

SKRIPSI

**EVALUASI KEKUATAN BETON RAMAH LINGKUNGAN DAN
BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN *ULTRAFINE PALM OIL FUEL*
*ASH (UPOFA)***



Disusun Oleh :

PUTRI WAHYUNI

D01 21 383

**JURUSAN 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 Instagram : ft_universitas Sulawesi Barat

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI KEKUATAN BETON RAMAH LINGKUNGAN DAN
BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN *ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH*
(UPOFA)**

TUGAS AKHIR

Oleh

PUTRI WAHYUNI

NIM: D0121383

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

Tanggal 24 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 RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN *ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH* (UPOFA)

Putri Wahyuni

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

putriwahyunimarjono@gmail.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan beton ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan menggunakan *Ultrafine Palm Oil Fuel Ash* (UPOFA) sebagai bahan pengganti sebagian semen. UPOFA dihasilkan dari proses pembakaran limbah minyak sawit yang diproses menjadi *ultrafine*, sehingga memiliki sifat pozzolanik yang baik. Penelitian ini melibatkan pembuatan beberapa variasi campuran beton dengan persentase penggantian semen sebesar 10%, 20% dan 30% oleh UPOFA.

Pengujian dilakukan terhadap kekuatan tekan beton pada umur 7, 28 dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi yang menggunakan 10% UPOFA sebagai pengganti sebagian semen memperoleh nilai kuat tekan optimal yang masuk dalam mutu A. Peningkatan kuat tekan diikuti oleh peningkatan kecepatan rambat gelombang ultrasonik. Penambahan UPOFA meningkatkan resistivitas listrik beton, dengan 10% UPOFA menunjukkan resiko korosi sangat rendah atau bahkan tingkat korosinya tidak terdeteksi, dan 20-30% UPOFA menunjukkan resiko korosi yang rendah. Selain itu, beton yang menggunakan UPOFA memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah, mengingat pengurangan penggunaan semen Portland yang merupakan sumber emisi karbon.

Kata kunci : Beton ramah lingkungan, UPOFA, kuat tekan, *Ultrasonic Pulse Velocity*, *Electrical Resistivity*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi dari belahan dunia semakin lama semakin meningkat yang dimana proses pembangunan konstruksi gedung sebagian besarnya masih terbuat dari beton. Hal ini akan membuat penggunaan beton semakin meningkat sehingga jumlah sumber daya yang tersedia menurun dan hal ini akan mengganggu keseimbangan lingkungan, maka dari itu alternatif yang dapat dilakukan guna untuk menjaga keseimbangan lingkungan adalah menghasilkan beton ramah lingkungan.

Beton ramah lingkungan adalah jenis beton yang menggunakan sedikit energi alam dalam produksinya dan menghasilkan lebih sedikit CO₂ (karbondioksida). Bahan utama dalam pembuatan beton adalah semen yang terbuat dari batu kapur. Selama pembuatan semen, bahan bahannya dipanaskan sampai sekitar 800° C – 10000°C. (Simanjuntak, 2020).

Selama proses ini karbondioksida akan dilepaskan. Oleh karena itu beton ramah lingkungan menjadi eksistensi dalam mengurangi emisi CO₂ dengan mengurangi penggunaan semen yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan juga beton ramah lingkungan dapat mengurangi penggunaan sumber daya alam seperti kapur, serpih, tanah liat dan pasir sungai alami. Selain pemakaian beton salah satu penyebab kerusakan lingkungan adalah limbah. Sehingga limbah dapat dimanfaatkan sebagai Salah satu bahan tambah yang dapat digunakan pada campuran beton pada beton ramah lingkungan.(Simanjuntak, 2020).

Kekuatan beton merupakan salah satu parameter penting dalam konstruksi bangunan. Beton yang kuat dan tahan lama sangat diperlukan untuk menjamin keselamatan dan keberlangsungan struktur. Namun, produksi beton konvensional seringkali melibatkan penggunaan semen portland dalam jumlah besar, yang kontribusi signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) dan dampak lingkungan negatif lainnya. Oleh karena itu, pencarian alternatif

bahan baku yang lebih ramah lingkungan menjadi suatu kebutuhan mendesak, terutama di era pembangunan berkelanjutan.

Dalam upaya meningkatkan kekuatan beton dengan menggunakan material lokal yang ada di Sulawesi Barat, sebagian masyarakat dan pelaku konstruksi menggunakan material untuk campuran beton berupa pasir dan kerikil dari Sungai Mapilli (Patah dan Dasar, 2021). Akan tetapi, uji karakteristik dan kelayakan material lokal ini sebagai material bangunan belum banyak dilakukan. Agregat kasar dan halus merupakan material pembentuk beton. Beton biasanya memiliki campuran agregat yang jumlahnya cukup tinggi, yaitu berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Agregat ini hanya digunakan sebagai bahan pengisi dari beton. (Patah dan Dasar, 2021).

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian beton normal dengan 3 variasi fas maka didapat hasil uji karakteristik material pasir Mapilli dan kerikil Mapilli memenuhi standar untuk digunakan sebagai bahan bangunan untuk pencampuran beton dan FAS 40 dan 50 dengan material pasir Mapilli dan kerikil Mapilli memiliki kuat tekan yang dapat mencapai umur tekan rencana yaitu K300. (Patah dan Dasar, 2021).

Alternatif limbah industri yang dapat digunakan adalah limbah *palm oil fuel ash* (POFA). POFA merupakan hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang kaya akan silika, sehingga memiliki potensi sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton, dengan mengolah POFA menjadi *ultrafine*, karakteristik fisik dan kimianya dapat ditingkatkan, sehingga memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanik beton.

Adapun limbah yang biasa digunakan dan sudah diteliti sebelumnya yaitu abu sekam padi (Patah dan Dasar, 2022), abu sekam padi (Patah dan Dasar, 2021), *fly ash* (Patah dkk, 2020), batu gamping (Patah dkk, 2022), abu cangkang sawit, abu sekam padi, dan abu serat sago (Ridhayani dkk, 2023), *fly ash* (Patah dkk, 2023), cangkang kelapa sawit (Patah dkk, 2024), abu cangkang sawit (Dasar dan Patah, 2024), *fly ash* (Dahlia Patah dkk, 2021), abu cangkang sawit (Dasar dkk, 2024), dan menunjukkan peningkatan kualitas beton dari segi kekuatan dan durabilitas. Penentuan penambahan bahan tambah pada

semen, harus sesuai dengan karakteristik semen, sehingga perlu dilakukan proses perubahan partikel menjadi lebih halus atau disebut *ultrafine* yang lolos saringan No.300, ukuran ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanik beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan beton yang menggunakan *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) sebagai bahan tambahan, penulis mengambil judul “**EVALUASI KEKUATAN BETON RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN ULTRAFINE PALM OIL FUEL ASH (UPOFA)**” diharapkan, penggunaan UPOFA tidak hanya dapat mengurangi penggunaan semen, tetapi juga meningkatkan performa beton secara keseluruhan. Implementasi material ini sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan, yang mencakup pengurangan limbah dan penggunaan sumber daya secara efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti mengangkat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap sifat mekanika beton, terutama nilai uji kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) beton?
3. Bagaimana pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap *electrical resistivity* beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap sifat mekanika beton, terutama kekuatan tekan?
2. Untuk mengetahui pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) beton?
3. Untuk mengetahui pengaruh *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) yang digunakan sebagai pengganti semen 10%, 20% dan 30% terhadap *electrical resistivity* beton?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Semen yang digunakan adalah semen Portland Composit (PCC).
2. Bahan tambah yang digunakan adalah *ultrafine palm oil fuel ash* (UPOFA) lolos saringan No.300, persentase penambahan 10%, 20% dan 30% yang diambil dari PT. Surya Lestari II di Kec. Budhongbudhong Kab. Mamuju Tengah Prov. Sulawesi Barat.
3. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Mapilli Kec. Mapilli, Kab. Polewali Mandar.
4. Agregat yang digunakan dicuci terlebih dahulu untuk memastikan kadar lumpur dalam agregat tidak tinggi.
5. Pencampuran menggunakan air tawar dari sumur bor Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat.
6. Faktor air semen yang digunakan 50%.
7. Benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder berukuran 10 cm x 20 cm, dan kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.
8. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari.
9. Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) dilakukan pada umur 28 hari.
10. Pengujian *electrical resistivity* dilakukan pada umur 28 dan 56 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah memberikan masukan pengaruh penggunaan *ultrafine palm oil fuel ash* terhadap kuat tekan, *ultrasonic pulse velocity test*, dan *electrical resistivity* pada beton dengan pencampuran pasir sungai dengan air tawar.
2. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya khususnya di bidang ketekniksipilan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

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

BAB III Metode Penelitian

Bab ini memuat bagan alur penelitian, tahap – tahap yang dilakukan selama penelitian yang meliputi tempat dan waktu penelitian, material penelitian, alat penelitian, prosedur kerja, metode percobaan dan metode pengambilan data.

BAB IV Hasil dan Penelitian

Bab ini menguraikan hasil yang diperoleh dari penelitian.

BAB V Penutup

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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

1. (Mardiah dan Setiawan 2020), Judul penelitian Analisis Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Shell) Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian kuat tekan beton normal dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit dengan variasi penambahan sebesar 0%, 1,5%, 3% dan 7% yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa hasil pengujian kuat tekan beton normal dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit mempunyai pengaruh yang baik bagi nilai kuat tekan beton normal dengan kadar penambahan abu cangkang kelapa sawit yang tidak banyak, ini dibuktikan dengan hasil penelitian terhadap kuat tekan beton normal dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit sebesar 1,5% memiliki nilai kuat tekan sebesar 161 kg/cm² pada umur 28 hari, sedangkan penambahan abu cangkang kelapa sawit sebesar 3% dan 7% memiliki nilai kuat tekan dibawah penambahan variasi abu cangkang kelapa sawit sebesar 1,5%.
2. (Lerry dkk, 2012), Judul penelitian perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen. Berdasarkan penelitian dan pembahasan mengenai penggantian sebagian berat semen dengan abu cangkang kelapa sawit (Elaeis

Guineensis) pada adukan beton dapat ditarik kesimpulan bahwa, kuat tekan beton menurun seiring meningkatnya persen abu cangkang kelapa sawit yang digunakan. Penurunan terbesar kuat tekan beton dengan pasir gunung terjadi pada beton yang menggunakan 20% abu cangkang sawit yaitu sebesar 21,78 MPa atau 40% dari kuat tekan beton normal. Peneliti memberikan rekomendasi penelitian lebih lanjut dengan memberikan perlakuan dioven terhadap abu cangkang kelapa sawit dan menggunakan abu yang 75% lolos saringan 100 sesuai dengan syarat semen SK-SNI-S-04-1989-F.

3. (Wulandari dan Frieda 2022), Judul penelitian Pengaruh Variasi dan Kadar Semen Pada Kuat Tekan Mortar dan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai Kahayan di Kota Palangkaraya. Berdasarkan hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu FAS (faktor air semen) memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada kuat tekan mortar dan beton. Nilai FAS maksimum yang dianjurkan adalah 0,5 dan batas terendahnya dimana terjadi kesulitan pengerjaan (*workability* rendah) pada nilai FAS rata-rata 0,4. Pengaruh perubahan FAS memiliki sumbangan yang lebih besar pada peningkatan kuat tekan. Setiap selisih kenaikan FAS 0,1 terjadi sumbangan kekuatan rata-rata sebesar 2,048 MPa pada mortar dan 5,051 MPa pada beton. Hubungan yang diperoleh antara kuat tekan mortar dan kuat tekan beton menghasilkan nilai korelasi yang tinggi dan bernilai positif yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kuat tekan mortar maka semakin tinggi kuat tekan beton. Selain itu diketahui bahwa kekuatan beton bisa dinyatakan oleh kekuatan mortar karena kuatnya nilai koefisien determinasi yang diperoleh.
4. (Hashim, S, 2014), Judul penelitian Pengaruh Uti (UPOFA) Terhadap Mortar Mekanika. Berdasarkan Penelitian dan pembahasan bahwa penggunaan bahan limbah tersebut menghasilkan efek positif pada sifat mortar semen Portland dan beton. Untuk meningkatkan sifat-

sifatnya, POFA digiling hingga ukuran partikel rata-rata berkurang menjadi 5,91 pm. Kemudian digunakan untuk menggantikan semen Portland biasa (OPC) dengan bobot 0%, 10%, 20% dan 30% untuk memperbaiki sifat mekanik dan mikrostruktur zona antarmuka mortar. 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. Penggantian semen sebesar 20% dari POFA *ultrafine* memberikan kuat tekan tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa POFA dengan kehalusan tinggi cocok untuk digunakan sebagai pengganti semen dalam meningkatkan sifat mekanik dan mikrostruktur mortar.

5. (Sonny Wedhanto, 2015), Judul penelitian Penggunaan Metode *Ultrasonic Pulse Velocity Test* untuk memperkirakan kekuatan dan keseragaman mutu beton K200 Secara Non Desrtruktif. Berdasarkan Penelitian dan pembahasan dijelaskan Tes UPV adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton yang didasarkan pada hubungan cepat rambat gelombang melalui media beton dengan kekuatan tekan beton itu (*International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002*). Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal yang melalui media beton. Tes UPV dapat dilakukan dalam tiga cara yaitu; (1) langsung, (2) semi langsung, (3) tidak langsung. Cara kerja alat UPV, dengan memberi getaran gelombang longitudinal lewat transduser elektro akustik, melalui cairan perangkai sejenis pasta, yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Gelombang geser merambat tegak lurus lintasa, dan gelombang longitudinal merambat sejajar lintasan. Pertama kali yang mencapai transduser penerima adalah gelombang longitudinal. Oleh transduser gelombang ini diubah menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat dideteksi oleh transduser penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur.

2.2 Beton

2.2.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 03-2847-2002, defenisi beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk padat.

Beton terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Biasanya pasir dari batu alam atau batu pecah industry digunakan sebagai agregat halus, sedangkan agregat kasar yang digunakan biasanya batu dari batu alam atau batu pecah industri. (Pamungkas, 2012). Campuran ini membentuk massa yang mirip dengan batuan. Satu atau lebih bahan tambahan dapat di tambahkan untuk membuat beton dengan sifat tertentu. Hal ini memfasilitasi kemampuan proses (kemampuan kerja), daya tahan, dan waktu pengawetan. Sederhananya, beton dibuat dengan cara mengawetkan campuran semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil pecah). Beton adalah jenis konstruksi yang banyak digunakan. Material yang mudah digunakan menjadi salah satu faktor penting dalam memilih struktur beton.

2.2.2 Jenis Jenis Beton

Ada beberapa jenis-jenis beton (Bahar dkk, 2004) yaitu sebagai berikut :

1. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
2. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tanpa perekat dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
3. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.

4. Beton pratekan adalah beton dimana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat pemberian beban yang bekerja.

2.2.3 Kelebihan Dan Kekurangan Beton

Secara umum, beton memiliki kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut :

1. Kelebihan Beton (SNI-03-2847-2002)
 - a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
 - b. Mampu memikul beban yang berat
 - c. Tahan terhadap temperature yang tinggi
 - d. Biaya pemeliharaan yang kecil
2. Kekurangan Beton (SNI-03-2847-2002)
 - a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
 - b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
 - c. Berat

2.2.4 Sifat-sifat dan Karakteristik Beton

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

1. Kekuatan Tekan
 - a. Sifat :Walaupun beton mampu menahan gaya beban dengan baik, namun kekuatannya cukup rendah saat menerima gaya tarik.
 - 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/m³.
 - 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 CO₂ 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 adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang tersendiri 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 2094:2015). Perlu diketahui tipe semen yang digunakan karena jenis atau tipe semen yang akan digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, jadi sangat perlu diketahui tipe semen yang distandarisi di Indonesia. Semen Portland dibedakan menjadi lima jenis, yaitu sebagai berikut :

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.

2.3.2 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 bergradasi 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 Sungai)

Agregat halus (Pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton yang memiliki ukuran butir kurang dari 5 mm atau lolos saringan No.30 dan tertahan pada saringan No.40. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). 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 sering digunakan dalam berbagai konstruksi, seperti campuran beton, plester, dan juga sebagai bahan bangunan lainnya karena teksturnya yang halus dan kualitasnya

yang baik. 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:

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.
- d. Kekuatan dan Kepadatan: Pasir sungai yang digunakan harus cukup kuat dan memiliki kerapatan yang baik untuk mendukung beban struktural beton.
- e. 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.

Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah :

- a. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikro (ayakan No.200), tidak boleh melebihi 5% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci.
- b. Kadar lumpur tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering).
- c. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang jika diuji di Laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams Harder dengan batas standarnya pada acuan No.3.
- d. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, jika boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
- e. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
 - Jika dipakai Natrium- Sulfat, bagian yang akan hancur maksimum 10%
 - Jika dipakai Magnesium-Sulfat, bagian yang akan hancur maksimum 15%

Tabel 2.1 Gradasi Ideal Agregat Halus

Diameter saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5	100	100
4,75	95-100	97,5
2,36	80-100	90
1,18	50-85	67,5
600 μ	25-60	42,5
300 μ	5-30	17,5
150 μ	0-10	5

Sumber : ASTM C33/3

Pengujian karakteristik agregat ini mengacu pada SNI, adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan adalah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Jenis Pemeriksaan Agregat Halus

No	Karakteristik Agregat	Interval Nilai	Standar
1	Kadar Lumpur	0,2% - 1%	SNI S-04-1989-F SNI 03-2816-1992
2	Kadar Air	0,5% - 2%	SNI 03-1971-1990
3	Berat volume		
	a.Kondisi lepas	1,6 – 1,9 kg/L	SNI 03-1971-1990
	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)

2.3.3 Air Tawar

Air tawar adalah air yang memiliki kandungan garam sangat rendah (biasanya kurang dari 1%) dan umumnya ditemukan di danau, sungai, mata air, serta sumber alami lainnya yang tidak berhubungan langsung dengan laut. Air tawar sangat penting bagi kehidupan di darat, karena digunakan sebagai sumber air minum, irigasi, dan menjadi habitat bagi berbagai macam flora dan fauna.

Kaitan air tawar dengan beton terutama terlihat pada pembangunan struktur yang berinteraksi dengan air, seperti bendungan, waduk, kolam, dan jembatan. Beton sering dipilih untuk konstruksi ini karena kekuatannya, daya tahan, serta kemampuannya bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan.

Meski begitu, air tawar dapat berdampak pada beton, terutama melalui proses pelapukan atau korosi, terutama jika air tersebut mengandung mineral atau zat lain yang dapat bereaksi dengan komponen beton, seperti kalsium hidroksida. Kandungan bahan kimia

atau senyawa organik dalam air tawar juga dapat mempercepat kerusakan beton, contohnya dengan mempercepat karat pada tulangan besi di dalam beton bertulang.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan bahan aditif dalam campuran beton atau pelapisan pelindung yang mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi air dan reaksi kimia yang merusak.

2.3.4 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.

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/cm², yang mengindikasikan kekuatan tekan beton setelah 28 hari pengerasan (curing). Untuk mutu beton fc beton ke K dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Konersi dari Mutu Beton Fc ke K

MutubetonK(kg/cm ²)	MutubetonfcMpa(N/mm ²)
K-100	Fc8,3
K-150	Fc12,35
K-175	Fc14,53
K-200	Fc16,60
K-225	Fc18,68
K-250	Fc20,75
K-275	Fc22,83
K-300	Fc24,90
K-350	Fc29,05
K-400	Fc33,20
K-450	Fc37,35
K-500	Fc41,50

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 (Angga Josua Sumajouw, 2018), 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.

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material menahan beban atau gaya mekanis sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya kegagalan.

Persamaan Kuat Tekan : (E.P.Popov, 1995)

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

Dimana :

σ : Tekanan (MPa)

P : Beban Maksimum (N)

A : LuasBidang Permukaan (mm²)

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

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 pelataran parkir
C	15	12,5	Digunakan untuk pejalan kaki
D	10	8,5	Digunakan untuk taman dan penggunaan lain

Sumber : SNI-03-0691-1996

Kuat tekan beton secara umum relatife lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, olehkarena itu untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja dan tidak meninjau kuat tarik (Tjokrodimuljo, 2007).



Gambar 2.1 Uji Kuat Tekan Kubus (*Sumber : Dokumentasi Pengujian di Laboratorium*)

2.5.2 Pengujian *Ultra Pulse Velocity Test* (UPVT)

1. Pengertian *Ultra Pulse Velocity* (UPVT)

Pengujian *ultra pulse velocity* (UPVT) adalah metode non-destruktif yang digunakan untuk mengukur kecepatan gelombang ultrasonic yang merambat melalui material, termasuk beton. Pengujian ini berguna untuk menilai kualitas dan integritas struktur beton tanpa merusaknya. Dalam pengujian ini sampel yang telah dibuat di uji pada saat berumur 28 hari pengujian

dilakukan di Laboratorium Universitas Hasanuddin Makassar dengan jumlah sampel 20 variasi silinder sesuai ketentuan, dan untuk standar yang digunakan adalah SNI 1974 : Standar untuk pengujian kekuatan tekan beton dan ASTM : Metode pengujian kekuatan tekan silinder beton.



Gambar 2.2 Uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (Sumber : Dokumentasi Pengujian di Laboratorium)

Berdasarkan pengujian *ultra pulse velocity* (UPVT) yang digunakan dalam mengukur kecepatan gelombang ultrasonic, adapun rumus yang digunakan yaitu :

$$V = L/T \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Pulse Velocity} = \frac{\text{Length Between Transducer}}{\text{Transit Time}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Tabel 2.5 Ketentuan *Ultrasonic Pulse Velocity Test*

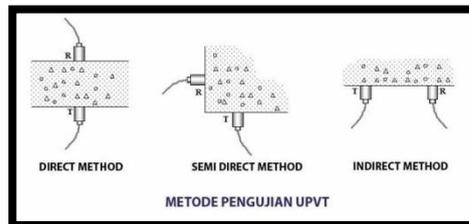
Pulse Velocity(km/s)	Concrete Quality(ratings)
≥ 4,5	Excellent (E)
3,5 – 4,5	Good (G)
3,0 – 3,5	Medium (M)
2,0 – 3,0	Doubtful (D)
≤ 2,0	Very Weak (VW)

Sumber : ASTM C597

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.

Seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Metode Pengujian UPVT (*Sumber : PT Hesa Lasar Cemerlang*)

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

Adapun tujuan *ultrasonic pulse velocity test* (UPVT) yaitu :

- a. Menilai kualitas beton dimana dapat mengidentifikasi keberadaan retakan, porositas, dan cacat lainnya dalam beton.
- b. Mengukur kekuatan dan memprediksi kekuatan tekan beton berdasarkan kecepatan gelombang ultrasonik.
- c. Memonitor kerusakan serta memantau kondisi struktur seiring waktu untuk mendeteksi perubahan.

3. Kelebihan dan Kekurangan UPVT

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari pengujian UPV test 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) 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.

4. Prosedur Pengujian

- a. Pengambilan sampel, ambil silinder beton yang sudah dicetak dan dirawat dengan baik yang berumur 28 hari serta jumlah yang telah ditentukan.
- b. Pemeriksaan dimensi pada setiap sampel diukur diameter dan tinggi silinder.
- c. Persiapan mesin uji, pastikan mesin uji dalam kondisi baik dan kalibrasi tepat.
- d. Pengujian, tempatkan silinder pada mesin uji dan tekan

hingga patah. Catat nilai maksimum kekuatan yang dicapai.

- e. Analisis hasil, hitung kekuatan tekan berdasarkan luas penampang dan nilai maksimum yang diperoleh.

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. Biasanya, mortar resistivitas beton rendah dikhususkan untuk perbaikan beton yang digunakan bersama dengan sistem proteksi elektrokimia seperti katodik arus terkesan, sistem korosi galvanik, ekstraksi klorida dan realkalisasi.

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.

Tabel 2.6 Ketentuan Pengujian *Electrical Resistivity*

Concrete Resistivity ($\Omega.m$)	Corrosion Risk
< 50	Very high
50 – 100	High
100 – 200	Low
> 200	Despicable

Sumber : ASTM B193-19

Nilai *electrical resistivity* didapat dengan menggunakan persamaan

$$\rho = \frac{R.A}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas bahan (Ωm)

R = Resistansi (Ω)

A = Luas Penampang (m^2)

L = Panjang (m)



Gambar 2.4 Uji *Electrical Resistivity* Silinder

2.6 Standar Deviasi

Standar deviasi atau simpangan baku adalah ukuran statistik tentang seberapa tersebar atau menyimpangnya kumpulan data dari nilai rata-ratanya. Nilai deviasi standar yang kecil berarti data terkonsentrasi di sekitar nilai rata-rata. Sebaliknya, nilai deviasi standar yang lebih besar berarti data semakin jauh dari rata-rata. Standar 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 nilai rata-rata dan untuk menilai konsistensi data dalam satu set data. Ini digunakan dalam berbagai bidang termasuk analisis risiko dan kontrol kualitas.

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

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64 S \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

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

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

S = standar deviasi

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Irma Aswani dan Pertiwi, Nurlita dan Taufieq, Nur Anny S. 2017 “Beton Ramah Lingkungan”
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C150, TypesOf Portland Cement, ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C-188, Standard specification for Concrete Agregates, 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.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. SNI 2847:2013, Defenisi Beton. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi BS 1881-203:American Society for Testing and Materials [ASTM], C597, Testing Standard Ultra Pulse Velocity Test (UPVT), ASTM.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. SNI 03-2847-2002, Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2015. SNI 15-2049:2015, Semen Portland. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990.SNI 03-1969-1990, Berat Jenis dan Penyerapan (absorpsi) Guna Menentukan Volume Agregat Harus dalam Kondisi SSD. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002.SNI-02-2847-2002, Tabel Konversi Mutu Beton K ke Fc’ Mpa. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1991. SK SNI T - 15-1991-03, Penentuan Ukuran Butiran Agregat Halus. 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.
- Badan Standarisasi Nasional, 1996. SNI-03-0691-1996, Tabel Sifat-Sifat Fisika Beton. Jakarta, BSN.
- Bahar, 2004. “*jenis-jenis beton*”. https://www.google.com/search?q=menurut+bahar+dkk+jenis+beton+adalah&_esv. Diakses pada tanggal 3 September 2024.
- Dasar Amry, dan Patah Dahlia. 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, dan 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, Amry, Dahlia Patah, Sainuddin, dan Muhammad Akbar Caronge. 2024. “Corrosion Resistance of Reinforcing Steel in Concrete Using Palm Oil Fuel Ash (POFA) and Sea Water.” *Media Komunikasi Teknik Sipil* 29(2): 243–52.

- E.P.Popov, (1995). Hasil Uji Tekan Batu Bata. Jakarta : Erlangga
- Gunawan Muhammad Rizky, Nasfryzal Carlo, dan Khadavi. 2021. “Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dan Zat Aditif (Sikament Ln) Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi.”
- Google.com - PT Hesa Laras Cemerlang, Gambar Metode Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT), diakses 8 September 2024.
- HASHIM, S.S. B. S. (2014). PENGARUH ULTI (UPOFA) TERHADAP MORTAR MEKANIKA (Doctoral dissertation, UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG).
- Lerry, Martin, Elhusna Elhusna, dan Yuzuar Afrizal. 2012. “Perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen.”
- Mardiah, Ainul, dan Beny Setiawan. 2020. “SAWIT (PALM KERNEL SHELL) TERHADAP KUAT TEKAN BETON.” : 8–17.
- Patah, D., H. Hamada, dan Dasar, A. 2020. “Effects of Mineral Admixtures on Pore Structure and Compressive Strength of Mortar Contaminated Chloride.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 875(1).
- Patah, Dahlia dkk. 2024. “Kekuatan Dan Durabilitas Oil Palm Shell (OPS) Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Bertulang.” 2(APRIL).
- Patah, D, dan Dasar, A. 2021. “Pasir Dan Kerikil Sungai Mappili Sebagai Material Lokal Untuk Campuran Beton Di Sulawesi Barat.” *Bandar: Journal of Civil Engineering* 3(2): 9–14.
- Patah, D., dan Dasar, A. 2022. “Strength Performance of Concrete Using Rice Husk Ash (RHA) as Supplementary Cementitious Material (SCM).” *Journal of the Civil Engineering Forum* 8(September): 261–76.
- Patah, Dahlia, Amry Dasar, Hidenori Hamada, dan Pinta Astuti. 2021. “Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride Contaminated Mortar.” *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020)* 199(ICoSITEA 2020): 60–63.
- Patah, D, Dasar, A dan Amalia Nurdin. 2022. “Durabilitas Baja Tulangan Pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping, Pasir Laut Dan Air Laut Dalam Campuran Beton.” *Media Komunikasi Teknik Sipil* 28(1): 109–17.

- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. 2023. "Nilai Ambang Klorida Untuk Inisiasi Korosi Pada Beton Bertulang Menggunakan Abu Terbang." 5(2): 29–38.
- Pamungkas, 2012. "industry pemecah baru" https://www.google.com/search?q=menurut+pamungkas+2012+pengertian+beton+ada_id. Diakses pada tanggal 14 Oktober pukul 18.00 WITA.
- 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), 387-401.
- Sumajouw, A. J., Pandaleke, R. E., & Wallah, S. E. (2018). Perbandingan Kuat Tekan Menggunakan Hammer Test Pada Benda Uji Portal Beton Bertulang dan Menggunakan Mesin Uji Kuat Tekan Pada Benda Uji Kubus. *Jurnal Sipil Statik*, 6(11).
- Taufiq Muzakkir, Andi, Sujiati Jepriani, dan Joko Suryono. 2021. "SNITT-Politeknik Negeri Balikpapan 2021 P-10 PEMANFAATAN ABU CANGKANG SAWIT (PALM OIL KERNEL SHELL ASH) SEBAGAI BAHAN SUBTITUSI SEMEN PADA PERVIOUS CONCRETE UTILIZATION OF PALM OIL KERNEL SHELL ASH AS CEMENT SUBTITUTIONS MATERIAL IN PERVIOUS CONCRETE." 3: 65–72.
- Wulandari, Annisa, dan Frieda Frieda. 2022. "Pengaruh Variasi Fas Dan Kadar Semen Pada Kuat Tekan Mortar Dan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai Kahayan Di Kota Palangka Raya." *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 4(2): 80.
- Wedhanto, S. (2015). Penggunaan Metode *Ultrasonic Pulse Velocity Test* Untuk Memperkirakan Kekuatan dan Keseragaman Mutu Beton K 200 Secara Non Destruktif. *Jurnal Bangunan*, 20(1).