

SKRIPSI

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL *PALM OIL FUEL ASH* TERHADAP
KEKUATAN BETON**



Disusun Oleh :

Rahmiani. R

D01 21 025

**JURUSAN TEKNIK SPIL
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

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL *PALM OIL FUEL ASH* TERHADAP
KEKUATAN BETON**

TUGAS AKHIR

Oleh

RAHMIANI.R

NIM: D0121025

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, MT
NIP. 19640405 199003 2 002

ABSTRAK

PENGARUH UKURAN PARTIKEL *PALM OIL FUEL ASH* TERHADAP KEKUATAN BETON

RAHMIANI.R

Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Sulawesi Barat (2025)

rahmiani7777@gmail.com

Beton adalah material yang sering digunakan dalam konstruksi karena mudah dibuat dan lebih murah daripada bahan lain. Menggunakan abu cangkang sawit sebagai pengganti untuk semen bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan, baik dari pembuangan abu sawit sendiri maupun dampak buruk dari penggunaan semen dalam konstruksi. Selain itu, ada banyak manfaat dari menggunakan beton sebagai pengganti batu bara.

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh ukuran partikel Palm Oil Fuel Ash (POFA) terhadap kekuatan beton. Tiga jenis campuran beton digunakan: beton normal (N1), beton dengan Ground Palm Oil Fuel Ash (GPOFA) 20% (G1), dan beton dengan Ultrafine Palm Oil Fuel Ash (UPOFA) 20% (U1-B). Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 28, dan 56 hari, meliputi uji kuat tekan, Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT), dan uji resistivitas listrik. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan UPOFA meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal dan GPOFA. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton U1-B mencapai 30,15 MPa, lebih tinggi dari N1 (29,19 MPa) dan G1 (17,99 MPa). Pengujian UPVT menunjukkan korelasi positif antara kecepatan gelombang ultrasonik dan kuat tekan beton. Uji resistivitas listrik mengungkapkan bahwa beton dengan UPOFA memiliki ketahanan korosi yang lebih baik. Beton U1-B menunjukkan resistivitas 179,91 k Ω .cm, lebih tinggi dari G1 (85,76 k Ω .cm) namun lebih rendah dari N1 (201,32 k Ω .cm). Penelitian ini menyimpulkan bahwa ukuran partikel POFA yang lebih kecil (UPOFA) memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanik dan elektrik beton. Penggunaan UPOFA dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton, memberikan potensi aplikasi dalam industri konstruksi untuk menghasilkan beton berkinerja tinggi dan ramah lingkungan.

Kata Kunci : Beton, POFA, Kuat Tekan, *Electrical*, UPVT

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah komponen struktural yang terdiri dari partikel agregat yang ditahan oleh campuran semen portland dan air. Pasta ini mengisi rongga antara partikel agregat dan rongga antara partikel agregat dan setelah beton segar ditempatkan, beton tersebut mengeras karena reaksi kimia eksotermik antara semen dan air untuk membentuk bahan struktural yang dapat dan tahan lama (Saifuddin dkk.,2014). Keunggulan beton adalah mampu menahan beban tekan dengan sangat baik namun sangat lemah terhadap beban tarik karena mempunyai sifat yang sangat getas.

Penggunaan material ramah lingkungan dalam industri konstruksi menjadi semakin penting dan kesadaran akan pentingnya pembangunan berkelanjutan semakin meningkat. Pendekatan yang banyak dipelajari adalah dengan menggunakan limbah industri sebagai alternatif bahan konstruksi. Alternatif ini bahan tambah telah diteliti oleh (Patah, D., dkk.2024) menggunakan *Oil Palm Shell* (OPS) yang terbukti dalam kekuatan dan durabilitas sebagai alternatif pengganti agregat kasar pada kekuatan beton bertulang. Salah satu limbah juga yang kemungkinan besar dapat dimanfaatkan dalam konstruksi adalah abu cangkang sawit (POFA). Abu cangkang sawit (POFA) adalah abu sisa pembakaran cangkang kelapa sawit. Abu cangkang sawit (POFA) yang merupakan produk limbah dari pembakaran serat dan kulit kelapa sawit di pabrik kelapa sawit.

Limbah ini sering dianggap sebagai masalah lingkungan karena jumlahnya yang sangat banyak sehingga seringkali dibuang begitu saja ke tempatpembuangan sampah tanpa dimanfaatkan secara optimal. Di sisi lain, penelitian menunjukkan bahwa POFA memiliki kandungan silika yang tinggi dan dapat bertindak sebagai pengganti sebagian semen dalam produksi beton. Namun ukuran POFA yang belum mengikuti kriteria dari semen perlu

dilakukan proses penggilingan, dimana proses penggilingan ini akan menjadi faktor penting dalam distribusipartikel pada campuran beton, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan pada beton. Meskipun beberapa penelitian telah membahas penggunaan POFA pada beton, studi rinci mengenai pengaruh perubahan ukuran partikel POFA terhadap kekuatan beton masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ukuran partikel POFA terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material beton yang lebih ramah lingkungan dan efisien serta memberikan solusi pemanfaatan limbah POFA secara optimal pada industri konstruksi. Pemanfaatan POFA sebagai bahan pengganti sebagian semen tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga berpotensi menghasilkan beton dengan kinerja yang lebih baik.

Pada penelitian ini juga menggunakan air tawar pasir sungai Mapilli sebagai bahan pencampur pada beton. Hal ini, telah diuji peneliti terdahulu Dasar, A., & Patah, D. (2021). Pasir dan Kerikil Sungai Mappili sebagai material Lokal untuk Campuran Beton di Sulawesi Barat. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa materil kerikil dan pasir Mapili layak untuk digunakan untuk campuran beton, bahwa penggunaan pasir sungai Mapili terbukti untuk meningkatkan kekuatan dari beton.

Dasar dari pemikiran diatas kemudian dilakukan penelitian dengan uji eksperimental, untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel *palm oil fuel ash* terhadap kekuatan beton dengan nilai kuat tekan, electrical, dan upvt dengan umur perawatan beton selama 28 hari dan 56 hari. Maka dari itu penulis mengangkat sebuah judul tugas akhir yaitu :

“ PENGARUH UKURAN PARTIKEL *PALM OIL FUEL ASH* TERHADAP KEKUATAN BETON”

1.2 Rumusan Masalah

Yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh variasi ukuran partikel terhadap penambahan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) pada nilai uji kuat tekan beton?
2. Bagaimana variasi ukuran partikel POFA mempengaruhi nilai resistivitas listrik pada beton (electrical)?
3. Bagaimana hubungan antara partikel POFA dan hasil uji kecepatan gelombang ultrasonik (UPVT) terhadap beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka diperoleh tujuan penelitian berikut

1. Untuk mengetahui bagaimana variasi ukuran partikel *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) mempengaruhi nilai uji kuat tekan beton
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran partikel POFA terhadap sifat listrik beton, termasuk resistivitas dan konduktivitas listrik, yang berkaitan dengan durabilitas beton
3. Untuk mengukur hubungan antar ukuran partikel POFA dan hasil uji kecepatan gelombang ultrasonik (UPVT) terhadap kualitas beton

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium terpadu Universitas Sulawesi Barat
2. Material agregat kasar (kerikil) ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm yang digunakan berasal dari cv. Anato Grup yang berada di kecamatan Duampanua, kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan
3. Material agregat halus (pasir pantai) yang digunakan berasal dari kecamatan Pamboang, kabupaten Majene sedangkan pasir sungai berasal dari kecamatan Mapilli, kabupaten Polewali Mandar, Sulawesi Barat dengan ukuran butir yang lolos saringan no. 4 (6,35mm)
4. Semen yang digunakan adalah semen Portland komposit (PPC) tipe 1

5. Pada penelitian menggunakan air laut yang diambil di pesisir pantai berasal dari lingkungan Pangaliali, kecamatan Banggae kabupaten majene, Sulawesi Barat sebagai material pencampuran beton dan menggunakan air tawar dari sumur bor laboratorium terpadu universitas sulawesi barat yang digunakan untuk perawatan (*curing*) benda uji
6. Benda uji silinder dengan diameter 100 mm tinggi 200 mm untuk benda uji electrical, UPVT (*Direct Method*)
7. Benda uji kubus dengan ukuran lebar 50 mm tinggi 50 mm dan panjang 50 mm sebanyak 3 buah untuk pengujian kuat tekan dan electrical
8. Pengujian uji kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28 dan 56 hari. Berdasarkan SNI 1974-2011 dan SNI 03-1974-1990
9. Pengujian electrical dilakukan pada umur 28 dan 56 hari. Berdasarkan ASTM C(1876 – 19)
10. Pengujian UPVT dilakukan pada umur beton 28 hrari berdasarkan SNI C 597-2012
11. Mutu beton yang direncanakan ialah K300 (24,9 Mpa)
12. Faktor air semen yang digunakan ialah 50%
13. Ukuran partikel GPOFA lolos saringan nomor 50 berkisar 0,300 mm
14. Ukuran partikel UPOFA lolos saringan nomor 200 berkisar 0,075 mm

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) terhadap beton secara kuat tekan beton
2. Dapat mengetahui variasi ukuran partikel POFA mempengaruhi resistivitas listrik beton
3. Dapat mengetahui hubungan antara partikel POFA dan hasil uji kecepatan gelombang ultrasonik (UPVT)
4. Dapat mengetahui hubungan antara hasil uji kuat tekan, uji electrical, dan UPVT dalam mengidentifikasi pengaruh ukuran partikel POFA pada performa beton secara keseluruhan
5. Dapat menjadi bahan referensi bagi penelitian selanjutnya khususnya dibidang ketekniksipilan

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi lima bab yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab diatas :

BAB I : Latar Belakang

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

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan tentang tinjauan secara umum mengenai karakteristik beton dan material penyusun beton serta menjelaskan tentang pengaruh ukuran partikel *palm Oil Fuel Ash*, kuat tekan, uji *electrical*, serta metode pengujian UPVT.

BAB III : Metode Penelitian

Bab ini memuat bagan alir penelitian, tahap-tahap yang dilakukan selama penelitian meliputi tempat dan waktu penelitian, material penelitian, alat penelitian, prosedur kerja, metode percobaan, metode pengumpulan data, serta diagram aliran penelitian.

BAB IV : Hasil Dan Pembahasan

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil-hasil pengujian kuat tekan beton, *electrical* dan uji UPVT dengan menggunakan *Palm Oil Fuel Ash* dengan pencampuran pasir sungai dan air tawar, pasir laut dan air tawar, serta pasir laut dan air laut

BAB V : Penutup

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai Analisi saat penelitian dan disertai dengan saran-saran yang diusulkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulisan dalam proses melakukan penelitian sehingga penulisan dapat memperkaya landasan teori yang digunakan dalam merangkum penelitian yang telah dilakukan. Penulis mengutip sejumlah karya penelitian sebagai referensi dan memperkaya bahan penelitian dalam penelitian penulis. Selain itu, seseorang harus menghindari asumsi kesamaan dengan penelitian ini. Oleh karena itu, dalam tinjauan pustaka ini peneliti memuat temuan-temuan peneliti sebelumnya sebagai berikut:

1. “Perilaku Kuat Tekan Beton dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen”(Martin Lerry dkk,2012). Penelitian dan pembahasan mengenai penggantian sebagian berat semen dengan abu cangkang kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*) pada adukan beton memberikan sejumlah kesimpulan sebagai berikut. 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. Penurunan terbesar pada beton dengan pasir laut juga terjadi pada penggunaan 20% abu cangkang kelapa sawit, yaitu sebesar 16,06 MPa atau 45,19% dari 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.

2. “Pemanfaatan Limbah kelapa sawit Sebagai Material Tambahan Beton”(Gusni Vitri & Hazmal Herman., 2019). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa karakteristik

untuk agregat halus dan agregat kasar dapat digunakan karena memenuhi standar SNI. Begitupun dengan limbah kelapa sawit, didapatkan bahwa untuk analisa saringan, berat jenis, penyerapan telah memenuhi standar SNI sehingga dapat digunakan sebagai pengganti agregat dengan jumlah tidak lebih dari 10% untuk abu *boiler* kelapa sawit dan tidak lebih dari 30% untuk cangkang kelapa sawit. Hasil Kuat Tekan Beton rata-rata pada hari ke-7 dan hari ke-28 didapatkan sebesar 21 Mpa, belum memenuhi estimasi awal kuat tekan yang diinginkan sebesar 25Mpa.

3. “Pengaruh Butiran Abu Cangkang Sawit pada *Paving Block*”(Ade Sonia., 2024). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa penggunaan limbah abu cangkang sawit dengan persentase 20% yang lolos saringan No. 40, No. 50, No. 100. Menggunakan pencampuran air laut. Pengujian kuat paving block dilakukan pada umur 28 hari dan 91 hari. Pengujian daya serap dan porositas dilakukann di umur 28 hari dan 91 hari dan pengujian kuat tekan menggunakan larutan H₂SO₄ diumur 28 hari dan 91 hari. Kuat tekan pengaruh dari pencampuran air laut dengan persentase bahan tambahan abu cangkang sawit dengan persentase 20 % sangat mempengaruhi kuat tekan paving block. Dimana pada pencampuran air laut lebih kuat di bandingkan dengan pencampuran air tawar.
4. “Efek Abu Cangkang Sawit dan Pasir Pantai Pada Pembuatan Beton” (Rikky Alexander., 2024). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Penggunaan Variasi pengganti Abu Cangkang Sawit sebesar 0%,10%,20% dan 30% dimana untuk masing-masing Variasi campuran masi tidak memenuhi Mutu beton yang direncanakan, sehingga penggunaan ini layak diaplikasikan pada pembangunan skala kecil (Pagar,Lantai dan Bangunan satu lantai). Adapun proporsi terbaik dari semua variasi penambahan abu cangkang sawit sebanyak 20% (ACS20%-SS-TW), yang dimana mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 15,81 Mpa pada umur 28 hari dan 18,16 Mpa pada umur 91 hari. Yang dimana memiliki nilai daya serap air sebesar 11,10% pada umur 28 hari dan 6,73% pada umur 91 hari dan memiliki nilai

porositas sebesar 19,42% pada umur 28 hari dan 14,92% pada umur 91 hari. Dimana Potensi korosi beton dibuat yang menggunakan 0%, 10%, 20% dan 30% Penggantian Agregat halus oleh pasir pantai masuk dalam kategori rendah korosi (10% resiko korosi), berdasarkan pengujian Half-cell Potential (HCP) dan untuk pengujian migration test dan penetration depth masuk dalam kategori sedang (moderate).

5. “Pengaruh Variasi Curing Terhadap Kuat tarik beton Self-Compaction Concrete dengan Bahan Tambah Cangkang Sawit Sebagai pengganti Sebagian Agregat Kasar” (Faisal Majid Nusabagas ., 2020). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode water curing, moist curing, dan air curing terhadap kuat tarik beton memadat sendiri dengan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Menggunakan benda uji berukuran 15 cm x 7,5 cm. Pengujian fresh properties yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa pengujian slump flow, T500, L-box, dan V-funnel telah memenuhi spesifikasi EFNARC sedangkan pengujian J-ring tidak memenuhi spesifikasi EFNARC. Hasil uji kuat tarik belah tertinggi pada umur 3 hari didapatkan pada metode water curing dengan variasi cangkang 60

2.2 Beton

2.2.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 01-2847,2019). Beton normal memiliki berat isi 2200kg/m^3 , beton berat yang mempunyai berat isi $< 2500\text{ kg/m}^3$ dan beton massa yang mempunyai dimensi penampang yang besar, bisa juga dikatakan sebagai beton yang memiliki dimensi lebih besar dari 60 cm (Kuntari, dkk., 2019). Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03) didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,1 Mpa. Peningkatan

mutu beton dapat dilakukan dengan menggunakan bahan tambah *mineral additive* ataupun *chemical additive*. Pada tahun 1950an, beton dikategorikan mempunyai mutu tinggi jika kekuatan tekannya 30 Mpa. Tahun 1960-1879an, kriteria naik menjadi 40 Mpa. Saat ini beton dikatakan sebagai beton mutu tinggi jika kekuatan tekannya diatas 50 Mpa (Supartono, 1998). Beton adalah jenis konstruksi yang banyak digunakan. Substrat yang mudah didapat di alam menjadi salah satu faktor utama dalam memilih struktur beton.

2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Secara umum adapun kelebihan dan kekurangan penggunaan beton (Tjokrodimulyo, 2007) adalah sebagai berikut.

1. Kelebihan beton adalah sebagai berikut
 - a. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
 - b. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.
 - c. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan.
 - d. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
 - e. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.
2. Kekurangan beton adalah sebagai berikut.
 - a. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberikan baja tulangan sebagai penahan gaya atriknya.
 - b. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi untuk mengatasi retakan-retakan akibat terjadinya perubahan suhu.
 - c. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus

dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.

- d. Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikomposisikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa.

2.2.3 Jenis-jenis Beton

Adapun jenis-jenis beton sebagai berikut:

1. Beton biasa adalah beton yang menggunakan agregat biasa
2. Beton bertulang merupakan jenis beton biasa yang diperkuat untuk menahan kuat tarik. Oleh karena itu, untuk menanggulangi masalah tersebut, tulangan diberikan pada beton normal agar beton lebih kuat dalam menahan tarikan maupun tekanan.
3. Beton pracetak adalah beton yang dibuat dan dituangkan di luar lokasi konstruksi, biasanya di pabrik atau pabrikan, sesuai spesifikasi yang ada atau yang diinginkan. Terdapat beberapa elemen beton pracetak antara lain balok beton, elemen tangga, dinding dan kolom prefabrikasi, serta bantalan beton. Pembuatannya biasanya dilakukan oleh tenaga ahli sehingga kualitasnya terjamin.
4. Beton pratekan adalah beton yang dibuat dengan memberikan baja tulangan yang terlebih dahulu mengalami tekan atau tarik sebelum akhirnya dituang. Begitupun beton mengeras, maka komponen betonpun menjadi padat. Proses pengerasan memerlukan alat berat dan keahlian khusus orang yang melaksanakannya. Oleh karena itu, elemen beton pratekan diproduksi dan dirakit di lokasi.
5. Beton mortar adalah beton yang dibuat dengan mencampurkan semen, pasir, dan air dengan perbandingan tertentu. Oleh karena itu, beton semen merupakan nama lain dari beton mortar. Bahan baku pembuatan mortar beton terutama adalah pasir, semen, dan air. Semen, kapur, dan tanah liat adalah tiga jenis mortar yang

paling umum digunakan. *Ferrocement* adalah sejenis mortar semen yang mengandung jaring penguat baja. Beton ini bersifat ulet dan mempunyai kuat tarik yang tinggi.

6. Beton ringan adalah beton yang beratnya kurang dari 1920 kg/m³ dan dapat digolongkan sebagai beton ringan. Penggunaan agregat ringan pada campuran beton menjamin bobot hasil akhir beton yang lebih ringan.

2.2.4 Sifat-sifat Beton

Beton mempunyai sifat yang berbeda-beda sebelum mengeras, pada saat dituang, dan setelah dituang.

Sifat-sifat beton adalah sebagai berikut:

1. *Workability*

salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang, dalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan. *Workability* akan lebih jelas pengertiannya dengan adanya sifat-sifat sebagai berikut.

2. *Mobility* adalah kemampuan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
3. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat, dan tidak mengalami pemisahan butiran (*segretasi* dan *bleeding*).
4. *Compactibility* adalah kemudahan adukan untuk didapatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.
5. *Finshingbility* adalah kemudshan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain sebagai berikut.

1. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
2. Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
5. Pemakaian butira maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
6. Cara pemadatan adukan beton menemukan sifat pengerjaan yang berbeda.

Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kecelakaan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodinuljo, K, 2007)

1. Segregasi

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan *segregasi* (Mulyonon, 2004). Hal ini menyebabkan sarang kerikil pada beton akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Penyebab *segregasi* adalah sebagai berikut.

- a. Campuran kurus dan kurang semen
- b. Terlalu banyak air.
- c. Ukuran maksimum agregat lebih dari 40 mm.
- d. Permukaan butir agregat kasar yang terlalu kasar.

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah dengan cara ebagai berikut.

- a. Tinggi jatuh diperpendek.
- b. Penggunaan air sesuai dengan syarat.

- c. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan.
- d. Ukuran agregat sesuai dengan syarat.
- e. Pemasangan baik

2. *Bleeding*

Bleeding merupakan peristiwa naiknya air ke permukaan pada beton yang baru di cor karena bahan-bahan pada mengendap dan bahan-bahan tersusun kurang mampu memegang air campuran secara terbagi merata seluruh campuran. Akibat dari peristiwa ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagian atas lapis terlalu basah, yang akan menghasilkan beton berpori dan lemah.
- b. Air naik membaa serta bagian-bagian insert dan semen yang membentuk lapis buih semen pada muka lapis (merintang pada lapis kemudian, maka harus dihilangkan).
- c. Air dapat berkumpul dalam-dalam dan krikil-krikil dan juga tulangan horizontal, hingga menimbulkan rongga-rongga besar.

Cara mengurangi bleeding adalah sebagai berikut.

- a. Jumlah air campuran yang tidak melebihi kebutuhan untuk mencapai *workability*.
- b. Campuran dengan semen lebih banyak.
- c. Jenis semen yang butir-butirnya lebih halus.
- d. Bahan batuan bergradasi lebih baik.
- e. Pasir alam yang agak bulat-bulat dengan butir halus lebih besar.
- f. Zat tambah guna perbaikan gradasi bahan batuan kadang-kadang digunakan bubuk Al, yang menyebabkan pengembangan sedikit pastinya, guna mengimbangi susut oleh penegeluaran air)

3. Sifat jangka pendek

- a. Kuat tekan dipengaruhi oleh: Rasio semen terhadap air dan

derajat pemadatan, jenis semen dan kualitasnya, jenis agregat dan kekasaran permukaan, umur (dalam kondisi normal, kekuatan meningkat seiring bertambahnya usia), suhu (laju pengerasan meningkat seiring bertambahnya usia), pemeliharaan.

- b. Kuat tarik : kuat tarik beton kira-kira $1/18$ dari kuat tekan pada waktu masih muda, dan $1/20$ setelah itu. Kekuatan tarik memegang peranan penting dalam ketahanan terhadap retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Dalam prakteknya, kuat tekan dan tarik selalu diikuti dengan kuat geser.

4. Sifat jangka panjang

- a. *Creep* adalah peningkatan deformasi (regangan) secara bertahap seiring berjalannya waktu akibat beban kerja yang konstan dan dipengaruhi oleh:

- 1) Kekuatan. Creep berkurang dengan meningkatnya tekanan.
- 2) Perbandingan campuran. Ketika FAS menurun, creep menurun.
- 3) Agregasi. Creep meningkat seiring bertambahnya agregat halus dan semen.
- 4) Usia. Laju mulur menurun seiring bertambahnya usia beton. Penyusutan adalah berkurangnya volume beton akibat hilangnya kandungan uap air akibat penguapan.
Jenis dan mutu semen

- b. Tipe dan permukaan agregat. Faktanya, penggunaan agregat menghasilkan beton dengan kuat tekan dan tarik yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan kerikil halus dari sungai.

- c. Pemeliharaan. Pengeringan dini dapat mengakibatkan hilangnya kekuatan hingga sekitar 40%. Kehati-hatian sangat penting ketika bekerja di lapangan dan menyiapkan spesimen.

- d. Suhu. Secara umum, beton mengeras lebih cepat seiring

dengan meningkatnya suhu. Pada titik beku, kuat tekannya tetap rendah dalam waktu yang lama.

- e. tahun. Dalam keadaan normal, kekuatan beton meningkat seiring bertambahnya usia (Murdock & Brook, 1979).

Bahan penyusun beton perlu memperhatikan pencapaian kuat tekan yang direncanakan, menggunakan agregat yang telah diuji dan memenuhi spesifikasi, serta menjaga kondisi bahan agar tidak kehilangan sifat-sifat yang ada.

5. Sifat Mekanik Beton

Saat memproduksi beton, sifat beton yang diinginkan harus diperhitungkan. Sifat yang paling penting dan umum adalah sifat mekanik beton. Hal ini mempengaruhi perhitungan dan produksi campuran beton. Sifat mekanik beton berhubungan dengan dua keadaan: beton segar dan beton keras. Perilaku mekanis beton yang mengeras tidak berbeda nyata dengan kemampuan beton dalam menopang beban pada struktur bangunan. Kinerja beton kaku yang unggul ditandai dengan kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku daktil yang lebih tinggi, kedap air dan udara, tahan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah, dan daya tahan jangka panjang.

2.3 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton pada umumnya adalah campuran antara semen, pasir, krikil, dan air. Namun ada juga diberi bahan tambah berupa *mineral additive* ataupun *chemical additive* untuk meningkatkan performa beton itu sendiri. Bahan-bahan penyusun beton adalah sebagai berikut.

2.3.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker dan terutama terdiri dari kalsium silikat, yang bersifat hidrolis, dan gipsum sebagai komponen tambahan (PUBI-1982). Bila semen dicampur dengan air, dihasilkan campuran yang

disebut pasta semen. Semen dicampur dengan air dan ditambahkan pasir untuk membuat mortar semen, dan dengan kerikil dan batu pecah disebut juga beton. Pada campuran beton, semen dan air merupakan gugus aktif. Gugus aktif ini bertindak sebagai perekat atau pengikat, dan gugus tidak bergerak, yaitu pasir atau kerikil, bertindak sebagai pengisi. Fungsi semen adalah untuk mengikat agregat menjadi suatu massa yang kompak atau padat. Ada juga pekerjaan untuk mengisi rongga antar partikel agregat. Dalam campuran beton, semen menyumbang sekitar 10% dari volume beton. Karena merupakan bahan aktif, maka penggunaannya harus dikontrol dengan baik. Semen mengandung bahan atau senyawa antara lain kapur, silikat, aluminium oksida, dan besi oksida yang semuanya merupakan unsur dasar. Bahan dasar pembuatan semen portland terdiri dari batu kapur (batu kapur), tanah liat atau lempung, pasir silika, pasir besi, dan gipsum.

Adapun kandungan bahan kimia dalam semen dapat dilihat dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Kandungan bahan-bahan kimia dalam Bahan Baku Semen

| | CaO(%) | SiO(%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | MgO(%) |
|--------------|--------|--------|------------------------------------|------------------------------------|--------|
| Batu kapur | 52,77 | 1,02 | 0,92 | 0,7 | 1,33 |
| Tanah Liat | 9,27 | 46,99 | 16,46 | 6,62 | 2,44 |
| Pasir silika | 1,41 | 90,51 | 3,26 | 1,65 | 2,98 |
| Pasir Besi | 1,03 | 12,38 | 3,49 | 76,21 | 0,34 |

Sumber: Kusuma, 1993

Setelah mencampurkan semen dan air, dilakukan dua proses: "setting" dan "curing." Proses penggabungan dimulai beberapa menit setelah pencampuran dan disebut *batch* awal (penggabungan awal). Ini berakhir setelah beberapa jam dan disebut set terakhir (pengikatan

akhir). *Setting time* adalah jangka waktu mulai mengerasnya semen setelah kontak dengan air sampai mortar semen mencapai kekentalan yang tidak dapat diproses lebih lanjut. Proses pengerasan dimulai segera setelah semen bersentuhan dengan air. Proses kimia pada *curing* terdiri dari hidrasi dan hidrolisis. Hidrasi adalah pembentukan senyawa baru dengan air. Hidrolisis adalah konversi komponen menjadi komponen lain di bawah pengaruh bahan kimia dan air. Proses hidrasi melepaskan panas yang disebut panas hidrasi. Tetapi sekitar 20% dari berat semen yang dibutuhkan untuk hidrasi semen. Tetapi, kelebihan air juga diperlukan untuk memberikan pelumasan pada partikel semen agar campuran lebih mudah ditangani dan dikerjakan. Kelebihan air ini harus ada dan menguap meninggalkan pori-pori di dalam semen yang mengeras, mendorong pembentukan retakan akibat penyusutan, namun jumlah kelebihan air ini harus dibatasi. Proses pengawetan semen Portland merupakan proses kompleks yang menghasilkan terbentuknya komponen baru pada batu semen yang awalnya tidak terdapat pada klinker. Reaksi hidrasi yang biasa dihasilkan oleh semen adalah:



Jenis semen yang digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Dalam hal ini, Anda perlu mengetahui jenis semen apa saja yang terstandarisasi di Indonesia.

Semen portland diklasifikasikan menjadi lima jenis:

1. Jenis semen

Menurut ASTM C150, semen Portland diklasifikasikan menjadi lima jenis:

- a. Semen portland biasa (OPC) Tipe I, merupakan semen serba guna, tidak memerlukan persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan sulfat, kekuatan awal).
- b. Semen sulfat sedang kelas II, semen beton yang tahan terhadap sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi yang sesuai.
- c. Semen mutu awal tinggi kelas III, semen untuk beton dengan kuat awal (pengerasan) tinggi.

- d. Semen panas hidrasi rendah kelas IV. Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah dan mempunyai kekuatan awal rendah.
- e. Semen tipe V dengan ketahanan sulfat tinggi, semen beton tahan terhadap kadar sulfat tinggi (Suparyanto dan Rosa, 2015).

2. Pemeriksaan berat jenis

Uji berat jenis semen ini berdasarkan ASTM C-188, dengan berat jenis yang dipersyaratkan sebesar 3,15 dan kemurnian semen yang dipersyaratkan sebesar 3,0 hingga 3,2 menurut ASTM C-188. Namun berat jenis semen yang dihasilkan berkisar antara 3,05 hingga 3,25. Rasio ini mempengaruhi proporsi semen dalam campuran, dan jika percobaan tidak memberikan hasil seperti itu, maka pembakaran tidak sempurna. Pengujian berat jenis dapat dilakukan pada serpihan *Le Chateriel* menurut ASTM C-188 dengan menggunakan langkah-langkah berikut:

- a. Isi botol *Le Chaletieriel* dengan minyak tanah dengan menggunakan skala botol 0 sampai 1.
- b. Tempatkan botol *Le Chateriel* yang berisi minyak tanah ke dalam wadah yang sudah diisi air.
- c. Tambahkan es ke wadah. Oleh karena itu, suhu air akan menjadi 4°C.
- d. Bila suhu air sesuai dengan suhu cairan dalam botol *Le Chateriel*, bacalah timbangan pada botol (V1)
- e. Saring semen Portland dengan saringan #40 dan timbang 64 gram.
- f. Keluarkan botol dari wadahnya dan tambahkan semen potland ke dalam botol secara bertahap bersama minyak tanah menggunakan corong kaca. Hati-hati jangan sampai semen mengenai bagian dalam dinding atas botol *Le Chatelierl*.
- g. Kembalikan botol *Le Chatelier* yang berisi minyak tanah dan semen ke dalam wadah dan pertahankan suhu air pada 4°C.
- h. Jam Ketika suhu air dan suhu cairan dalam botol *Le Chatelier* cocok, nilai (V2) akan ditampilkan pada skala botol.

- i. Untuk menentukan nilai berat suatu mutu semen digunakan rumus sebagai berikut

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

W = Berat benda uji semen portland

V₁ = Pembacaan botol *Le Chatelier* yang berisi minyak tanah pada suhu 4°C

V₂ = Pembacaan botol *Le Chatelier* yang berisi minyak tanah pada suhu 4°C

Y_{air} = Berat isi air pada suhu 4°C

2.3.2 Air

Air merupakan bahan baku penting dalam produksi beton. Air diperlukan saat bereaksi dengan semen dan sebagai pelumas antara partikel agregat agar mudah diolah dan didapatkan. Sekitar 25% dari berat semen air diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Namun pada praktiknya sulit mencapai nilai koefisien air semen di bawah 0,35. Kelebihan air yang terkandung dalam digunakan sebagai pelumas. Jumlah air yang ditambahkan sebagai pelumas tidak boleh terlalu banyak. Terlalu banyak akan mengurangi kekuatan beton. Pendarahan mungkin terjadi. Aliran ini mengakibatkan terbentuknya lapisan tipis sehingga mengurangi daya rekat antara lapisan beton. Peranan air dalam campuran beton adalah:

1. Sebagai pelumas agregat halus dan kasar
2. Bereaksi dengan semen membentuk pasta semen
3. Penting untuk mengencerkan material semen pada seluruh permukaan agregat.
4. Basahi agregat untuk mencegah penyerapan air penting yang diperlukan untuk reaksi kimia.
5. Tuangkan campuran beton ke dalam bekesting.

Banyaknya air yang digunakan dapat dinyatakan dalam satuan berat atau satuan volume. Pada kenyataannya air biasa diukur dalam satuan volume, yaitu liter. Jumlah (volume) air yang digunakan untuk beton dengan mutu tertentu harus dihitung dengan mengevaluasi kadar air (*moisture content*) agregat halus dan kasar. Kadar air dalam agregat mengurangi jumlah air yang dibutuhkan

untuk campuran beton. Sedangkan agregat mampu menyerap air dari campuran beton. Dalam hal ini harus dicari cara untuk mengatasi serapan, yaitu dengan menambah jumlah air yang perlu ditambahkan pada campuran beton. Sumber air yang dapat ditambahkan pada campuran beton. Sumber air yang dapat digunakan dalam pencampuran beton sebagai berikut:

1. Air diserap ke dalam agregat dan permukaan agregat menjadi kering jenuh (permukaan jenuh kering = SSD)
2. Air ditambahkan selama proses pencampuran. Jumlah ini dikoreksi untuk air permukaan pada agregat dan/atau tidak termasuk air yang diserap oleh agregat menurut dasar perhitungan rasio air/semen (FAS).
3. Air permukaan berbasis agregat. Jumlahnya bervariasi dan mempengaruhi jumlah total air yang digunakan dalam campuran beton.

2.3.3 Agregat

Secara khusus, total volume beton biasanya mengandung sekitar 70 hingga 80% volume agregat. Oleh karena itu, agregat memegang peranan penting terhadap sifat-sifat beton. Agregat ini harus dinilai sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton bertindak sebagai satu kesatuan yang homogen, homogen, padat, dan berperilaku berbeda.

Menurut SNI 03-1969-1990, harus dalam kondisi SSD untuk menentukan berat jenis dan serapan (*absorpsi*) untuk menentukan volume agregat. Kondisi SSD merupakan keadaan dimana tidak terdapat air pada permukaan agregat, namun rongga-rongganya terisi air sehingga tidak terjadi penambahan atau penurunan kadar air pada beton.

1. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam yang terbentuk dari hasil dekomposisi alami batuan atau pasir dari industri penghancuran

batuan dan mempunyai ukuran partikel kurang dari 3/16 inci atau 5 mm (melewati saringan No. 4).

Agregat halus yang menjadi bahan dasar beton cetak pada umumnya adalah pasir alam. Sebaliknya pasir yang terbuat dari batu pecah umumnya tidak cocok untuk pembuatan beton karena mengandung partikel yang terlalu halus yang terbawa selama produksi.

Persyaratan yang harus dipenuhi agregat halus menurut spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F) adalah:

- a. Agregat halus harus terdiri dari partikel yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\pm 2,2$.
- b. Batuan yang halus harus kuat. Dengan kata lain tidak boleh rusak atau hancur karena pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
- c. Sifatnya bersifat permanen bila diuji dalam larutan sulfat jenuh. Artinya bila menggunakan natrium sulfat, luas maksimum yang akan dimusnahkan adalah 12 %. Jika menggunakan magnesium sulfat, luas rekahan maksimum adalah 10%.
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (diukur berdasarkan berat kering). Lumpur berarti bagian yang dapat lolos saringan 0,060 mm. Jika kadar lumpur melebihi 5%, pencucian agregat halus harus dibersihkan.
- e. Agregat halus tidak boleh mengandung terlalu banyak bahan organik. Hal ini harus dibuktikan dengan eksperimen warna *AbramsHarder*. Oleh karena itu, bila direndam dalam larutan NaOH 3%, cairan yang berada di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- f. Agregat halus yang tidak memenuhi uji warna ini boleh digunakan juga, dengan syarat kuat tekan campuran agregat pada umur 7 hari dan 28 hari paling sedikit 95% dari kuat

tekan campuran agregat yang sama. Tapi larutan NaOH 3%. Setelah itu dicuci bersih dengan air dalam jangka waktu yang sama.

- g. Susunan ukuran partikel agregat halus harus sesuai dengan faktor kehalusan 1,5 hingga 3,8 dan terdiri dari partikel dengan ukuran berbeda. Apabila disortir dengan susunan saringan yang ditentukan, Zona 1, 2, 3, dan 4 (SKBI/BS.882) harus termasuk dalam salah satu rentang susunan partikel yang ditentukan dalam dan memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - 1) Area tersisa pada layar 4,8 mm harus maksimal 2% berat.
 - 2) Sisa pada saringan 1,2 mm paling banyak 10%.
 - 3) Sisanya di atas layar 0,3 mm harus maksimal 15%
- h. Untuk beton tahan lama, reaksi antara pasir dan alkali harus negatif.
- i. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus pada mutu beton apa pun kecuali atas petunjuk laboratorium pengujian bahan yang terakreditasi.
- j. Agregat halus yang digunakan dalam plesteran dan penerapannya sesuai dengan Spesifikasi harus memenuhi standar. Persyaratan di atas.

Susunan ukuran partikel agregat halus lebih penting dibandingkan agregat kasar . Agregat halus bersama-sama dengan semen dan air membentuk mortar yang melekat dan mengisi rongga antar partikel agregat kasar , sehingga beton yang dihasilkan mempunyai permukaan yang rata.

Penggunaan butiran halus yang terlalu sedikit menyebabkan masalah berikut:

- 1) Segregasi terjadi karena mortar tidak dapat mengisi rongga antar partikel agregat kasar dengan baik sehingga memudahkan agregat kasar untuk terpisah satu sama lain.
- 2) Campuran tersebut tidak mengandung pasir, yang disebut "kekurangan pasir".
- 3) Campuran beton sulit untuk diolah, sehingga dapat dibuat

sarang kerikil.

- 4) Finishing menghasilkan beton yang permukaannya kasar.
- 5) Beton yang sudah jadi tidak tahan lama.

Jika kita menggunakan terlalu banyak partikel halus, gejala berikut akan terjadi:

- 1) Campuran menjadi tidak ekonomis.
- 2) Untuk mencapai ekuatan yang sama diperlukan jumlah semen yang lebih besar, namun mencapai kekuatannya dengan mencampurkan agregat halus dengan agregat kasar dalam perbandingan yang optimal.
- 3) Campuran pasir tambahan yang disebut refinishing.
- 4) Beton buatan menunjukkan tanda rangkai dan susut lebih besar dari.

Tabel 2.2 Gradasi Saringan 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 | 25-6 | 42,5 |
| 300 μ | 5-30 | 17,5 |
| 150 μ | 0-10 | 5 |

sumber: ASTM C33/3

2. Pengujian karakteristik agregat halus

a. Analisa saringan

Berdasarkan SK SNI M-08-1989-F dan SNI 03-196801990. Prosedur pelaksanaan pengujian gradasi butiran agregat halus (pasir) sebagai berikut.

- 1) Keringkan pasir yang akan diperiksa dengan oven pada suhu (110 ± 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.

$$\text{Persen berat tertahan} = \frac{\text{berat tertahan per no saringan}}{\text{jumlah berat total}} \times 100 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\text{jumlah } \Sigma \text{persen tertahan} \dots\dots\dots}{100} \dots\dots\dots (2.3)$$

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 $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap.
- 3) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 4) Setelah direndam, buang peendaman dengan hat-hati agar butiran pasir tidak ikut terbuang. Keringkan pasir hingga

mencapai keadaan kering SSD tercapai, ambil kerucut kuningan tempatkan ditempat yang rata kemudian masukkan smapel 1/3 bagian, gunakan penumbuk untuk memedatkan tumbuk 8 kali dan lapisan ketiga 7 kali.

- 5) Timbang pasir keadaan 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 gram tadi kedalam piknometer, lalu tambahkan aquades sampai 90% penuh, kocok selama ± 5 menit dengan di kocok untuk mengeluarkan gekembung udara yang tertangkap diantara butiran-butiran pasir. Pengeluaran gelembung udara dapat juga dilakukan dengan memanasi piknometer atau diamkan selama 24 jam untuk mengeluarkan gelembung udara didalamnya.
- 9) Setelah gelembung udara keluar, tambahkan air pada piknometersampai tanda batas penuh 100% agar gelembung udara terbuang, lalu timbang poknometer berisi air dan aquades dengan ketelitian 1 gr (Bt).
- 10) Timbang talang kosong.
- 11) Tuangkan pasir dari piknimeter kedalam talang (wadah) tersebut lalu ovn selama 24 jam smapai beratnya tetap.
- 12) Keluarkan sampel dari oven dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering (Bk).

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

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

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

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

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

Dimana:

B : berat piknometer diisi air

Bk : berat contoh kering

Bt : berat piknometer air + agregat SSD

SSD : berat agregat SSD

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) Ukuran volume kontainer (V).
- 2) Timbang container dalam keadaan kosong (W1)
- 3) Isi kontainer 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 ±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.

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{w1-w2}{v} \dots\dots\dots (2.8)$$

d. Kadar lumpur

Berdasarkan: SK SNI S-04-1989-F dan SNI 03-28161992 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 guncangguncangkan saringan tadi selama ± 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 rataratanya.

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

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{w1-w2}{w1} \times 100 \dots\dots\dots(2.9)$$

e. Kadar air

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

- 1) Timbang berat talang kosong (A)
- 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).

Persamaan analisa perhitungan untuk pengujian kadar air sebagai berikut.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{C-D}{C} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Pengujian karakteristik agregat ini tentunya mengaupada Standar nasional Indonesia (SNI), adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan adalah pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 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 M-10-1089-F |
| 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 spesifikasi | | 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)

2.3.4 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 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:

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 Bahan tambah

Untuk kebutuhan tertentu, beton memerlukan bahan tambahan berupa bahan tambahan mineral atau bahan tambahan kimia untuk meningkatkan kinerja beton itu sendiri. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. POFA (*Palm Oil Fuel Ash*)

Abu sawit yang disebut juga dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit

pada suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit. Industri kelapa sawit menghasilkan limbah padat seperti serat, cangkang dan tandan kosong. Proses ekstraksi 100 ton tandan buah segar akan menghasilkan 20 ton cangkang, 7 ton serat, dan 25 ton tandan kosong. Perkembangan industri kelapa sawit yang terus meningkat akan berdampak pada peningkatan limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar (TBS). Limbah ini adalah sisa produksi minyak sawit kasar berupa tandan kosong, serat dan cangkang sawit. Limbah tersebut digunakan sebagai bahan bakar ketel (*boiler*) untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Uap dari boiler dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dan untuk merebus TBS sebelum diolah di dalam pabrik. Masalah yang kemudian timbul adalah sisa dari pembakaran pada ketel (*boiler*) berupa abu (POFA) dengan jumlah yang terus meningkat sepanjang tahun. Namun POFA sendiri sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal. Kondisi limbah POFA yang terus menerus meningkat seiring peningkatan industri kelapa sawit semakin membutuhkan lahan yang besar untuk menampung POFA.

POFA adalah salah satu abu limbah industri yang komposisi kimianya mengandung kadar silika yang tinggi dan sangat berpotensi tinggi untuk digunakan sebagai pengganti semen. POFA dengan kehalusan yang tinggi dengan $d_{50} = 10.1 \mu\text{m}$ adalah material reaktif pozzolanic yang bisa digunakan untuk membuat beton dengan mutu tinggi.

Pada pencampuran beton yang diuji menggunakan POFA yang berukuran hampir menyerupai abu yang lolos saringan No. 300 disebut dengan Ultrafine Palm Oil Fuel Ash (UPOFA) & POFA yang lolos saringan No. 50.

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.

Ground Palm Oil Fuel Ash (GPOFA) adalah produk limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran cangkang dan serat kelapa sawit. Ketika dibakar meninggalkan abu yang kaya akan mineral. Ukuran dari GPOFA sendiri yang lolos saringan No. 50 tertahan di saringan No. 100.

Adapun manfaat penggunaan GPOFA yang harus diketahui yaitu sebagai berikut :

1. Pengganti semen

GPOFA dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton, yang membantu mengurangi penggunaan semen portland dan dampak pada lingkungan.

2. Peningkatan kualitas beton

Penggunaan GPOFA dalam beton dapat meningkatkan daya tahan, kekuatan, dan ketahanan terhadap serangan kimia.

3. Pengolahan limbah

Menggunakan GPOFA membantu mengurangi limbah dari industri kelapa sawit dan mendukung prinsip keberlanjutan.

4. Ramah lingkungan

GPOFA memiliki komposisi silika yang tinggi, yang memberikan sifat pozzolank, yaitu kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu rendah dan meningkatkan kekuatan material.

2.4 Mutu beton

Beton adalah bahan bangunan komposit yang terbuat dari campuran semen, air, dan agregat, atau kombinasi agregat dan bahan pengikat semen. Beton merupakan suatu elemen arsitektur yang terdiri dari campuran beberapa material. Oleh karena itu, kualitasnya sangat bergantung pada kondisi bahan cetakan dan proses pembuatannya. Oleh karena itu, kualitas bahan dan proses pelaksanaannya harus dikontrol untuk mencapai hasil yang optimal.

Beton mutu tinggi $f_c' 25$ mengacu pada standar SNI 03-2847-, menggunakan silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan kuat tekan minimal 25 MPa pada umur beton 28 hari. Referensi ACI (American Concrete Institute) tahun 2002 dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut untuk beton FC sampai dengan K :

Tabel 2.4 Konversi dari mutu beton Fc ke K

| Mutu beton K (kg/cm ²) | Mutu beton fc Mpa (N/mm ²) |
|------------------------------------|--|
| K-100 | Fc 8,3 |
| K-150 | Fc12,35 |
| K-175 | Fc14,53 |
| K-200 | Fc16,60 |
| K-225 | Fc18,68 |
| K-250 | Fc20,75 |
| 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 : DPUPKP

2.5 Sifat Mekanik Beton

Saat memproduksi beton, sifat beton yang diinginkan harus diperhitungkan. Sifat yang paling penting dan umum adalah sifat mekanik beton, yang mempengaruhi perhitungan dalam pembuatan campuran beton. Sifat mekanik beton berkaitan dengan dua keadaan: beton segar dan beton keras.

Perilaku mekanik beton yang mengeras tidak berbeda nyata dengan kemampuan beton dalam menopang beban pada suatu struktur bangunan. Kinerja beton kaku yang baik ditunjukkan dengan kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang baik, perilaku detail, kedap air dan kedap udara, tahan terhadap sulfat dan klorida, susut yang rendah dan kestabilan jangka panjang (daya tahan beton).

2.5.1 kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).



Gambar 2.1 Uji Kuat Tekan Beton Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton didapatkan dengan menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder atau kubus sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan-tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan yang dinyatakan dengan satuan N/mm^2 atau MPa. 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. Berdasarkan beban runtuh yang dapat diterima oleh benda uji, maka nilai kuat beton structural dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

σ : kuat tekan beton dengan uji kubus (Mpa)

P : Gaya tekan aksial (k/N)

A : Luas penampang melintang benda uji (mm^2)

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

2.5.2 Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)

UPVT adalah salah satu metode dalam pengujian tidak merusak Non-Destructive Testing (NDT) untuk mengidentifikasi mutu integritas beton dengan pendekatan rambatan gelombang ultrasonic pada beton. Para ahli menggunakan cairan dalam bentuk sesuatu yang mirip dengan minyak atau gel yang dioleskan ke permukaan beton sebelum pengujian dimulai dan dilewatkan melalui transduser elektroakustik untuk menghasilkan getaran longitudinal.



Gambar 2.2 Pengaturan Untuk Uji UPVT

Pertama, gelombang longitudinal mencapai transduser penerima. Di transduser, gelombang ini diubah menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat direkam oleh transduser penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur. Karena waktu rambat (T) yang diperlukan gelombang untuk merambat sepanjang jalur beton (L) dapat diukur, maka cepat rambat gelombang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut (Lawson dkk, 2011).

$$V = L/T \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

V : Kecepatan gelombang longitudinal (km/detik atau m/detik)

L : Panjang lintasan beton yang dilewati (km, m)

T : Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada lintasan L (detik)

1. Kegunaan Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)
 - a. Mengetahui keseragam kualitas beton.
 - b. Mengetahui kualitas struktur beton setelah umur beberapa tahun.
 - c. Mengetahui kekuatan tekan beton.

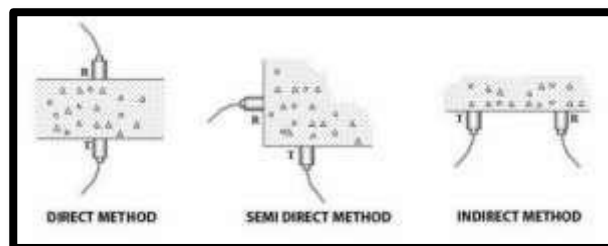
d. Menghitung modulus elastisitas dan koefisien *Poisson* beton (*International Atomic Energy Agency, Vienna,2002*).

2. Metode pengujian

Dalam pengujian material beton menggunakan UPV Test, 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 Test (Sumber : PT Hesa Lasar Cemerlang)

Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekakuan elastis dan kekuatan beton; pada beton dengan pemadatan yang kurang baik, atau mengalami kerusakan butiran material, gelombang UPV akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan beton pada tes UPV ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya; jika kecepatan turun, adalah tanda bahwa beton mengalami penurunan kekuatan, dan sebaliknya, jika kecepatan naik, adalah tanda bahwa kekuatan beton meningkat (Hamidian, 2012).

Banyak penelitian yang dilakukan para peneliti tentang hubungan kecepatan gelombang UPV dengan kuat tekan beton menyimpulkan bahwa kecepatan gelombang UPV paling dipengaruhi oleh kuat tekan beton. Jika beton tidak cukup padat atau partikel material rusak, kecepatan poros UPV akan berkurang. Perubahan kuat tekan beton pada pengujian UPV ditunjukkan dengan adanya perbedaan cepat rambat gelombang. Penurunan sebesar menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton. Sebaliknya, peningkatan kecepatan menunjukkan penurunan kekuatan beton dan peningkatan kekuatan beton. *Whitehurst* sedang melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan antara kecepatan gelombang dan kualitas beton.

Whitehurst (dalam *International Atomic Energy Agency*, Vienna, 2002), melakukan penelitian untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dengan kualitas beton, hasilnya terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang

| Kecepatan Gelombang Longitudinal | | Kualitas Beton |
|----------------------------------|-----------|-----------------------|
| Km/ (detik.10 ³) | Ft/ detik | |
| >4,5 | >15 | <i>Excellent (E)</i> |
| 3,50-4,50 | 12-156 | <i>Good (G)</i> |
| 3,00-3,50 | 10-12 | <i>Medium (M)</i> |
| 2,00-3,00 | 7-10 | <i>Doubtful (D)</i> |
| <2,00 | <7 | <i>Very Weak (VW)</i> |

Sumber: *international Atomic Energy Agency*, Vienna, 2002:110

2.5.3 *Electrical Resistivity*

Uji resistivitas listrik (*electrical resistivity testing*) adalah suatu metode untuk mengukur kemampuan suatu bahan dalam menahan aliran arus listrik. Hal ini sering dilakukan untuk berbagai aplikasi, termasuk mengevaluasi kualitas material, mengevaluasi kondisi tanah, dan menguji kabel dan komponen elektronik.

Pengukuran hambatan listrik beton terutama digunakan untuk mengevaluasi sifat beton seperti ketahanan beton, permeabilitas air, estimasi penetrasi asam, dan difusivitas ion klorida. Pengukuran

ketahanan beton dapat digunakan sebagai indikator ketahanan korosi pada batang tulangan yang tertanam pada struktur beton bertulang. Sehubungan dengan evaluasi ketahanan struktur beton yang ada, dalam beberapa tahun terakhir semakin banyak diketahui pengaruh ketahanan beton terhadap korosi baja tulangan dan pengujian ketahanan beton. Data ketahanan beton digunakan untuk menilai risiko korosi pada tulangan pabrik dan untuk mengevaluasi kesesuaian mortar perbaikan yang digunakan bersama dengan sistem proteksi elektrokimia. Mortar beton dengan resistansi rendah biasanya digunakan untuk perbaikan beton, terutama dalam kombinasi dengan sistem proteksi elektrokimia seperti sistem korosi galvanik arus katodik, ekstraksi klorida, dan alkalisasi ulang.

Secara khusus, arus listrik diangkut oleh ion bermuatan terlarut yang mengalir melalui pori-pori larutan. Resistivitas beton bergantung pada struktur mikro beton, termasuk distribusi ukuran pori kapiler dan konektivitasnya. Ketika jaringan pori menjadi lebih halus dan kurang terhubung, permeabilitas menurun dan resistivitas meningkat. Ukuran dan struktur pori ditentukan oleh faktor-faktor seperti jenis semen, rasio air-semen (w/c), campuran pozzolan, dan derajat hidrasi beton. Pengaruh sifat fisik tersebut juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di mana beton dipasang, terutama kelembaban relatif. Pengaruh lain seperti kontaminan kimia (masukannya klorida ke dalam lingkungan laut) selanjutnya dapat mempengaruhi nilai resistivitas beton. Semua variabel ini berkontribusi terhadap resistivitas beton, sehingga semua variabel ini harus dipertimbangkan dalam struktur yang ada. Pengukuran resistivitas beton dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode destruktif dan non-destruktif. Meskipun banyak metode telah dicoba dalam eksperimen, uji *probe Wenner* empat titik umumnya lebih disukai untuk pengujian ketahanan di laboratorium dan lapangan karena sifatnya yang tidak merusak, pengukuran cepat, dan desain yang ringkas.

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.

Resipod dibuat sebagai resistivitas meter dengan metode *Wenner* empat probe untuk mengukur resistivitas listrik beton atau batu. Resistivitas di hitung berdasarkan pada jarak dari probe. Persamaan 2.13 digunakan untuk menghitung nilai resistivitas beton menggunakan alat resistivitas.

$$\rho = \frac{R.A}{L} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

- ρ = Resistivitas (Ωm)
- R = Resistansi (Ω)
- A = Luas Penampang (m^2)
- L = Panjang benda uji (m)

Metode empat poin di mana keempat elektroda terletak pada garis lurus dan berada pada jarak yang sama. Dua elektroda bagian dalam mengukur potensial listrik dibuat ketika elektroda eksterior menerapkan arus AC ke beton. Adapun tabel hubungan antara resistivitas dan resiko korosi dapat dilihat sebagai berikut:

Beton dengan rasio air/pengikat yang lebih rendah memiliki resistivitas yang lebih tinggi daripada beton dengan rasio air/pengikat yang lebih tinggi (Patah dkk., 2021)..

Tabel 2.6 Hubungan antara resistivitas dan resiko korosi

| Resistivity (k Ω -cm) | Resistivity (k Ω -cm) |
|------------------------------|--|
| > 100 – 200 | Very low corrosion rate even chloride contaminated |
| 50 – 200 | Low corrosion rate |

| Resistivity (k Ω -cm) | Resistivity (k Ω -cm) |
|------------------------------|--|
| 10 – 50 | Moderate to high corrosion rate |
| > 10 | High corrosion rate ; Resistivity is not the controlling parameter |

Sumber : ASTM B193-19

Metode pengukuran resistivitas yang paling umum adalah metode “*direct*” atau “*massal*” yaitu metode untuk mengukur resistivitas (jaringan pori dibuat jelas demi representasi). Dua elektroda ditempatkan pada dua permukaan parallel dari spesimen beton atau cakram dan tegangan diterapkan.



Gambar 2.4 Uji Electrical Resistivity Silinder Beton



Gambar 2.5 Uji Electrical Resistivity Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm
Beton Umur 56 hari

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 harus dicapai dalam pencampuran beton, yang dirumuskan sebagai:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64S \dots\dots\dots(2.14)$$

Di mana:

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

f'_c : kuat tekan beton yang disyaratkan

S : standar deviasi

DAFTAR PUSTAKA

- ADE SONIA, A. S. (2024). *PENGARUH BUTIRAN ABU CANGKANG SAWIT PADA PAVING BLOCK* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS SULAWESI BARAT).
- 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.
- Almufid, A. (2020). Perencanaan Beton Mutu Tinggi (Kuat Tekan Besar) dengan bahan Tambahan. *Jurnal Teknik*, 1(2).
- 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.
- 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 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, 1991. SK SNI T - 15-1991-03, Penentuan Ukuran Butiran Agregat Halus. Jakarta, BSN.

- Badan Standarisasi Nasional, SK SNI 08-1989-F dan SNI 03-1968-1990, Prosedur pengujian pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990. SK SNI 03-1970-1990, Prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1989. SK SNI M-10-1989-F, Prosedur pengujian berat isi/volume agregat halus. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 1989. SK SNI S-04-1989-F, Prosedur pengujian kadar air agregat halus. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, SK SNI 04-1989-F dan SNI 03-2816-1992, Prosedur pengujian pelaksanaan pengujian kadar lumpur 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, 2011. SNI-2493-2011, Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- 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.
- Dasar, A., & Patah, D. (2021). Pasir dan Kerikil Sungai Mappili sebagai material Lokal untuk Campuran Beton di Sulawesi Barat. *Bandar: Journal Of Civil Engineering*, 3(2), 9-14.

- Departemen Pekerjaan Umum, 2000, SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03) Tata Cara Perhitungan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi, Yayasan LPMB, Bandung.
- Hamidian, M., Shariati, A., Khanouki, M. A., Sinaei, H., Toghroli, A., & Nouri, K. (2012). Application of Schmidt rebound hammer and ultrasonic pulse velocity techniques for structural health monitoring. *Scientific Research and Essays*, 7(21), 1997-2001.
- Indonesia, S. N. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.
- International Atomic Energy Agency. 2002. Guidebook on non-destructive testing of concrete structure. Viena.
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. (2019). Analisis Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 6(3).
- Kusuma. 1993. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. Erlangga: Jakarta.
- Lawson, K.A. Danso, H.C. Odoi, C.A. Adjei, F.K. Quashie, I.I. Mumuni, dan I.S. Ibrahim. 2011. Non Destructive Evaluation of Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity Research. *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 3(6), h: 499-504, 2011.ISSN: 2040-7467. Maxwell Scientific Organization
- Lerry, M., Elhusna, E., & Afrizal, Y. (2012). Perilaku kuat tekan beton dengan abu cangkang sawit sebagai pengganti sebagian semen. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 43-50.
- Mulyono, T., 2005, Teknologi Beton, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Nusabagas, F. M. (2020). *PENGARUH VARIASI CURING TERHADAP KUAT TARIK BETON SELF-COMPACTING CONCRETE DENGAN BAHAN TAMBAH CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta).
- P. K. N. (2024, March). STUDI KARAKTERISTIK ASPAL AC-BC DAN RESISTENSI TERHADAP INFILTRASI AIR LAUT DENGAN POFA SEBAGAI FILLER. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*

- (Vol. 7, No. 1, pp. 190-195).
- 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.
- Rikky, A. (2024). *EFEK ABU CANGKANG SAWIT DAN PASIR PANTAI PADA PEMBUATAN BETON* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS SULAWESI BARAT).
- Sudirman, S., & Amin, M. (2024). Kuat Tekan Beton Menggunakan Sampah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 24(1), 140-148.
- Suratmin, S., Satyarno, I., & Tjokrodimuljo, K. (2007). Pemanfaatan Kulit Ale-Ale Sebagai Agregat Kasar Dalam Pembuatan Beton. In *Civil Engineering Forum Teknik Sipil* (Vol. 17, No. 2, pp. 530-538).
- Syaifuddin, S., Kurniati, K., Aiyub, A., Miswar, M., Amiruddin, I. P. B., & Daulay, Tjokrodimuljo, K., 2007, Teknologi Beton, KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Vitri, G., & Herman, H. (2019). Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai material tambahan beton. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 6(2), 78-87