debu/pasir sangat halus mengendap.
- 6) Butiran yang tertahan pada masing- masing saringan kemudian ditimbang untuk mencari modulus halus butir pasirnya.
- 7) Catat hasil percobaan saringan dan buat dalam daftar bentuk tabel
- 8) Lakukanlah 2 kali percobaan dengan kehilangan berat max. 1% dari berat semula.

Persamaan Analisa perhitungan untuk pengujian gradasi butiran ialah sebagai berikut.

$$\text{Persen Berat Tertahan} = \frac{\text{Berat Tertahan Per Nomor Saringan}}{\text{Jumlah Berat Total (gram)}} \times 100\% \text{ (2.2)}$$

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

*Catatan: Untuk menghitung nilai MHB tidak perlu memasukkannilai berat tertahan yang ada pada pan.*

b. Berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SK SNI 03-1970-1990 prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus (pasir) sebagai berikut.

- 1) Timbang pasir seberat 1.200 gram.
- 2) Keringkan pasir dalam tungku dengan suhu sekitar  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  sampai beratnya tetap.
- 3) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 4) Setelah direndam, buang air perendam dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbang. Keringkan pasir hingga mencapai keadaan kering permukaan (SSD). Untuk mengetahui kondisi SSD tercapai, ambil kerucut kuning tempatkan ditempat yang rata kemudian masukkan sampel 1/3 bagian, gunakan penumbuk untuk memadatkan tumbuk 8 kali dan lapisan ketiga 7 kali.
- 5) Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram, ambil 2 sampel.
- 6) Timbang piknometer dalam keadaan kosong (K).
- 7) Isi piknometer kosong dengan air sampai penuh kemudian timbang (B).
- 8) Masukkan pasir kondisi SSD sebanyak 500 gr tadi kedalam piknometer, lalu tambahkan aquades sampai 90% penuh, kocok selama  $\pm 5$  menit dengan di kocok untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap diantara butir-butir pasir. Pengeluaran gelembung udara dapat juga dilakukan dengan

memanasi piknometre atau diamkan selama 24 jam untuk mengeluarkan gelembung udara didalamnya.

- 9) Setelah gelembung udara keluar, tambakan air pada miknometer sampai tanda batas penuh 100% agar gelembung udara terbuang, lalu timbang piknomter berisi air dan aquades dengan ketelitian 1 gr (Bt).
- 10) Timbang talang kosong.
- 11) Tuangkan pasir dari piknometer kedalam talang (wadah) tersebut lalu oven selama 24 jam sampai beratnya tetap.
- 12) Keluarkan sampel dari oven dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering (Bk).

Persamaan Analisa perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus (pasir) sebagai berikut.

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

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

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

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

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

c. Berat isi/volume

Berdasarkan SK SNI M-10-1989-F, pemeriksaan berat isi agregat halus (pasir) dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

**Kondisi Lepas**

- 1) Ukur volume kontainer (V).
- 2) Timbang container dalam keadaan kosong (W1).
- 3) Isi container dengan pasir sampai penuh.
- 4) Ratakan permukaan container dengan alat Perata.

- 5) Timbang berat container + pasir (W2).

**Kondisi Padat**

- 1) Ukur volume container
- 2) Timbang berat container dalam keadaan kosong (W1).
- 3) Masukkan pasir kedalam container  $\pm 1/3$  bagian.
- 4) Ulangi prosedur (3) untuk lapis ke 2.
- 5) Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atas container lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali.
- 6) Ratakan permukaannya dengan alat Perata
- 7) Timbang berat container + pasir (W2)

Persamaan Analisa perhitungan untuk pengujian berat isi/volume adalah sebagai berikut.

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

d. Kadar lumpur

Berdasarkan: SK SNI S-04-1989-F dan SNI 03-2816-1992 Pemeriksaan kandungan lumpur. Prosedur pelaksanaan pemeriksaan pengujian kandungan lumpur agregat halus (pasir) sebagai berikut.

- 1) Oven pasir sebanyak 1500 gr selama 24 jam lalu ambil pasir kering tungku seberat 500 gram (W1).
- 2) Setelah ditimbang cuci pasir dengan cara masukkan kedalam saringan No. 200 dan diberi air pencuci secukupnya, sehingga benda uji terendam, lalu guncang-guncangkan saringan tadi selama  $\pm 5$  menit.
- 3) Ulangi langkah kedua (2) hingga air pencuci tampak jernih / tidak keruh.
- 4) Masukkan butir pasir yang tersisa di ayakan No 200 ke dalam talang dan keringkan kembali dalam oven selama 24

jam dengan suhu 100°C.

- 5) Timbangan pasir kering tungku kembali (W2).
- 6) Selisih berat semula dengan berat setelah dicuci adalah bagian yang hilang (kandungan lumpur atau butiran < 50 micron).
- 7) Percobaan dilakukan 2 kali, kemudian dihitung hasil rata-ratanya.

Persamaan analisa perhitungan untuk pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir), sebagai berikut.

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

Prosedur pengujian kadar air agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut.

- 1) Timbang talang kosong yang digunakan.
- 2) Pasir ditimbang untuk memperoleh berat basah (kondisi lapangan/C).
- 3) Setelah itu dioven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
- 4) Setelah ± 24 jam, dinginkan lalu timbang kembali untuk mendapatkan berat kering (D).
- 5) Persamaan analisa perhitungan kadar air agregat halus (pasir), sebagai berikut.

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

### 2.3.3. Air Laut

Air laut adalah campuran kompleks yang terdiri dari air dan berbagai zat terlarut, terutama garam, serta beberapa zat lain dalam jumlah yang lebih kecil. Air laut menutupi sekitar 70% permukaan bumi dan merupakan bagian penting dari ekosistem global.

Penggunaan air laut sebagai bahan campuran beton bukanlah praktik umum karena air laut mengandung garam, terutama natrium klorida (NaCl), yang bisa menyebabkan korosi pada tulangan baja dalam beton dan mempengaruhi kualitas serta daya tahan beton.

Namun, air laut masih bisa digunakan dalam pencampuran beton dalam situasi tertentu dengan syarat-syarat khusus.

#### 2.3.4. Pasir Sungai

Pasir sungai adalah material alami yang berasal dari proses erosi dan pengendapan di dasar atau tepian sungai. Pasir ini terbentuk dari partikel-partikel kecil batuan dan mineral yang terbawa oleh aliran air sungai dan terendap di suatu tempat. Pasir sungai umumnya memiliki butiran yang halus hingga sedang, serta bentuknya cenderung bulat atau halus karena proses penghalusan oleh air.

Pasir sungai dapat digunakan sebagai komponen struktural beton jika memenuhi beberapa persyaratan teknis yang diperlukan untuk kualitas dan kekuatan beton. Beberapa kondisi yang harus dipenuhi adalah:

1. Kebersihan: Pasir harus bebas dari bahan organik, lumpur, tanah liat, garam, atau bahan kimia yang dapat mempengaruhi kualitas beton. Kontaminasi dapat melemahkan ikatan antara pasir dan semen.
2. Ukuran Butiran: Ukuran butiran pasir harus sesuai dengan spesifikasi untuk campuran beton. Pasir yang terlalu halus atau terlalu kasar dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Biasanya, pasir dengan gradasi yang baik (campuran ukuran butiran halus dan kasar) lebih ideal.
3. Kandungan Air: Pasir sungai sering kali memiliki kandungan air yang cukup tinggi, sehingga perlu diperhatikan takaran air dalam campuran beton agar tidak berlebihan. Kelebihan air dapat menyebabkan beton menjadi lemah dan mudah retak.
4. Kekuatan dan Kepadatan: Pasir sungai yang digunakan harus cukup kuat dan memiliki kerapatan yang baik untuk mendukung beban struktural beton.
5. Daya Rekat: Pasir harus memiliki kemampuan untuk mengikat dengan semen dengan baik. Bentuk butiran pasir sungai yang

cenderung bulat sering kali mengurangi daya rekat dibandingkan pasir dengan butiran bersudut, sehingga diperlukan perhatian lebih pada komposisi campuran beton.

#### 2.3.5. *Ultrafine Palm Oil Fuel Ash (UPOFA)*

*Ultrafine Palm Oil Fuel Ash (UPOFA)* adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan baku minyak sawit, khususnya dari pembangkit listrik berbasis biomassa. UPOFA memiliki ukuran partikel yang sangat halus, biasanya kurang dari 10 mikrometer, yang memberikan sifat unik yang dapat meningkatkan kinerja material konstruksi, terutama beton.(chtght.com)

Adapun manfaat penggunaan UPOFA yang harus di ketahui yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatkan kekuatan penambahan UPOFA dapat meningkatkan kekuatan tekan beton, terutama pada proporsi yang tepat.
2. Mengurangi limbah penggunaan UPOFA sebagai bahan tambahan dapat mengurangi limbah dari industri kelapa sawit dan memberikan nilai tambah pada limbah tersebut.
3. Ramah Lingkungan dan memanfaatkan sumber daya lokal dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional, menjadikan UPOFA pilihan yang lebih berkelanjutan.

#### 2.4. **Mutu Beton**

Mutu beton mengacu pada kekuatan dan kualitas beton yang ditentukan oleh kekuatan tekan yang dapat ditahan oleh beton per satuan luas. Mutu beton biasanya dinyatakan dalam satuan MPa (megapascal) atau kg/cm<sup>2</sup>, yang mengindikasikan kekuatan tekan beton setelah 28 hari pengerasan (*curing*). Beton merupakan campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat. Untuk mutu beton  $f_c$  beton ke K dapat di lihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Konversi dari mutu beton Fc ke K

Mutu beton K (kg/cm <sup>2</sup> )	Mutu beton fc Mpa (N/mm <sup>2</sup> )
K-100	Fc 8,3
K-150	Fc 12,35
K-175	Fc 14,53
K-200	Fc 16,60
K-225	Fc 18,68
K-250	Fc 20,75
K-275	Fc 22,83
K-300	Fc 24,90
K-350	Fc 29,05
K-400	Fc 33,20
K-450	Fc 37,35
K-500	Fc 41,50

*Sumber: SNI-03-2847-2002*

## 2.5. Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton adalah karakteristik fisik beton yang terkait dengan perilaku material ketika dikenakan gaya atau beban. Beton merupakan bahan komposit yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah terhadap gaya tarik. Sifat-sifat mekanik ini sangat penting dalam desain dan analisis struktur, terutama dalam menentukan bagaimana beton berperilaku di bawah berbagai kondisi beban.

Perilaku mekanik beton keras tidak jauh dari kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang detail, kedap air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang (*Duralibitas* beton). Berikut adalah beberapa sifat mekanik utama beton yang telah kami uji laboratorium:

### 2.5.1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah salah satu sifat mekanik terpenting dari beton yang menunjukkan kemampuan beton untuk menahan gaya tekan. Kuat tekan ini adalah parameter utama yang menentukan kualitas dan kegunaan beton dalam konstruksi. Kuat tekan diukur sebagai tegangan maksimum yang dapat diterima beton sebelum mengalami keruntuhan atau kehancuran. Biasanya, kuat tekan diuji pada umur 28 hari setelah beton dicor, karena pada saat ini beton sudah mencapai sekitar 95% kekuatan akhirnya. Selain dipengaruhi oleh perbandingan air-semen dan kepadatannya, kuat hancur dipengaruhi oleh faktor lainnya, yaitu :

1. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Tekstur permukaan agregat
3. Efisiensi dan perawatan (*curing*). Kehilangan kekuatan sampai sekitar 40% dapat terjadi apabila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji.
4. Suhu, pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu.
5. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah seiring dengan umurnya.

Berdasarkan beban runtuh yang dapat diterima oleh benda uji, maka nilai kuat beton structural dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

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

Dimana :

$f_c'$  = Kuat tekan beton dengan uji kubus (MPa)

P = Gaya tekan aksial (N)

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

Kuat tekan beton secara umum relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, oleh karena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja dan tidak meninjau kuat tarik.



**Gambar 2.1.** Uji Kuat Tekan Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm

Standarisasi nilai kuat tekan beton menurut SNI 03-061-1996 tentang sifat-sifat fisika suatu campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut :

**Tabel 2.4.** Sifat-Sifat Fisika Beton

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Klasifikasi
	Rata-rata	Min.	
A	40	35	Digunakan untuk jalan
B	20	17,0	Digunakan untuk peralatan parkir
C	15	12,5	Digunakan untuk pejalan kaki
D	10	8,5	Digunakan untuk taman dan penggunaan lain

Sumber : SNI-03-0691-1996

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

### 2.5.2. *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*

#### 1. Pengertian UPVT

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* adalah metode non-destruktif yang digunakan untuk mengukur kecepatan gelombang ultrasonik yang merambat melalui material, termasuk beton. Pengujian ini berguna untuk menilai kualitas dan integritas struktur beton tanpa merusaknya Hanif, dkk (2024). Dalam pengujian ini sampel yang telah dibuat di uji pada saat berumur 28 hari pengujian dilakukan di laboratorium unhas makassar dengan jumlah sampel 20 variasi silinder sesuai ketentuan. Metode yang digunakan sesuai dengan ASTM C597:2012 [46]. Arah uji UPVT sama dengan arah uji kuat tekan. Pengukuran dilakukan pada tiga titik sepanjang arah memanjang spesimen, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. dibawah ini.



**Gambar 2.2.** Pengaturan Untuk Uji UPVT

*Sumber : Dokumentasi di laboratorium unhas makassar*

Dalam uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) untuk mengetahui kecepatan gelombang terhadap kualitas beton dapat kita tentukan dalam persamaan berikut :

$$V = \frac{L}{T} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

V = Kecepatan Pulsa (*Pulsa Velocity*)

L = Jarak Antara Transduser (*Length Between Transducer*)

T = Waktu Transit (*Transit Time*)

Adapun Tabel 2.4. kriteria data uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.5.** Kriteria Data Penentuan Uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT)

No	<i>Pulse Velocity</i> (km/s)	Mutu	<i>Concrete quality</i> (ratings)
1.	≥ 4,5	A	Luar Biasa (E)
2.	3,5 – 4,5	B	Bagus (G)
3.	3,0 – 3,5	C	Sedang (M)
4.	2,0 - 3.0	B	Diragukan (D)
5.	≤ 2,0	E	Sangat Lemah (VW)

Sumber : *ASTM C597*

2. Tujuan *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT)

Adapun tujuan pengujian UPVT yang harus kita ketahui yaitu sebagai berikut :

- e. Menilai Kualitas Beton dimana dapat mengidentifikasi keberadaan retakan, porositas, dan cacat lainnya dalam beton.
- f. Mengukur Kekuatan dan memprediksi kekuatan tekan beton

berdasarkan kecepatan gelombang ultrasonik.

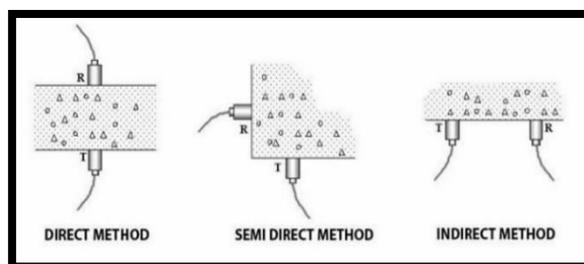
- g. Memonitor Kerusakan serta memantau kondisi struktur seiring waktu untuk mendeteksi perubahan.

#### 4. Metode Pengujian UPVT

Dalam pengujian material beton menggunakan UPVT, gelombang ultrasonik disalurkan dari transmitter transducer yang ditempatkan dipermukaan beton melalui material beton menuju receiver transducer dan waktu tempuh gelombang tersebut diukur oleh Read-Out unit PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*) dalam micro detik (msec).

*Ultrasonic Pulse Velocity Test* dilaksanakan berdasarkan standar pengujian BS 1881-203; ASTM C597. Pengukuran dapat dilakukan dengan beberapa metode berikut:

- a. *Direct Method* yaitu transmitter dan receiver berada pada dua permukaan yang paralel.
- b. *Semi-direct Method*, yaitu transmitter dan receiver berada pada dua permukaan yang saling tegak lurus.
- c. *Indirect Method* dimana kedua transducer berada pada permukaan yang sama.



**Gambar 2.3** Metode Pengujian UPVT

Sumber : PT Hesa Lasar Cemerlang

#### 3. Kelebihan dan kekurangan *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT)

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari pengujian Uji Penetrasi Viskositas (UPVT) pada silinder beton:

a. Kelebihan UPVT

- 1) Akurasi Tinggi dalam pengujian ini memberikan hasil yang akurat dalam menentukan kekuatan tekan beton.
- 2) Standar yang Jelas dan metode ini mengikuti standar internasional, sehingga hasilnya dapat diandalkan dan dibandingkan.
- 3) Penggunaan yang Luas dapat diterima secara luas dalam industri konstruksi untuk evaluasi kualitas beton.
- 4) Analisis Material serta membantu memahami karakteristik material dan konsistensinya.
- 5) Identifikasi Masalah Dini dapat mengidentifikasi potensi masalah pada campuran beton sebelum digunakan secara luas.

b. Kekurangan UPVT

- 1) Waktu dan Biaya dimana pengujian dapat memakan waktu dan biaya, terutama jika dilakukan secara rutin.
- 2) Pengambilan Sampel dan kualitas hasil sangat bergantung pada cara pengambilan dan perawatan sampel.
- 3) Keterbatasan hanya mengukur kekuatan tekan, tidak memberikan informasi tentang sifat mekanik lainnya, seperti ketahanan geser atau lentur.
- 4) Persyaratan Peralatan harus membutuhkan peralatan khusus yang mungkin tidak tersedia di semua lokasi.

5) Variabilitas Hasil dapat bervariasi tergantung pada faktor lingkungan dan teknik pengujian yang digunakan.

### 2.5.3. *Electrical Resistivity*

Pengujian resistivitas listrik (*electrical resistivity testing*) adalah metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu material untuk menahan aliran arus listrik. Ini sering dilakukan untuk berbagai aplikasi, termasuk penilaian kualitas bahan, evaluasi kondisi tanah, dan pengujian kabel atau komponen elektronik.

Pengukuran resistivitas listrik beton terutama digunakan untuk mengevaluasi karakteristik beton seperti ketahanan beton, permeabilitas, perkiraan permeasi asam dan difusivitas ion klorida. Pengukuran resistivitas beton dapat digunakan sebagai indikator ketahanan korosi tulangan yang tertanam pada struktur beton bertulang. Sehubungan dengan penilaian ketahanan struktur beton yang ada, dalam beberapa tahun terakhir telah terjadi peningkatan kesadaran akan dampak resistivitas beton terhadap korosi tulangan dan pengujian resistivitas beton. Data resistivitas beton digunakan untuk penilaian risiko korosi pada tulangan tanaman dan untuk menilai kompatibilitas mortar perbaikan yang digunakan Bersama dengan sistem proteksi elektrokimia.

Pada beton, arus listrik dibawa oleh ion-ion bermuatan terlarut yang mengalir melalui pori-pori larutan. Resistivitas beton tergantung pada struktur mikro beton seperti distribusi ukuran pori kapiler dan interkoneksinya. Jaringan pori yang lebih halus dengan konektivitas yang lebih sedikit menyebabkan permeabilitas yang lebih rendah, yang berarti resistivitas yang lebih tinggi. Ukuran dan struktur pori ditentukan oleh faktor-faktor seperti jenis semen, rasio air-semen (w/c), campuran pozzolan dan derajat hidrasi beton. Pengaruh karakteristik fisik ini selanjutnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (terutama kelembaban relatif) di mana beton berada. Pengaruh lain seperti kontaminan kimia (masuknya klorida dalam lingkungan laut)

selanjutnya dapat mempengaruhi nilai resistivitas beton, semua variabel ini berkontribusi terhadap resistivitas beton., dan untuk struktur yang sudah ada, semua variabel ini harus dipertimbangan. Pengukuran resistivitas beton dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode *destruktif* dan *non-destruktif*. Meskipun ada banyak metode yang telah diujicobakan dalam percobaan, pengujian probe Wenner empat titik umumnya lebih disukai untuk pengujian resistivitas di laboratorium dan di lokasi karena sifatnya yang tidak merusak, pengukuran cepat, dan desain yang kompak.

Salah satu faktor utama yang berpengaruh pada terjadinya korosi pada sebuah baja adalah tingkat resistensinya. Resistivitas berpengaruh langsung pada proses korosi karena aliran ion antara anoda dan katoda pada tulangan beton. Mengukur kekuatan beton memungkinkan kita untuk mengetahui cepat lambatnya suatu struktur mengalami korosi, yang pada mengakibatkan penurunan kualitas beton. Korosi yang lambat dapat menjadi indikasi gejala awal yang memerlukan perawatan atau penanganan secepat mungkin. Untuk menemukan titik panas pasti memungkinkan korosi pada baja tulangan, analisis data dari pengujian *electrical resistivity* dapat menjadi lebih informatif jika digabungkan dengan pengujian *Half-cell potensial*. Di bawah ini adalah Tabel 2.5. kriteria data dalam menentukan uji *Electrical Resistivity* sebagai berikut :

**Tabel 2.6.** Kriteria Data Penentuan Uji *Electrical Resistivity*

No	Resistivitas Beton	Mutu	Resiko Korosi
1.	< 50	A	Sangat Tinggi
2.	50 – 100	B	Tinggi
3.	100 – 200	C	Rendah
4.	> 200	D	Sangat Rendah

Sumber : ASTM B193-19

Dalam menentukan nilai uji *electrical resistivity* didapat dengan menggunakan Persamaan 2.14 berikut :

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \dots\dots\dots(2.14)$$

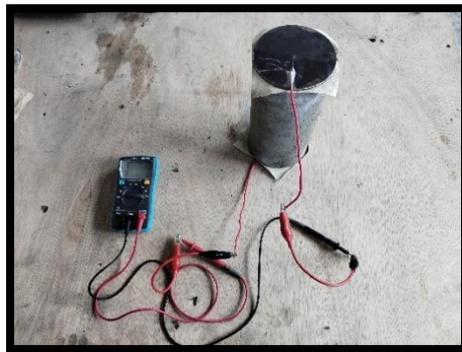
Dimana :

$\rho$  = Resistivitas Bahan ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

$R$  = Tahanan beton ( $\Omega$ )

$A$  = Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )

$L$  = Panjang (m)



**Gambar 2.4.** Uji *Electrical Resistivity* Silinder Beton

## 2.6. Standar Deviasi

Standar deviasi atau simpangan baku adalah ukuran statistic tentang seberapa terbesar atau menyimpangnya kumoulan dara dari nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi yang kecil berarti data terkonsentrasi di sekitar nilai rata-rata. Sebaliknya, nilai deviasi atau simpangan baku beton merupakan ukuran statistik mengenai seberapa besar kekuatan beton bervariasi atau menyimpang dari rata-rata. Standar deviasi atau simpangan baku digunakan untuk mengevaluasi konsistensi kualitas beton yang diproduksi pada suatu proyek atau di pabrik. Fungsi standar deviasi adalah untuk mengukur derajat variasi atau deviasi data dari rata-rata dan untuk menilai konistensi data dalam satu set data. Ini digunakan dalam berbagai bidang termasuk analisis dan control kualitas.

Dalam standar seperti SNI 03-2834-2000, standar deviasi digunakan untuk menentukan kuat rata-rata beton yang harus dicapai dalam pencampuran beton, yang dirumuskan sebagai:

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1,64S \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

$f'_{cr}$  : kuat tekan rata-rata beton yang dirancang

$f'_{c}$  : kuat tekan beton yang disyaratkan

$S$  : standar deviasi

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials [ASTM], C150, Types Of Portland Cement, ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C33/03, Pengujian Berat Jenis dengan Menggunakan Le Chaterial Flaks, ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C-188, Standard specification for Concrete Aggregates, ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C567:2012 [46], Metode dalam Pengujian Ultra Pulse Velocity Test (UPVT). ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] C33, Standar Spesifikasi Agregat Untuk Beton. ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] C597, Kriteria Data Penentuan Uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] B193-19, Kriteria Data Penentuan Uji *Electrical Resistivity*. ASTM.
- Asrah, H., Mirasa, A. K., & Mannan, A. (2015). The performance of ultrafine palm oil fuel ash in suppressing the alkali silica reaction in mortar bar. *International Journal of Engineering Applied Science*, 9, 60-66.
- Agus, I. (2023). Uji Kuat Tekan Beton Menggunakan Air Laut Serta Pengaruhnya Terhadap Variasi Perendaman. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 12(1), 10-15.
- Asroni, 2010. "campuran bahan beton". [https://www.google.com/search?q=menurt+asroni+campuran+bahan+adalah&sca\\_esv=573190987&rlz](https://www.google.com/search?q=menurt+asroni+campuran+bahan+adalah&sca_esv=573190987&rlz). Diakses tanggal 9 September 2024 pukul 20.00 WITA.
- Badan Standarisasi BS 1881-203: American Society for Testing and Materials [ASTM], C597, Testing Standard Ultra Pulse Velocity Test (UPVT), ASTM.

Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 03-2847-2002, Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2015. SNI 15-2049:2015, Semen Portland. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1990. SNI 03-1969-1990, Berat Jenis dan Penyerapan (absorpsi) Guna Menentukan Volume Agregat Harus dalam Kondisi SSD. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1991. SK SNI T - 15-1991-03, Penentuan Ukuran Butiran Agregat Halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, SK SNI 08-1989-F dan SNI 03-1968-1990, Prosedur pengujian pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1990. SK SNI 03-1970-1990, Prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1989. SK SNI M-10-1989-F, Prosedur pengujian berat isi/volume agregat halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1989. SK SNI S-04-1989-F, Prosedur pengujian kadar air agregat halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, SK SNI 04-1989-F dan SNI 03-2816-1992, Prosedur pengujian pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI-03-2847-2002, Tabel Konversi Mutu Beton K ke  $f_c'$  Mpa. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 1996. SNI-03-0691-1996, Tabel Sifat-Sifat Fisika Beton. Jakarta, BSN.

Badan Standardisasi Nasional, 2000. SNI 03-2834-2000, Standar deviasi digunakan untuk menentukan kuat tekan rata-rata beton. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2019. SNI 2847 2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2002. SNI 03 2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2012. SNI 7656:2012, Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 2493-2011, Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2019. SNI 2847-2019, Agregat Halus Lolos Saringan No.4. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 03-1971-2011, Syarat Penentuan Kadar Air Agregat Halus. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 1990. SNI 03-1970-1990, Pengujian Berat Jenis Agregat Halus. Jakarta, BSN.

Badan Standarisasi Nasional, 1989. SNI M-14-1989, Prosedur Pembuatan Beton . Jakarta, BSN.

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.

Dasar, Amry, Dahlia Patah, Irma Ridhayani, and Abdi Manaf. 2023. "Perbandingan Kinerja Bata Beton Menggunakan Abu Cangkang Sawit, Abu Sekam Padi Dan Abu Serat Sagu." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 11(2): 241–48.

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.

Google earth, Gambar Lokasi Penelitian, (2024)

Google.com – PT Hesa Laras Cemerlang, Gambar Metode Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT), diakses 8 September 2024, dari <https://images.app.goo.gl/kPx5e1Hv3woqN8PX7>

Hanif, A., Kurniawandy, A., & Yusa, M. (2024). Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan UPV Dan Hammer Test. *SAINSTEK*, 12(1), 135-140.

HASHIM, S. S. B. S. (2014). PENGARUH ULTI (UPOFA) TERHADAP MORTAR MEKANIKA (Doctoral dissertation, UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG).

Hartini, H., & Wahyuni, S. F. (2023). Tinjauan Nilai Kuat Beton Menggunakan Air Laut. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 12(2), 51-58.

Napitupulu, R. (2014). *Pengaruh Penambahan Abu Boiler Kelapa Sawit dalam Meningkatkan Kekuatan Beton* (Doctoral dissertation, UNIMED).

Patah, D., & Dasar, A. (2022, September). Strength Performance of Concrete Using Rice Husk Ash (RHA) as Supplementary Cementitious Material (SCM). In *Journal of The Civil Engineering Forum* (pp. 261-276).

Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. (2023). NILAI AMBANG KLORIDA UNTUK INISIASI KOROSI PADA BETON BERTULANG MENGGUNAKAN ABU TERBANG. *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 5(2), 29-38.

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., Apriansyah, A., & Caronge, M. A. (2023, July). Strength development of seawater mixed and cured concrete with various replacement ratios of fly ash. In *Materials Science Forum* (Vol. 1091, pp. 111-118). Trans Tech Publications Ltd.

- PUTRI, W. R. (2021). Beton Pofa (Palm Oil Fuel Ash) Dengan Bahan Tambah Silica Fume.
- Pamungkas, 2012. “ industry pemecah baru” [https://www.google.com/search?q=menurut+pamungkas+2012+pengertian+beton+ada\\_id](https://www.google.com/search?q=menurut+pamungkas+2012+pengertian+beton+ada_id). Diakses pada tanggal 9 September 2024 pukul 20.00 WITA.
- Ridhayani, I., Dasar, A., Mahmuda, A. F., Manaf, A., & Patah, D. (2023). PERBANDINGAN KINERJA BATA BETON MENGGUNAKAN ABU CANGKANG SAWIT, ABU SEKAM PADI DAN ABU SERAT SAGU. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 241-248.
- Rahmat, F. A. (2019). *Pengaruh Penggunaan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).