

SKRIPSI

**INVESTIGASI KEKUATAN DAN DAYA TAHAN BETON
MENGUNAKAN ABU SEKAM PADI SETELAH BERUMUR 240 HARI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan Untuk Mencapai Derajat Sarjana
S1 Pada Program Studi Teknik Sipil



Disusun Oleh:

MUH. DIAH FATUR ULHAQ

D0119338

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT
MAJENE 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**INVESTIGASI KEKUATAN DAN DAYA TAHAN BETON
MENGUNAKAN ABU SEKAM PADI SETELAH BERUMUR 240 HARI**

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat.

MUH. DIAH FATUR ULHAQ

D0119338

Telah diperiksa dan disetujui untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Menyetujui,
Tim Pembimbing,

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. Dahlia Patah, ST., M.Eng

NIP. 19860825 201504 2 001

Pembimbing 2

Nur Okviani, S.Si, M.T

NIP. 19901022202203 2 012

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T

NIP. 19640405 199003 2 002

Koordinator Program Studi



Amalia Nurdin, S.T., M.T

NIP. 19871212 201903 2 017

ABSTRAK
INVESTIGASI KEKUATAN DAN DAYA TAHAN BETON
MENGGUNAKAN ABU SEKAM PADI SETELAH BERUMUR 240 HARI

MUH. DIAH FATUR ULHAQ

Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Sulawesi Barat (2024)

faturd0119338@gmail.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan daya tahan beton yang dihasilkan menggunakan abu sekam padi sebagai bahan tambah dengan beton normal. Persentase abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% (dari berat semen).

Pengujian dilakukan pada umur 240 hari. Hasil optimal pada pencampuran abu sekam padi diperoleh pada variasi abu sekam padi 20% dengan kuat tekan 32,54 Mpa , nilai yang ditunjukkan tidak jauh signifikan dibandingkan beton normal. Sementara itu, hasil terendah ada pada variasi abu sekam padi 30% dengan kuat tekan 15,05 MPa, yang mengalami penurunan kekuatan dan daya tahan beton dibanding beton normal.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan pengganti parsial semen dalam pembuatan beton, dengan penggantian optimal pada kisaran 10%-20% untuk mendapatkan keseimbangan antara kekuatan dan daya tahan yang baik

Kata Kunci : Beton, Abu sekam padi, Kuat Tekan, dan Daya Tahan.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE USING RICE HUSK ASH AFTER 240 DAYS

MUH. DIAH FATUR ULHAQ

Civil Engineering, Faculty of Engineering

University of West Sulawesi (2024)

faturd0119338@gmail.com

This research aims to determine the strength and durability of concrete produced using rice husk ash as an additional material with normal concrete. The percentage of rice husk ash used is 0%, 10%, 20%, and 30% (of the cement weight).

Testing was carried out at 240 days of age. Optimal results in mixing rice husk ash were obtained at a variation of 20% rice husk ash with a compressive strength of 32.54 Mpa, the value shown was not much significant compared to normal concrete. Meanwhile, the lowest results were in the 30% rice husk ash variation with a compressive strength of 15.05 MPa, which experienced a decrease in concrete strength and durability compared to concrete mortar.

This research concludes that rice husk ash can be used as a partial replacement for cement in making concrete, with optimal replacement in the range of 10% -20% to obtain a good balance between strength and durability.

Keywords: concrete, rice husk ash, compressive strength, and durability.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mortar adalah bahan bangunan yang digunakan secara luas dalam konstruksi untuk merekatkan batu bata, batu, dan material lainnya. Mortar terbuat dari campuran pasir, air, dan bahan pengikat seperti semen, kapur, atau tanah liat. Sebagai salah satu komponen penting dalam pembangunan, mortar memiliki peran krusial dalam memastikan stabilitas dan ketahanan struktur bangunan. Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (Pasir), Bahan perekat (semen Portland), dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002).

Penggunaan mortar sudah ada sejak ribuan tahun yang lalu, dimulai dari peradaban kuno yang menggunakan campuran lumpur dan tanah liat untuk membangun struktur bangunan. Seiring perkembangan teknologi konstruksi, bahan pengikat pada mortar mengalami evolusi, dari penggunaan kapur pada zaman Romawi hingga penggunaan semen Portland yang dominan pada era modern ini.

Salah satu fungsi utama mortar adalah untuk mengisi celah antara batu bata atau batu lainnya, menciptakan ikatan yang kuat dan kokoh antara material konstruksi tersebut. Selain itu, mortar juga berfungsi sebagai pelindung terhadap kelembaban dan perubahan suhu yang dapat merusak struktur bangunan. Kekuatan, daya tahan, dan elastisitas mortar sangat mempengaruhi kualitas dan umur panjang bangunan.

Dalam perkembangannya, inovasi terus dilakukan untuk meningkatkan performa mortar, seperti penambahan bahan aditif untuk meningkatkan daya tahan, mengurangi penyusutan, dan mempercepat waktu pengeringan, serta pemberian bahan tambah sebagai pengganti semen khususnya produk hasil limbah pertanian. Hal ini telah diteliti oleh (Patah dkk., 2021) menjelaskan yaitu penggunaan abu yang tersisa setelah pembakaran, yaitu abu sekam padi dan *fly ash* karena SCM

dalam bahan konstruksi secara signifikan meningkatkan efek positifnya dan penerapan untuk bahan berkelanjutan. Abu Sekam padi adalah limbah pertanian yang melimpah dari proses penggilingan padi. Pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan tambahan dapat membantu mengurangi limbah dan memanfaatkan sumber daya yang ada dengan lebih efektif.

Dengan menggantikan sebagian semen dengan abu sekam padi, emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses produksi semen dapat dikurangi. Abu sekam padi dapat berfungsi sebagai bahan pengganti yang mengurangi ketergantungan pada semen konvensional. Menggunakan abu sekam padi dalam campuran mortar adalah bentuk *upcycling* yang mengubah limbah menjadi bahan berguna, mendukung praktik pembangunan berkelanjutan.

Abu sekam padi dapat berfungsi sebagai bahan tambahan yang memodifikasi sifat mortar, seperti mengurangi berat, meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan tertentu, atau memberikan efisiensi biaya. Penggunaan abu sekam padi merupakan area inovatif yang memerlukan penelitian untuk mengidentifikasi campuran optimal yang memberikan performa terbaik dalam pengaplikasiannya. Penggunaan abu sekam padi bisa menurunkan biaya produksi mortar karena sekam padi sering kali lebih murah dibandingkan dengan bahan baku lainnya.

Secara keseluruhan, pembuatan mortar dengan variasi campuran abu sekam padi berpotensi menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan ekonomis dalam industri konstruksi sambil menjawab tantangan terkait dengan penggunaan material bangunan konvensional.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana peran abu sekam padi sebagai pengganti dari sebagian semen. Sehingga, dalam penelitian ini peneliti tertarik untuk meneliti hal ini dengan mengangkat judul **“INVESTIGASI KEKUATAN DAN DAYA TAHAN BETON MENGGUNAKAN ABU SEKAM PADI SETELAH BERUMUR 240 HARI”**.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana kuat tekan beton menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan faktor air semen (FAS) 40% pada 240 hari?
2. Bagaimana nilai daya serap air dan porositas beton menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% pada umur 240 hari?
3. Bagaimana nilai *Sorptivity* beton menggunakan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen pada umur 240 hari?
4. Bagaimana nilai *electrical resistivity* beton menggunakan abu sekam padi sebagai sebagai bahan pengganti semen pada umur 240 hari?
5. Bagaimana Tingkat korosi baja tulangan pada beton dengan metode *half-cell potential* untuk mengindikasikan tingkat korosi yang terjadi pada baja tulangan?
6. Berapakah variasi terbaik abu sekam padi yang dapat menghasilkan nilai kuat tekan beton yang optimal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka diperoleh tujuan penelitian berikut :

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton menggunakan abu sekam padi sebagai bahan tambah, yang lolos saringan nomor 100 dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% umur 240 hari.
2. Untuk mengetahui nilai daya serap dan porositas beton menggunakan abu sekam padi sebagai bahan tambah yang lolos saringan nomor 100 dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% umur 240 hari.
3. Untuk mengetahui nilai *Sorptivity* beton ringan menggunakan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen.

4. Untuk mengetahui nilai electrical resistivity beton menggunakan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen.
5. Untuk mengetahui tingkat korosi baja tulangan pada beton dengan menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti agregat halus.
6. Untuk mengetahui keaktifan abu sekam padi sebagai bahan tambah semen terhadap pembuatan beton normal.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan masukan tentang mutu atau pengaruh kuat tekan beton dengan menambahkan abu sekam padi pada pembuatan beton.
2. Memberikan nilai tambah terhadap abu sekam padi dimana Selama ini merupakan limbah yang sangat minim.
3. Dapat mengetahui pengaruh penggunaan pasir sungai terhadap korosi baja tulangan.
4. Dapat mengetahui metode pengujian korosi baja tulangan beton dengan metode *Half-cell* potensial.
5. Dapat menjadi bahan referensi bagi peneliti selanjutnya khususnya dibidang keteknik sipil.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sangat diperlukan untuk mempermudah arah dan pembagian masalah dalam penelitian ini, yang mana dalam penelitian ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium terpadu Universitas Sulawesi Barat melanjutkan penelitian terdahulu Eka Risqia Salsabila, 2024,
2. Semen yang digunakan adalah semen Tipe 1.
3. Faktor air semen yang digunakan adalah sebesar 40%
4. Agregat halus (pasir) yang digunakan berasal dari sungai Mapilli, Kecamatan Luyo, Kabupaten Polewali Mandar, Sulawesi Barat. Agregat halus digunakan lolos saringan nomor 4.

5. Bahan tambah yang digunakan adalah abu sekam padi (ASP) yang lolos saringan nomor 100, dengan persentase yang digunakan 0%, 10%, 20% dan 30% yang diambil di Desa Arjosari Kecamatan Wonomulyo, Kabupaten Polewali mandar, Sulawesi Barat.
6. Pencampuran dan perawatan menggunakan air tawar yang diambil dari sumur bor di laboratorium terpadu universitas Sulawesi barat.
7. Kuat tekan beton di uji umur 240 hari dengan ukuran kubus 5 x 5 x 5 cm (berdasarkan SNI-03-6825-2002)
8. Uji korosi baja tulangan dengan metode *half cell potential* berdasarkan ASTM-C876-15 dengan bentuk silinder ukuran diameter 5 dengan tinggi 10 cm.
9. Uji porositas dan daya serap dilakukan pada umur 240 hari berdasarkan ASTM C (642-97).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan secara umum, tulisan penelitian ini terbagi dalam 5 (lima) bab yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Manfaat Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup.

BAB I LATAR BELAKANG Bab ini berisi tentang hal –hal mengena latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN Bab ini memuat tentang bagan alur penelitian, tahapan –tahapan yang dilakukan selama penelitian yang meliputi tempat dan waktu penelitian, material dan alat penelitian, prosedur –prosedur penelitian, dan metode pengumpulan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN Bab ini membahas hasil dan data – data penelitian

BAB V PENUTUP Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil yang diperoleh dari penelitian dan disertai dengan saran – saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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

1. Auliarizky Pascasari dkk. 2021, dalam penelitian berjudul “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Mortar” Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar tertinggi terjadi pada variasi 9% dengan nilai kuat tekan sebesar 13,24 MPa, dengan peningkatan persentase sebesar 10,15% dari mortar normal. Nilai kuat tekan mortar terendah terjadi pada variasi 6% dengan nilai kuat tekan sebesar 11,22 MPa, dengan penurunan persentase sebesar 6,66% dari mortar normal. Penggunaan abu sekam padi dengan rentang 9-12% dapat menghasilkan kuat tekan lebih besar dari mortar normal.
2. Mirza Afrian dkk. 2017, dalam penelitian berjudul “Kuat Tekan Mortar OPC Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi” Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen oleh RHA akan meningkatkan ketahanan mortar terhadap suhu tinggi. Variasi penggantian semen oleh RHA sebesar 15% memiliki nilai kuat tekan yang optimum dan mampu bertahan pada suhu 500°C dan 750°C. Pada suhu 250°C mortar dengan berbagai jenis semen mengalami peningkatan kuat tekan dari kuat tekan normal dengan perawatan air biasa. Penambahan RHA yang berlebihan tidak serta merta meningkatkan kuat tekan mortar.

3. Edoardus Satria Wicaksana Putra dkk, 2021, dalam penelitian berjudul “Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan Cairan X Terhadap Kuat Tekan Mortar” Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 7 hari kuat tekan mortar maksimum didapat pada mortar dengan komposisi penambahan cairan x sebesar 0,5 % yaitu sebesar 16 MPa, untuk kuat tekan mortar minum didapat pada mortar dengan komposisi penambahan abu sekam padi sebesar 15% dan lumpur sebesar 10% sebesar 4 MPa dan kuat tekan mortar normal yaitu sebesar 8 MPa. Sedangkan mortar berumur 28 hari didapatkan kuat tekan maksimum pada mortar dengan komposisi penambahan cairan x sebesar 0,5 % yaitu sebesar 22 MPa, untuk kuat tekan mortar minum didapat pada mortar dengan komposisi penambahan abu sekam padi sebesar 15% dan lumpur sebesar 10% yaitu sebesar 6 MPa dan kuat tekan mortar normal yaitu sebesar 12 MPa.
4. Dahlia Patah dan Amry Dasar, 2022, dalam penelitian berjudul "*Strength Performance of Concrete Using Rice Husk Ash (RHA) as Supplementary Cementitious Material (SCM)*" berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tes kekuatan kompresi dilakukan untuk menilai pengaruh RHA sebagai SCM pada beton berbasis kinerja. Kekuatan tekan beton meningkat dengan usia di semua tingkat penggantian semen (CRL). Pada 7, 14, 28, dan 91 hari kekuatan tekan, Beton RHA melewati nilai 25 MPa desain kekuatan. Ini menunjukkan bahwa RHA memiliki potensi untuk bahan berkelanjutan di masa depan. Juga ditemukan bahwa rasio penggantian yang paling menguntungkan dari abu sekam padi adalah 7,5% pada 28 dan 91 hari dengan kekuatan tekan masing-masing 40,65 MPa dan 48,79 MPa. Selanjutnya, hanya RHA dengan rasio pengganti 7,5% pada 91 hari menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tekan.
5. Chao-Lung, Hwang dkk, 2011, dalam penelitian berjudul "*Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete*" Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan data untuk 56 dan 91 hari *curing* menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton dengan jumlah hingga 20%

RHA mencapai nilai yang setara dengan spesimen konkret yang mengendalikan. Dengan rasio air ke pengikat dari 0,23 hingga 0,47, kekuatan tekan pada 28 hari beton RHA dalam rentang 47-66 MPA diperoleh dalam penelitian ini.

2.2 Mortar

2.2.1 Defenisi Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefenisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir) bahan perekat (tanah liat, kapur,semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh jumlah FAS dan perbandingan volume semen dan pasir.Mortar yang digunakan harus dicampur dengan jumlah air yang sesuai agar mendapatkan kualitas yang baik untuk mempermudah pekerjaan. Keleccakan air dalam pekerjaan harus terpenuhi 105%-115% agar penyerapan air dari komponen konstruksi terpenuhi.

Kualitas dan mutu mortar ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan dan alat yang digunakan semakin baik mutu bahan bakunya,komposisi perbandingan campuran yang direncanakan dengan baik dan proses pembuatan yang baik akan menghasilkan mortar yang berkualitas baik pula. Bahan penyusun mortar meliputi semen Portland, pasir, air, dan bahan tambah, Dimana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda.

2.2.2 Sifat-sifat Mortar

Menurut Tjokrodimuljo (1996:126) mortar yang baik harus mempunyai sifat sifat sebagai berikut:

1. Murah
2. Tahan lama
3. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan)
4. Melekat dengan baik dengan batu,bata dan sebagainya
5. Cepat kering dan mengeras
6. Tahan terhadap rembesan air.

7. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang

2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Mortar

1. Kelebihan Mortar

- a. Adukan mortar mudah diangkut dan dicetak dalam bentuk yang diinginkan
- b. Kuat tekan mortar jika dikombinasikan dengan baja akan mampu untuk memikul beban yang berat.
- c. Dalam pelaksanaan tertentu dapat disemprotkan atau dipompakan ke tempat tertentu.
- d. Tahan lama, tidak busuk dan tidak lapuk

2. Kekurangan Mortar

- a. Untuk mendapatkan mortar dengan kuat tekan yang tinggi perlu dilakukan campuran dengan komposisi yang benar antara semen, pasir, dan air
- b. Untuk daerah-daerah tertentu perlu ketelitian dalam membuat komposisi campuran serta perlu ditambahkan bahan tambahan aditif
- c. Kuat Tarik rendah sehingga perlu ditambahkan baja tulangan. Misalnya untuk pondasi pancang.

2.3 Material Penyusun Mortar

2.3.1 Semen

Semen portland merupakan sebuah produk yang diperoleh dengan menghancurkan klinker, terdiri dari kalsium silikat hidrolis yang ditambahkan biasanya ke beberapa kalsium sulfat sebagai bahan tambahan antara permukaan tanah. Saat pertama kali dibuat dan digunakan pada awal abad ke-19 di Inggris, disebut semen portland karena produk hidrasinya menyerupai batu bangunan dari pulau portland dilepas pantai Inggris. Semen Portland mempunyai sifat kohesif dan adhesive apabila bahan ini dicampurkan dengan bahan yang lain maka akan memungkinkan menyatukan menjadi satu kesatuan yang padat seperti batu. Sehingga didalam membangun bangunan/konstruksi banyak menggunakan semen portland sebagai bahan pekerjaan paving block atau beton. Bahan utamapembentuk semen adalah Kapur (CaO) yang berasal dari batu kapur ; Silika (SiO_2) yang

berasal dari lempung alumina (Al_2O_3) yang berasal dari lempung, sedikit magnesium (MgO) dan terkadang sedikit 1 alkali. Untuk mengontrol komposisi ditambahkan oksida besi dan untuk mengatur waktu ikat semen ditambahkan gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

2.3.2 Agregat Halus

Agregat untuk beton dapat berasal dari pasir alam yang merupakan hasil alami dari batuan-batuan yang mengalami disintegrasi alami atau pasir buatan yang dihasilkan melalui alat pemecah batu, agregat ini memiliki ukuran berkisar antara 0,063 hingga 4,76 mm, termasuk pasir kasar dan pasir halus. Menurut SNI 03-6821-2002 terdapat beberapa persyaratan agregat halus yang harus dipenuhi sesuai standar prosedur, sebagai berikut :

1. Pasir terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal artinya tidak mudah lapuk oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10%.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%. Apabila kadar lumpur lebih dari 5%, maka harus dicuci. Khususnya pasir untuk bahan pembuat beton.

Standar Nasional Indonesia (SNI) memberikan ketentuan gradasi untuk pasir. Kekasaran pasir terbagi atas empat kelompok, yaitu pasir halus (zone 4), agak halus (zone 3), agak kasar (zone 2), dan kasar (zone 1) seperti pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Batas-batas gradasi agregat halus

Ukuran Saringan (mm)	Presentase Berat Butiran Lolos Saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV

9,60	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Tabel Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-2000

4. Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Adapun pengujian karakteristik agregat halus adalah sebagai berikut:

a) Analisa saringan

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

- 1) Keringkan pasir yang akan diperiksa dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap kemudian diambil sampelnya sebanyak 1000 g.
- 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 ke dalam saringan paling atas. Penyaringan dilakukan dengan menggoyangkan saringan selama 30 menit bila secara langsung manual dan 10 menit bila menggunakan mesin goyang.
- 5) Diamkan lebih kurang 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 butiran pasirnya.
- 7) Catat hasil percobaan saringan dalam daftar table.
- 8) Lakukan 2 kali percobaan dengan kehilangan berat max. 1% dari berat semula

Perhitungan untuk pengujian gradasi butiran pasir digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ berat tertahan} = \frac{\text{berat bertambah per nomor saringan (gram)}}{\text{jumlah berat total (gram)}} \times 100 \dots (2.1)$$

$$\text{Modulus halus} = \frac{\text{jumlah } \Sigma \% \text{ tertahan}}{100} \dots (2.2)$$

Dimana :

PBT = Persen berat tertahan

MHB = Modulus halus butir

Catatan : Untuk menghitung nilai MHB tidak perlu masukan nilai berat tertahan yang ada pada pan

b) Berat Jenis

Berdasarkan SK SNI 03-1970-1990, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan pasir dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Timbang pasir sebesar 1200 gram.
- 2) Keringkan pasir dalam tungku dengan suhu sekitar $10 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya teteap.
- 3) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 4) Setelah direndam, buang air perendaman dengan hati-hati agar butiran pasir tidak ikut terbang. Keringkan pasir hingga mencapai keadaan kering permukaan (SSD). Untuk mengetahui kondisi SSD tercapai, ambil kerucut kuningan tempatkan di tempat yang rata kemudian masukan sampel $\frac{1}{3}$ bagian, gunakan penumbuk untuk 8 kali dan lapisan ke tiga 7 kali.
- 5) Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gr, ambil 2 sampel
- 6) Timbang piknometer dalam keadaan kosong (K)
- 7) Isi piknometer kosong dengan air sampai penuh kemudian timbangan (B).
- 8) Masukkan pasir kondisi SSD sebanyak 500 gr tadi kedalam piknometer, lalu tambahkan aquades sampai 90% penuh, kocok selama ± 5 menit

dengan di dikocok untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap diantara butur-butir 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 oada piknometer sampai tanda batas penuh 100% agar gelembung udara terbang, lalu timbang piknometer berisi dan aquades dengan ketelitian 1 gr (Bt).
- 10) Timbang talang kososng.
- 11) Tuangkan pasir dari piknometer kedalam talang (wadah) tersebut lalu oven selama 24 jam sampai beratnya tetap.
- 12) Keluarkan sampel dari oven dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering (BK).

c) Berat Isi volume

Berdasarkan SK SNI M-10-1989-F pemeriksaan berat isi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Kondisi lepas/gembur

- 1) Ukur volume container (V_1)
- 2) Timbangan container dalam keadaan kososng (W_1)
- 3) Isi container dengan pasir sampai penuh.
- 4) Ratakan permukaan container dengan alat perata.
- 5) Timbang berat container + pasir (W_2).

Kondisi padat

- 1) Ukur volume container (V_2).
- 2) Timbang berat container dalam keadaan kosong (W_1).
- 3) Masukkan pasir ke dalam container $\pm 1/3$ bagian lalu tumbuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
- 4) Ulangi prosedur (3) untuk lapisan ke2
- 5) Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atasnya container lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali.
- 6) Ratakan permukaannya dengan alat perata.

7) Timbang berat container + pasir (W_2)

d) Kadar Lumpur

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

- 1) Oven pasir sebanyak 1500 gr selama 24 jam lalu ambil kering tungku seberat 500 gr (W_1).
- 2) Setelah ditimbang cuci pasir dengan cara masukkan kedalam saringan No.200 dan diberi air pencuci secukupnya, sehingga benda uji terendam, lalu guncang-guncangkan saringan tadi selama ± 5 menit.
- 3) Ulangi langkah (2) hingga air pencuci tampak jernih/ tidak keruh.
- 4) Masukkan butir pasir yang tersisa di ayakan No.200 kedalam talang dan keringkan kembali dalam oven selama 24 jam dengan suhu 100°C .
- 5) Timbang pasir kering tungku kembali (W_2).
- 6) Selisih berat semula dengan berat setelah dicuci adalah bagian yang hilang (kandungan lumpur atau butiran < 50 micron).
- 7) Percobaan dilakukan 2 kali, kemudian dihitung hasil rata-ratanya.

Perhitungan untuk pengujian gradasi butiran pasir digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{(w_2 - w_1)}{w_1} \times 100 \dots \dots \dots (2.3)$$

e) Kadar Air

Prosedur percobaan untuk kadar air agregat halus (pasir), yaitu:

- 1) Timbang talang kosong yang digunakan.
- 2) Pasir timbang untuk memperoleh berat basah (kondisi lapangan).
- 3) Setelah di itu oven selama 24 jam dengan suhu 100°C .
- 4) Setelah ± 24 jam, dinginkan lalu timbang kembali untuk mendapatkan berat kering.

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

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		SNI M-10-1989-F
	a. kondisi lepas	1,6-1,9 kg/ L	
	b. kondisi padat	1,6-1,9 kg/ L	
4	berat jenis spesifik		SNI 03-1970-1990
	a. B.J. Nyata	1,6-3,2	
	b. B.J. Dasar kering	1,6-3,2	
	c. B.J. Kering permukaan SSD	1,6-3,2	

Sumber: SNI (Standar Nasional Indonesia)

2.3.3 Air

Air yang diperlukan dalam pembuatan mortar untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam mengerjakan mortar. Penggunaan air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut (Standar SK SNI S-0401989-F, Dalam sultan Agung (2011)).

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) leboh dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (C) lebih dari 0,5 gram/liter
5. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada mortar, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :

1. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
2. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm” (Iii, 2002).

2.3.4 Air Laut

Air di laut biasanya disebut sebagai air laut yang merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam, bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut memiliki kadar garam rata-rata sekitar 35.000 ppm atau 35 g/liter, , artinya dalam 1 liter air laut (1000 ml) terdapat 35 gram garam. Kandungan kimia utama dari air laut adalah klorida (Cl), natrium (Na), magnesium (Mg), Sulfat (SO₄). Nilai pH air laut bervariasi antara 7,5 – 8,5. Air laut umumnya dapat menyebabkan kerusakan mortar baik dengan reaksi fisik maupun reaksi kimia. Korosi yang disebabkan oleh klorida pada baja tulangan semakin penting di banyak negara karena meningkatnya penggunaan pasir laut dan air laut untuk konstruksi berat struktur laut. Beberapa teknik perlindungan telah dikembangkan termasuk pemanfaatan Bahan Semen Tambahan (SCM) untuk meningkatkan ketahanan korosi dari serangan klorida (Patah dkk., 2022).

Proses hidrasi semen, selain menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang bersifat sebagai perekat juga menghasilkan kalsium hidroksida atau Ca(OH)₂. Magnesiumsulfat (MgSO₄) merupakan bahan kimia dalam air laut yang paling berpengaruh terhadap agresi pada mortar. Bahan ini bereaksi dengan kalsium

hidroksida atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam semen membentuk kalsium sulfat (CaSO_4) dan magnesium hidroksida atau $\text{Mg}(\text{OH})_2$. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ini dapat menimbulkan magnesia expansion yang menyebabkan pemuaian atau pengembangan volume pada mortar karena memiliki volume yang lebih besar. Hal ini menyebabkan mortar menjadi mudah retak atau hancur. Kadar garam pada air laut (salinitas) diukur jumlah material yang terlarut dalam tiap kilogram air laut atau setara dengan (1/1000). Menurut Emmanuel (2012), bahwa salinitas menggambarkan jumlah material yang terlarut dalam air laut, menurut berkisar antara 3,4-3,5%. 2.4.

2.3.5 Abu sekam padi

Abu sekam padi merupakan bagian pelindung terluar dari padi (*Oryza sativa*). Dari proses penggilingan dihasilkan sekam sebanyak 20-30%, dedak 8-12% dan beras giling 52% bobot awal gabah (Hsu dan Luh, 1980). Pada proses penggilingan padi, sekam padi terpisah dari butiran beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Karena bersifat abrasiv, nilai nutrisi rendah, bulk density rendah, serta kandungan abu yang tinggi membuat penggunaan abu sekam padi terbatas. Diperlukan tempat penyimpanan yang luas sehingga biasanya sekam padi dibakar untuk mengurangi volumenya. Jika hasil pembakaran sekam padi ini tidak digunakan akan menimbulkan masalah lingkungan.

Banyaknya penggunaan mortar dalam bidang konstruksi membuat upaya mutu mortar yang baik dan ekonomis, salah satu upaya tersebut adalah dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai bahan tambah pengganti semen pada mortar. Abu sekam padi pada penelitian ini diaplikasikan sebagai bahan tambah pengganti semen dalam pembuatan mortar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan mortar, porositas dan permeabilitas dengan menggunakan abu sekam padi sebagai bahan tambah semen.

2.4 Kuat Tekan

Kuat tekan mortar menurut (SK SNI 03-2834-2000) adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan mortar ditentukan

oleh perbandingan semen, agregat, air dan berbagai campuran lainnya. Perbandingan air terhadap semen merupakan factor utama dalam menentukan kuat tekan mortar.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

f_c = Kuat tekan mortar dengan benda uji silinder (Mpa)

P = Gaya tekan aksial (Newton, N)

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

Dalam penelitian ini, kuat tekan mortar diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c dengan satuan N/mm^2 atau Mpa (Mega pascal).

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

- a. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas mortar.
- b. Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
- c. Perawatan mortar harus diperhatikan sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- d. Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.

2.5 Electrical resistivity

Mortar adalah bahan komposit berpori dan tergantung pada kadar air (yaitu, tingkat kejenuhan pori-pori), mortar dapat karakteristiknya menunjukkan konduktif dan isolasi. Misalnya, sampel mortar mungkin menunjukkan hambatan listrik yang sangat tinggi ketika kering, tetapi mortar yang sama akan memiliki hambatan yang jauh lebih rendah dalam kondisi jenuh. Selain itu mortar memiliki sifat kapasitif, yang berarti dapat menahan muatan listrik karena arus searah (DC) dapat menyebabkan efek polusi tinggi pada antar muka elektroda- mortar serta di dalam spesimen pada antarmuka pori-solusi ke fase padat. Berdasarkan model yang

diusulkan, teknik pengukuran yang berbeda telah dikembangkan, termasuk teknik dua titik uniaksial dan empat titik (Ghods dkk., 2015). 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).

Metode uniaksial mortar ditempatkan di antara dua elektroda (biasanya dua pelat logam paralel) dengan kontak spons basah pada antarmuka untuk memastikan sambungan listrik tepat. Arus AC diterapkan dan menurun potensial antara elektroda diukur. Persamaan menjelaskan faktor geometri yang digunakan dalam teknik uniaksial.

$$\rho = \frac{R.A}{L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

- ρ = Resistivitas (Ωm)
- R = Resistensi (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.

Tabel 2.3 Kriteria resistivitas terkait resiko korosi

Resistivity ($\text{k}\Omega\text{-cm}$)	Risk level
> 100 – 200	Very low corrosion rate even if chloride contaminated
50 – 100	Low corrosion rate
10 – 50	Moderate to high corrosion rate
< 10	High corrosion rate; Resistivity is not the controlling parameter

Sumber : Feliu dkk. 1996

2.6 Porositas dan Daya Serap Air

Porositas beton merupakan suatu perbandingan volume void (pori) terhadap volume total. Porositas juga disebut tingkat kepadatan pada konstruksi beton. Tingginya tingkat kepadatan berpengaruh terhadap besar kuat tekannya. Semakin besar nilai porositas maka kuat tekan betonnya semakin kecil. Persentase dari porositas beton berpori sekitar 30%, tingginya nilai persentase mengindikasikan beton memiliki ruang kosong yang cukup dengan adanya atau tidak digunakan agregat halus pada campurannya.

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

- A = Berat sampel dalam air (gram)
- B = Berat sampel kondisi permukaan jenuh (gram)
- C = Berat sampel kering oven (gram)

Pengujian daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton untuk menyerap air ketika direndam dalam air hingga memiliki massa jenuh. Pengujian daya serap air dilakukan bersamaan dengan pengujian porositas (Oktora & Mahyudin, 2022). Campuran mineral mortar yang terkontaminasi klorida meningkatkan kekuatan tekan dan porositas tetapi dengan tingkat yang berbeda tergantung pada jenis pengikatnya (Patah dkk, 2020).

Nilai daya serap air didapat dengan menggunakan Persamaan:

$$\text{Daya serap air} = \frac{B-C}{C} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

- B = Berat SSD/ kering permukaan (setelah di rendam dalam air)
- C = Berat kering setelah oven.

2.7 Sorptivity

Sorptivity menjadi salah satu indikator dalam menentukan proses transportasi materi yang dilakukan baik dinilai dari kecepatan penyerapan air dalam pori-pori

mortar. Sorptivity salah satu parameter untuk mengavluasi kinerja proses transportasi materi dari mortar yang dihasilkan dengan menilai kuliatas dan daya tahan dalam waktu jangka panjang. Ketika pengecoran mortar, ditemukan bahwa komposisi zona permukaan adalah tidak sama dengan sebagian besar bagian dalam mortar karena air akan mengalami bleeding yang cenderung bergerak ke atas. Dalam kasus tersebut, zona permukaan mungkin berpori dan permaebel disebabkan oleh akumulasi air dan udara di antarmuka dengan bekisting tersebut (Akmalia dkk., 2016)

Pada penelitian ini sorptivity diukur selama empat jam, beton yang diuji yaitu beton kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan umur 91 hari. Pengujian sorptivity bertujuan untuk menentukan tingkat penyerapan air ke dalam mortar (Sormin dkk., 2013). Nilai sorptivity didapat dengan menggunakan persamaan :

$$I = \frac{mt}{(a \times d)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- I = Sportivity (mm/s^{1,2})
- Mt = Mass Time (gram)
- A = 2500 mm² (Luas Permukaan kontak)
- d = Berat jenis , 0,001 g/mm³

2.8 Korosi baja tulangan

2.8.1 Definisi korosi

Menurut Roberge (2004), mendefinisikan korosi merupakan peristiwa logam karena reaksi lingkungannya. Sedangkan menurut Gunaltun (2005), mendefinisikan bahwa korosi merupakan fenomena elektro kimia dan hanya menyerang logam. Akibat munculnya karatan menyebabkan lapisan pasif yang ada pada permukaan hilang sehingga menjadi anoda dari reaksi korosi baja tulangan. Hal ini telah di teliti oleh (Patah dkk., 2023) menjelaskan bahwa semua spesimen yang dicampur dengan air laut, pasir sungai, dan berbagai rasio substitusi RHA (0%, 5%, 10%, dan 15%) menunjukkan korosi, sebagaimana dikonfirmasi oleh metode HCP. Namun, hanya spesimen yang dicampur dengan air ledeng, pasir

laut, dan penambahan 5% RHA yang menunjukkan ketahanan efektif terhadap korosi, sebanding dengan beton normal. Reaksi anoda ini melepaskan elektron yang menyebabkan gas O₂ dan air di atas permukaan baja yang masih tertutup lapisan pasif dan akan bereaksi sehingga pada bagian ini menjadi katoda. Dari ion anoda dan katoda yang telah terbentuk dan bergabung sehingga membentuk senyawa hasil korosi yaitu Fe(OH)₂, jika konsentrasi O₂ tinggi maka akan membentuk Fe(OH)₃. Jika ditinjau berdasarkan proses reaksi elektro kimia (*electrochemical process*), korosi terdiri dari 4 komponen yaitu:

1. Anode

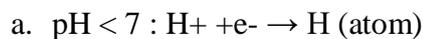
Anode biasanya terkorosi dengan cara melepaskan elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anode dapat ditulis dengan persamaan:



Dimana z adalah valensi logam dengan umur $z = 1, 2$ atau 3

2. Cathode (Katode)

Katode terkadang tidak mengalami korosi, walaupun mungkin mengalami kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katode berupa reaksi induksi dan reaksi tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti:



3. Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang memiliki sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basadan larutan garam. Larutan elektrolit memiliki peranan penting dalam mempengaruhi korosi baja karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.

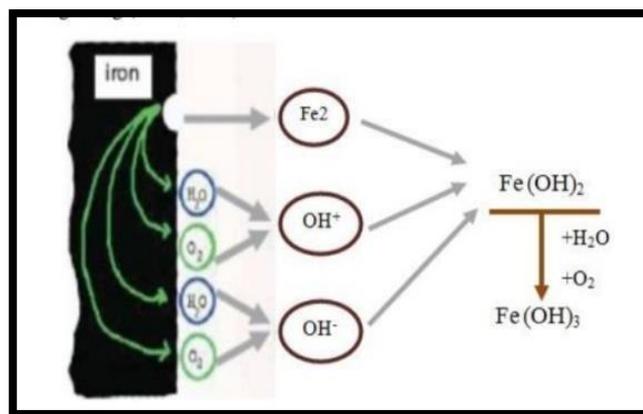
4. Anoda dan Katoda

Anoda dan katoda harus terhubung secara elektris, antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak perlu dilakukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

2.8.2 Mekanisme pada korosi

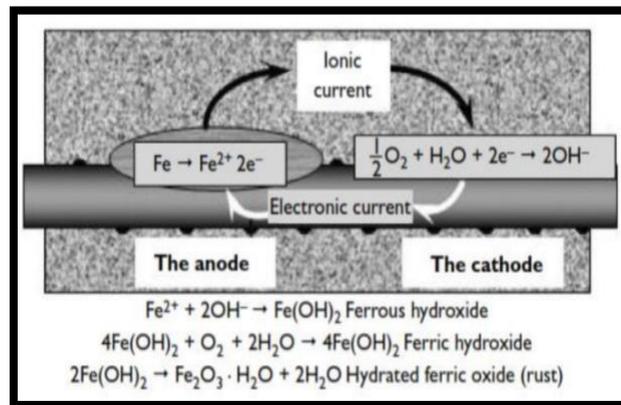
Korosi adalah degradasi material khususnya logam dan paduannya atau sifatnya akibat berinteraksi dengan lingkungan. Secara umum mekanisme korosi yang terjadi pada suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan berfungsi sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah melepas H_2 dan reaksi O_2 , akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Mortar yang terkontaminasi klorida yang dinyatakan dalam berat total mortar lebih mudah dibaca untuk mengevaluasi korosi batang baja dengan menggunakan teknik elektrokimia. Selain itu, rasio air terhadap semen memengaruhi perilaku elektrokimia dan area yang terkorosi (Patah dkk, 2018).

Reaksi ini akan terjadi dipermukaan logam yang menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam kedalam larutan secara berulang-ulang. (Muchlisin Riadi, 2019)



Gambar 2.1 Mekanisme korosi (Sumber : Muchlisin Riadi, 2019)

Ketika karatan mulai timbul pada baja maka disaat itulah lapisan pasif pada baja tulangan akan hilang. Atom besi akan terionisasi menjadi ion besi (Fe^{2+}) yang larut dalam larutan air disekitar baja. Electron disimpan pada permukaan baja dan potensial listrik meningkat. Reaksi-reaksi yang terjadi pada tulangan saat terjadinya proses korosi merupakan reaksi anoda dan katoda. Reaksi anoda dan katoda saat proses korosi terjadi pada baja tulangan dapat diilustrasikan pada gambar 2.2 berikut



Gambar 2.2 Reaksi Anoda, Katoda, Reaksi Oksidasi Dan Hidrasi Pada Tulangan Baja (*Sumber: Broomfield, 2007*)

1. Faktor-Faktor Penyebab Korosi

Secara umum proses korosi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan antara lain:

a. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibat laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan semakin cepat, begitu juga sebaliknya. (Fogler, 1992).

b. Kecepatan Alir Fluida Atau Kecepatan Pengadukan

Laju korosi akan cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran

fluida bertambah besar. Hal ini karena kontar antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan semakin banyak yang lepas sehingga logam akan semakin mengalami korosi.

c. Konsentrasi Bahan Korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman atau kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam akan sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada dalam larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sehingga larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda. (Djaprie, 1995).

d. Oksigen

Adanya oksigen yang terdapat dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab, sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi. (Djaprie, 1995).

e. Waktu Kontak

Aksi inhibitor diharapkan bisa membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan penambahan inhibitor kedalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama.

2.8.3 Metode pengujian korosi beton bertulang

Untuk mendeteksi korosi tulangan mortar digunakan metode *Half-cell potensial*, uji *Half-cell* potensial adalah satu-satunya Teknik pemantauan korosi yang distandarisasi dalam ASTM C876-15. Metode uji standar untuk potensi korosi baja penguat tanpa pelapis pada mortar ini digunakan untuk menentukan kemungkinan korosi pada tulangan terhadap struktur mortar atau beton bertulang.

Berdasarkan ASTM C876-91 1999, metode pengujian ini mencakup estimasi kelistrikan potensi setengah sel dari baja 42 tulangan yang tidak dilapisi dilapangan dan mortar di laboratorium, dengan tujuan mengaktifkan aktivitas korosi pada baja

tulangan. Metode pengujian ini dibatasi oleh sirkuit listrik dan sebuah permukaan mortar yang telah mengering sebatas elektrik yang permukaannya dilapisi dengan bahan dielektrik tidak dilapisi sehingga menyediakasn sirkuit listrik yang diterima. Nilai yang dinyatakan dalam satuan inchi-pound harus diperhatikan sebagai stndar pengujian.

Secara umum, pengujian *Half-cell potensial* berdasarkan ASTM C878-1999, dilakukan sebagai berikut:

a. Half-Cell

1. Setengah setengah sel tembaga-tembaga sulfat terdiri dari tabung atau wadah kaku yang terdiri dari bahan dielektrik yang tidak reaktif dengan tembaga atau tembaga sulfat, sumbat kayu atau plastic berpori yang tetap basah oleh aksi kapiler, dan batang tembaga yang dibenamkan di dalam tabung dalam larutan jenuh tembaga sulfat. Meskipun kondisi korosi tetap pasif di semua spesimen, spesimen dengan abu terbang dan terak tanur tinggi menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam pemulihan tingkat kapasifan dan nilai potensi setengah sel dari batang baja (Patah dkk, 2020).
2. Tabung atau wadah kaku harus memiliki diameter dalam tidak kurang dari 1 inci (25mm); diameter sumbat berpori tidak boleh kurang dari ½ inci (13 mm); diameternya jumlah batang tembaga yang dibenamkan tidak kurang dari ¼ inci (6mm), dan panjangnya tidak boleh kurang dari 2 inci (50 mm)

b. Elektrical Junction Device

Sambungan listrik perangkat harus digunakan untuk menyediakan jembatan cairan dengan hambatan listrik rendah antara permukaan beton dan setengah sel. Ini harus terdiri dari spons atau beberapa spons yang telah dibasahi sebelumnya dengan larutan kontak resistensi listrik rendah.

c. Elektrical Junction Device

Untuk standarisasi potensi penurunan melalui bagian mortar dari sirkuit,larutan kontak listrik .

d. Voltmeter

Voltmeter harus berkapasitas sedang, dioperasikan dengan baterai dan

memiliki akurasi akhir skala 63% pada rentang voltase yang digunakan. Impedans masukan harus tidak kurang dari 10 mv bila dioperasikan pada skala penuh 100 mV. Pembagian pada skala yang digunakan harus sedemikian rupa sehingga beda potensial 0,02 V atau kurang dapat dibaca tanpa interpolasi.

e. Electrical Lead Wires

Kabel timah listrik harus berukuran sedemikian sehingga tahanan listriknya selama yang digunakan tidak akan mengganggu rangkaian listrik lebih 0,0001 v. ini telah dicapai dengan menggunakan tidak lebih dari total 500 linear ft (150 m) of at least AWG No. 24 wire. The Wire shall be suitably coated with direct burial type of insulation . kriteria korosi berdasarkan metode half-cell potensial mapping ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Kriteria Korosi Berdasarkan Metode *Half-cell Potential*

No	Cu/CuSO ₄	Ag/AgCl	Standar Hidrogen	Calomel	Kondisi Korosi
1.	>200 mV	<-106 mV	>200 mV	>126 mV	Rendah (10 % resiko korosi)
2.	-200 to <-350 mV	-106 to-200 mV	+116 to-34 mV	126 to-276 mV	Resiko korosi menengah
3.	<-350 mV	>-256 mV	<-35 mV	<-276 Mv	Tinggi (<90 % resiko korosi)
4.	<-500 mV	>-406 mV	<-184 mV	-426 mV	Resiko korosi sangat tinggi

Sumber : *ASTMc976-99*

Hasil pembacaan berupa beda potensial (mV), semakin tinggi beda potensial maka semakin tinggi indikasi korosi di dalam mortar. Selain melihat indikasi korosi yang terjadi, nilai potensial juga menjadi acuan dalam menentukan kering tidaknya mortar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrian, M., Olivia, M., & Djauhari, Z. 2017, *Kuat Tekan Mortar OPC Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Akmalia, R., Olivia, M., & Kamaldi, A. 2016, *Kuat Tekan dan Sorptivity Beton Dengan Serbuk Kulit Kerang (Anadara Granosa)* (Doctoral dissertation, Riau University)
- ASTM International Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates. 2014, *Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-compensating Concrete 1*. ASTM International.
- ASTM standard . 2015, Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*.
- ASTM standard C. 2003, Standard specification for concrete aggregates. *Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials*.
- ASTM standard C642, A. 2013, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. *ASTM, ASTM International*.
- ASTM standard C876. 2015, Standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*
- ASTM standard. 1990, Standard test method for thermal performance of building assemblies by means of a calibrated hot box. *C976-90*.
- Badan Standar Nasional S. 2012, SNI 7656: 2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*.
- Badan Standar Nasional. 1989, SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam. *Jakarta: BSN*.
- Badan Standar Nasional. 1990, SNI 03-1968-1990: Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat. *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*.
- Badan Standar Nasional. 1992, SNI 03-2816-1992. *Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton*.

- Badan Standar Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *BSN, Jakarta.*
- Badan Standar Nasional. 2002, SNI 03-6821-2002: Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding.
- Badan Standar Nasional. 2002, SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. *Jakarta: BSN.*
- Badan Standar Nasional. 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. *Bandung Badan Stand. Nas, 251.*
- Badan Standar Nasional. 2011, Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium (SNI 2493: 2011). *Jakarta: Dewan Standardisasi Nasional.*
- Badan Standar Nasional. 2019, SNI 2847: 2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 694.*
- binti Kamarulzaman, K., Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., Sagawa, Y., Fukunaga, T., & Yamamoto, D. (2020). Polarization Characteristics of Steel Bar in Chloride Contaminated Mortar Mixed with Fly Ash and Blast Furnace Slag for Corrosion Prevention: 3 years' test result.
- Chao-Lung, H., Le Anh-Tuan, B., & Chun-Tsun, C. 2011, Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *Construction and building materials, 25(9), 3768-3772.*
- Coleman, Z. W., Jetzel, C. M., & Schindler, A. K. 2022, *Evaluation of Nondestructive Test Methods to Assess the In-Place Condition of Concrete Structures.* ALDOT Research Report ALDOT 930-951. Alabama Department of Transportation, Montgomery.

- 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. 1989, SK SNI M 10 1989 F, Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, Yayasan LPMB, Bandung
- Emmanuel, A. O., Oladipo, F. A., & Olabode, O. 2012, Investigation of salinity effect on compressive strength of reinforced concrete. *Journal of sustainable development*, 5(6), 74-82.
- Layssi, H., Ghods, P., Alizadeh, A. R., & Salehi, M. 2015, Electrical resistivity of concrete. *Concrete international*, 37(5), 41-46.
- Oktora, D. M., & Mahyudin, A. 2022, Karakterisasi Papan Beton Ringan Berpenguat Batang Jagung. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 442-447.
- Pascasari, A., Wahyuni, A. S., Islam, M., Gunawan, A., & Afrizal, Y. 2021, Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 84-88.
- Patah, D., & Dasar, A. (2023, September). The Impact of using Rice Husks Ash, Seawater and Sea Sand on Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete. In *Journal of the Civil Engineering Forum* (pp. 251-262).
- Patah, D., & Dasar, A. 2022, Strength Performance of Concrete Using Rice Husk Ash (RHA) as Supplementary Cementitious Material (SCM). In *Journal of The Civil Engineering Forum* (pp. 261-276).
- Patah, D., Dasar, A., & Hamada, H. (2022, November). Electrochemical consideration on corrosion performance of steel bar embedded in SCMs mortar with initial chloride contaminated. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2543, No. 1). AIP Publishing.

- Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., & Astuti, P. (2021, February). Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride Contaminated Mortar. In 4th International Conference on Sustainable Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020) (pp. 60-63). Atlantis Press.
- Patah, D., Hamada, H., & Dasar, A. (2020, June). Effects of Mineral Admixtures on Pore Structure and Compressive Strength of Mortar Contaminated Chloride. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 875, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Patah, D., Hamada, H., Yamamoto, D., & Sagawa, Y. (2018). 6 Years'evaluation Of Electrochemical Characteristics Of Steel Bar In Chloride Contaminated Mortar. セメント・コンクリート論文集, 71(1), 402-409.
- Putra, E. S. W., & Prayoga, A. E. 2021, *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Dan Cairan X Terhadap Kuat Tekan Mortar* (Doctoral dissertation, Universitas Katholik Soegijapranata Semarang).
- Riadi, M. 2019, *Korosi/Pengkaratan (Reaksi, Jenis, Penyebab dan Perlindungan)*. *KajianPustaka.com*.
- Sormin, L. S., Olivia, M., & Syaputra, E. 2013, *Porositas dan Sorptivity Beton OPC dan Beton OPC Pofa dengan Perbaikan Air Gambut Sebagai Air Pencampur Menggunakan Kapur Tohor di Lingkungan Gambut* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Standarisasi Nasional. 1990, SNI 03-1970-1990. *Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional.
- Standarisasi Nasional. 2002, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*, BSN.

Standarisasi Nasional. M-08-1989-F. *Metode Pengujian Tentang Analisa Saringan Agregat Halus Dan Kasar, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.*