

SKRIPSI

**KEKUATAN DAN DURABILITAS BAJA TULANGAN PADA
BETON MENGGUNAKAN PASIR PANTAI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Program Studi Teknik Sipil



Disusun oleh:

NUR NANENGSU

D01 20 375

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULAWESI BARAT

MAJENE

2024

ABSTRAK

**KEKUATAN DAN DURABILITAS BAJA TULANGAN PADA
BETON MENGGUNAKAN PASIR PANTAI**

NUR NANENGI

Teknik Sipil, Universitas Sulawesi Barat (2023)

nranengsihsuarman4329@gmail.com

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat dibidang konstruksi seperti penggunaan beton. Perkembangan konstruksi di Indonesia dimana hampir 70% bahan bangunannya adalah beton. Kemajuan teknologi tersebut menuntut penggunaan bahan maupun agregat alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kekuatan dan durabilitas baja tulangan pada beton menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus. Untuk menilai perilaku mekanik beton pada umur 7,28, dan 91 hari maka metode dalam penelitian ini, digunakan metode pengujian kuat tekan beton, porositas dan daya serap menggunakan benda uji silinder 10 x 20 cm dan migration test serta penetrations depth dengan menggunakan benda uji silinder ukuran 5 x 10 cm. Uji korosi menggunakan uji benda silinder ukuran 5 x 10 cm dan kubus ukuran 10 x 10 x23 cm.

Dalam penelitian ini didapatkan hasil nilai kuat tekan beton variasi N-RS-T lebih besar dibandingkan variasi N-SS-T, nilai porositas dan daya serap menggunakan pasir pantai lebih rendah dibandingkan menggunakan pasir sungai, dan pada pengujian korosi kedua sampel tersebut mengalami 90% korosi pada benda uji kubus sedangkan benda uji silinder masih tergolong korosi tingkat rendah. Untuk Nilai migration pada 2 variasi tersebut termasuk dalam kategori penetrasi ion klorida tinggi (high) dimana dalam kategori ini nilai column yang dilalui > 4000.

Kata Kunci: Beton, pasir pantai, pasir sungai, migration test, korosi

ABSTRACT

**STRENGTH AND DURABILITY OF REINFORCING STEEL IN
CONCRETE USING BEACH SAND**

NUR NANENGS

Civil Engineering, University of West Sulawesi (2023)

nranengsihsuarman4329@gmail.com

Technological advances are developing rapidly in the construction sector, such as the use of concrete. Construction developments in Indonesia where almost 70% of building materials are concrete. These technological advances require the use of alternative materials and aggregates that are sustainable and environmentally friendly.

This research was conducted to determine the comparison of strength and durability of reinforcing steel in concrete using beach sand as fine aggregate. To assess the mechanical behavior of concrete at the ages of 7, 28 and 91 days, the method used in this research is to test concrete compressive strength, porosity and absorption using a 10 x 20 cm cylindrical specimen and migration test and penetrations depth using a cylindrical specimen. size 5 x 10 cm. The corrosion test uses cylindrical objects measuring 5 x 10 cm and cubes measuring 10 x 10 x 23 cm.

In this research, the results showed that the compressive strength value of concrete from the N-RS-T variation was greater than the N-SS-T variation, the porosity and absorption values using beach sand were lower than using river sand, and in the corrosion test both samples experienced 90% corrosion on the cube test object while the cylinder test object is still classified as low level corrosion. The migration values in these 2 variations are included in the high chloride ion penetration category, where in this category the value of the column passed is > 4000.

Keywords: Concrete, beach sand, river sand, migration test, corrosion

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat dibidang konstruksi seperti penggunaan beton, dimana di Indonesia hampir 70% bahan bangunannya adalah beton. Beton merupakan salah satu bahan bangunan konstruksi yang sering digunakan pada bangunan gedung, jembatan, jalan, bendungan, dan lain-lain. Kemajuan teknologi beton menuntut penggunaan bahan maupun agregat alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pasir merupakan bahan utama dalam pembuatan beton, dimana pasir sungai paling banyak digunakan. Disetiap tahunnya pasir sungai digunakan dalam jumlah yang besar untuk pembuatan beton. Pasir sungai yang menjadi bahan bangunan utama dalam konstruksi mengakibatkan produksi beton mengkonsumsi beberapa miliar ton pasir sungai setiap tahun yang menyebabkan ekosistem akan terganggu dan produksi pasir sungai menjadi terbatas.

Indonesia merupakan negara maritim dengan lebih dari 3.700 pulau dan 80.000 km pantai, dengan karakteristik kualitas pasir laut yang berbeda-beda. Pasir pantai umumnya memiliki butiran halus, bulat, gradasi teratur dan mengandung kadar garam yang kurang baik untuk beton. Tetapi beberapa peneliti sebelumnya berpendapat bahwa pasir pantai bisa menjadi alternatif pengganti pasir sungai dalam pembuatan beton. Limeira dkk (2012) menyimpulkan bahwa nilai *slump* mortar menurun dengan meningkatnya kandungan pasir laut. Sebagian besar peneliti telah sepakat bahwa usia dini kuat tekan beton pasir laut sedikit lebih tinggi dari beton biasa (Ramaswamy dkk., 1982).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini dicoba dilakukan eksperimen untuk pemanfaatan pasir pantai pada pembuatan beton normal. Dengan digunakannya pasir pantai sebagai agregat halus, diharapkan dapat

menghasilkan beton dengan keunggulan seperti kekuatan tinggi, dapat menyesuaikan kebutuhan, dan ramah terhadap lingkungan.

Berangkat dari latar belakang diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian dengan judul “*kekuatan dan durabilitas baja tulangan pada beton menggunakan pasir pantai*”.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memanfaatkan pasir pantai sebagai agregat halus dalam pembuatan beton normal dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pasir pantai terhadap kuat tekan beton pada umur 7, 28, dan 91 hari ?
2. Bagaimana nilai porositas beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus?
3. Bagaimana nilai daya serap beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus?
4. Bagaimana tingkat korosi baja tulangan pada beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus?
5. Bagaimana nilai migration test beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus?
6. Bagaimana nilai penetration depth beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka diperoleh tujuan penelitian berikut:

1. Untuk mengetahui hasil kuat tekan beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus.
2. Untuk mengetahui nilai porositas dan daya serap beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus.
3. Untuk mengetahui tingkat korosi baja tulangan pada beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus.

4. Untuk mengetahui nilai migration test beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus.
5. Untuk mengetahui nilai penetration depth beton normal menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tambahan tentang pemanfaatan pasir pantai sebagai agregat halus campuran beton dan memberikan informasi terhadap pemerhati dan pelaku dunia konstruksi bahwa pasir pantai memungkinkan sebagai pengganti pasir sungai.

1.5 Batasan masalah

Agar permasalahan dalam penelitian ini tidak terlalu luas, maka ruang lingkup pembahasannya dibatasi sebagai berikut:

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 pasir pantai yang digunakan berasal dari kecamatan Pamboang, Kabupaten Majene yang lolos saringan nomor 4.
4. Material pasir sungai yang digunakan berasal dari Desa Segerang Kecamatan Mapilli yang lolos saringan nomor 4.
5. Semen yang digunakan adalah semen portland komposit (PCC) tipe 1.
6. Air yang digunakan adalah air tawar yang berasal dari sumur bor Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat.
7. Benda uji silinder dengan diameter 10cm dengan tinggi 20cm dan silinder diameter 5 cm dengan tinggi 10cm.
8. Benda uji kubus dengan 3 tulangan diameter 10 mm dengan tinggi 10 cm, lebar 10 cm, dan panjang 23 cm.

9. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 28, dan 91 hari berdasarkan SNI 1974-2011.
10. Pengujian korosi baja tulangan beton dengan metode half-Cell Potensial berdasarkan ASTM C867-15 setiap pekan.
11. Pengujian migration test dilakukan pada umur 91 hari berdasarkan ASTM-C-1202.
12. Pengujian porositas dilakukan pada umur 28 hari berdasarkan ASTM C (642-97).

1.6 Sistematika penulisan

Dalam proses penyusunan proposal penelitian sistematika penulisan sangat dibutuhkan agar penulis dapat menyelesaikan dengan terstruktur. Dalam penulisan proposal penelitian ini ada beberapa tahap sistematika penulisan diantaranya sebagai berikut:

BAB I LATAR BELAKANG

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil dan data – data Penelitian.

BAB V PENUTUP

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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

1. “Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping, Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton” (Dahlia patah, Amry Dasar, & Amalia Nurdin.,2022). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Penggunaan pasir laut yang dicuci dengan menggunakan batu gamping 50% dan dicampur air laut dapat meningkatkan kekuatan hingga 50% dari beton normal dan resiko korosi sama dengan beton normal. Lebih lanjut, penggunaan air laut menurunkan nilai kuat tekan beton pada banyak kondisi, namun dapat meningkatkan kuat tekan pada penggunaan batu gamping 100%.
2. “Karakteristik Beton Dengan Campuran Pasir Pantai Sebagai Agregat Halus” (Muhammad Rifki, Sri Haryanti Prasetiowati, Edy Maduqi, & Agustina Setyaningrum., 2023) Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Beton dengan pasir pantai yang telah dicuci (benda uji benda uji B) mengalami penurunan sebesar 9,4% dari beton dengan pasir sungai (benda uji A). Untuk beton dengan menggunakan pasir pantai yang dicuci dengan menambah komposisi pasir pantai dan mengurangi komposisi kerikil (benda uji C) menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton sebesar 27,4% dari beton dengan dengan pasir sungai (benda uji A) dan 19,86% dari benda

uji B dengan pasir pantai yang dicuci sehingga penambahan komposisi pasir pantai tanpa dicuci akan menurunkan nilai kuat tekannya. Pada beton dengan pasir laut tidak dicuci dengan penambahan komposisi pasir pantai (benda uji D) nilai kekuatan beton mengalami penurunan sebesar 23,18% terhadap benda Uji A (beton normal dengan pasir sungai) dan 15,25 % terhadap benda uji B (beton dengan pasir laut yang dicuci).

3. “Pemanfaatan Pasir Pantai Sinjai Sebagai Bahan Material Alternatif Campuran Beton” (Mukti Maruddin, Baso Risaldi Asdin, & Muh. Thaariq Kemal Harsid., 2019)) Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Hasil nilai kuat tekan rata-rata yang diperoleh menggunakan material pasir pantai yang sebelum dicuci sebesar 16,306 Mpa dan sesudah dicuci sebesar 24,236 Mpa dan Hasil nilai kuat tarik rata-rata yang diperoleh oleh beton yang menggunakan material pasir pantai yang belum dicuci sebesar 1,98 Mpa dan sudah dicuci sebesar 2,12 Mpa. Dari hasil uji kuat tekan beton serta kuat tarik belah beton diatas, didapatkan bahwa setelah dicuci mengalami kenaikan dibandingkan sebelum dicuci.
4. “Analisa Penggunaan Pasir Pantai Natal, Dengan Campuran Cangkang Buah Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton Normal” (Heprianto Sianturi, Mhd. Rahman Rambe, & Fithriyah Patriotika). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa penurunan nilai kuat tekan beton yang menggunakan pasir pantai Natal dengan campuran cangkang buah sawit dari nilai kuat tekan beton normal yang menjadi pembandingnya. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 7, 14, 28 hari dengan menggunakan pasir pantai dengan campuran cangkang buah sawit secara berturut turut sebesar 2,97 MPa, 4,87 MPa, 6,66 MPa. Kuat tekan rata-rata beton normal pada umur 7, 14, 28 hari secara berturut turut sebesar 9,20 MPa, 7,56 MPa, 12,14 MPa untuk beton berbentuk silinder. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapati hasil penurunan mutu beton maka untuk beton yang menggunakan pasir

pantai dengan campuran cangkang buah sawit agar dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kegunaan cangkang buah sawit tersebut dan mempertimbangkan resiko penurunan nilai kuat tekan beton yang direncanakan.

5. “Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Pasir Pantai dan Penambahan Fly Ash Limbah Pembakaran Batubara Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton” (Setiyadi, Ashal Abdussalam & MT., 2019). Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Proporsi campuran optimal dari penelitian ini terdapat pada komposisi pasir pantai yang sudah dicuci dan fly ash limbah batubara 7,5% terhadap berat semen dengan nilai kuat tekan sebesar 19,126 N/mm². Terjadi penurunan dari nilai kuat tekan beton normal yaitu 23,235 N/mm², nilai kuat tekan tersebut juga belum lolos dari nilai kuat tekan rencana sebesar 20,75 N/mm². Beton hasil penelitian kali ini bisa digunakan/diterapkan untuk menekan biaya konstruksi yang lebih rendah khusus untuk daerah sekitar pantai tapi tidak di anjurkan untuk beton bertulang karena dimungkinkan bisa merusak/membuat korosi besi beton yang ada di dalam beton tersebut karena dimungkinkan masih adanya kandungan garam pada pasir pantai.

Tabel 2.1 Peneliti terdahulu dengan penelitian penulis

NO	Penelitian Terdahulu	Kesimpulan Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	(Dahlia patah, Amry Dasar, & Amalia Nurdin.,2022) Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping,	Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Penggunaan pasir laut yang dicuci dengan menggunakan batu gamping 50% dan dicampur air laut dapat meningkatkan	Pasir pantai sebagai Agregat halus	Jenis agregat kasar dan air yang digunakan

	Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton.	kekuatan hingga 50% dari beton normal dan resiko korosi sama dengan beton normal. Lebih lanjut, penggunaan air laut menurunkan nilai kuat tekan beton pada banyak kondisi, namun dapat meningkatkan kuat tekan pada penggunaan batu gamping 100%.		
2	(Muhammad Rifki, Sri Haryanti Prasetiowati, Edy Maduqi, & Agustina Setyaningrum., 2023). Karakteristik Beton Dengan Campuran Pasir Pantai Sebagai Agregat Halus	Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Beton dengan pasir pantai yang telah dicuci (benda uji benda uji B) mengalami penurunan sebesar 9,4% dari beton dengan pasir sungai (benda uji A). Untuk beton dengan menggunakan pasir pantai yang dicuci dengan menambah komposisi pasir	Pasir pantai sebagai Agregat halus	Penggunaan agregat sebelum dicampur tidak dicuci

		<p>pantai dan mengurangi komposisi kerikil (benda uji C) menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton sebesar 27,4% dari beton dengan dengan pasir sungai (benda uji A) dan 19,86% dari benda uji B dengan pasir pantai yang dicuci sehingga penambahan komposisi pasir pantai tanpa dicuci akan menurunkan nilai kuat tekannya. Pada beton dengan pasir laut tidak dicuci dengan penambahan komposisi pasir pantai (benda uji D) nilai kekuatan beton mengalami penurunan sebesar 23,18% terhadap benda Uji A (beton normal dengan pasir sungai) dan 15,25 % terhadap bendan uji B (beton dengan</p>		
--	--	---	--	--

		pasir laut yang dicuci).		
3	(Mukti Maruddin, Baso Risaldi Asdin, & Muh. Thaariq Kemal Harsid., 2019) Pemanfaatan Pasir Pantai Sinjai Sebagai Bahan Material Alternatif Campuran Beton	Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Hasil nilai kuat tekan rata-rata yang diperoleh menggunakan material pasir pantai yang sebelum dicuci sebesar 16,306 Mpa dan sesudah dicuci sebesar 24,236 Mpa dan Hasil nilai kuat tarik rata-rata yang diperoleh oleh beton yang menggunakan material pasir pantai yang belum dicuci sebesar 1,98 Mpa dan sudah dicuci sebesar 2,12 Mpa. Dari hasil uji kuat tekan beton serta kuat tarik belah beton diatas, didapatkan bahwa setelah dicuci mengalami kenaikan dibandingkan sebelum dicuci.	Pasir pantai sebagai Agregat halus	Melakukan pengujian kuat belah dan materialnya yg digunakan tidak dicuci dan di cuci.

4	(Heprianto Sianturi, Mhd. Rahman Rambe, & Fithriyah Patriotika., 2022) Analisa Penggunaan Pasir Pantai Natal, Dengan Campuran Cangkang Buah Sawit Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa penurunan nilai kuat tekan beton yang menggunakan pasir pantai Natal dengan campuran cangkang buah sawit dari nilai kuat tekan beton normal yang menjadi pembandingnya. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 7, 14, 28 hari dengan menggunakan pasir pantai dengan campuran cangkang buah sawit secara berturut turut sebesar 2,97 MPa, 4,87 MPa, 6,66 MPa. Kuat tekan rata-rata beton normal pada umur 7, 14, 28 hari secara berturut turut sebesar 9,20 MPa, 7,56 MPa, 12,14 MPa untuk beton berbentuk silinder. Dari hasil penelitian yang	Pasir pantai sebagai Agregat halus	Jenis agregat yang digunakan yaitu pasir dari pantai natal dan menggunakan cangkang sawit sebagai pengganti agregat kasar.
---	--	---	------------------------------------	--

		<p>dilakukan didapati hasil penurunan mutu beton maka untuk beton yang menggunakan pasir pantai dengan campuran cangkang buah sawit agar dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kegunaan cangkang buah sawit tersebut dan mempertimbangkan resiko penurunan nilai kuat tekan beton yang direncanakan.</p>		
5	<p>(Setiyadi, Ashal Abdussalam &MT., 2019) Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Pasir Pantai dan Penambahan Fly Ash Limbah Pembakaran Batubara Terhadap</p>	<p>Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka ditarik kesimpulan bahwa Proporsi campuran optimal dari penelitian ini terdapat pada komposisi pasir pantai yang sudah dicuci dan fly ash limbah batubara 7,5% terhadap berat semen dengan nilai kuat tekan sebesar</p>	<p>Pasir pantai sebagai Agregat halus</p>	<p>Penambahan fly ash sebagai pengganti semen, terhadap mutu kuat beton.</p>

	<p>Mutu Kuat Tekan Beton</p>	<p>19,126 N/mm². Terjadi penurunan dari nilai kuat tekan beton normal yaitu 23,235 N/mm², nilai kuat tekan tersebut juga belum lolos dari nilai kuat tekan rencana sebesar 20,75 N/mm². Beton hasil penelitian kali ini bisa digunakan/diterapkan untuk menekan biaya konstruksi yang lebih rendah khusus untuk daerah sekitar pantai tapi tidak di anjurkan untuk beton bertulang karena dimungkinkan bisa merusak/membuat korosi besi beton yang ada di dalam beton tersebut karena dimungkinkan masih adanya kandungan garam pada pasir pantai.</p>		
--	------------------------------	---	--	--

2.2 Beton

2.2.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah yang membentuk massa padat.

Menurut SNI 03-2847-2002, definisi beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu (Pamungkas, 2012). Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini kemudian akan membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang suatu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu. Agar memudahkan dalam pengerjaan (*workability*), durabilitas serta waktu pengerasan. Secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang-kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton (Asroni, 2010). Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambah tertentu. Material membentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposit tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan (Neroth & Vollenschaar, 2011). Beton merupakan jenis konstruksi yang banyak

digunakan, material penyusun yang mudah di dapat dialam menjadi salah satu faktor utama dipilihnya konstruksi beton.

2.2.2 Jenis- jenis Beton

Adapun jenis-jenis beton sebagai berikut:

1. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
2. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tanpa perekat dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
3. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
4. Beton pratekan adalah beton di mana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat pemberian beban yang bekerja.
5. Beton ringan adalah beton yang agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850%³ kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural (Iii & Beton, 2013).

2.2.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Menurut Mulyono, kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan
 - a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
 - b. Mampu memikul beban yang berat.
 - c. Tahan terhadap temperature yang tinggi.
 - d. Biaya pemeliharaan yang kecil.

2. Kekurangan

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Berat.
- d. Daya pantul suara besar (Neroth & Vollenschaar, 2011).

2.2.4 Sifat-sifat beton

1. Beton segar

Kemudahan pengerjaan umumnya dinyatakan dalam besaran nilai slump (cm) dan dipengaruhi oleh:

- a. Jumlah air yang dipakai. Makin banyak air, beton makin mudah dikerjakan
- b. Penambahan semen, Semen bertambah, air juga ditambah agar FAS tetap, maka beton makin mudah dikerjakan
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil
- d. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai
- e. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat

2. Segregasi

kecenderungan agregat kasar untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton, peluang segregasi diperbesar dengan:

- a. Campuran yang kurus/kurang semen
- b. Pemakaian air yang terlalu banyak
- c. Semakin besar butir kerikil yang dipakai
- d. Campuran yang kasar, atau kurang agregat halus
- e. Tinggi jatuh pengecoran beton yang terlalu tinggi

3. Bleeding

kecenderungan air campuran untuk naik keatas (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan. Hal ini dapat dikurangi dengan cara:

- a. Memberi lebih banyak semen dalam campuran
- b. Menggunakan air sesedikit mungkin
- c. Menggunakan pasir lebih banyak

- d Menyesuaikan intensitas dan durasi penggetaran pemadatan sesuai dengan nilai slump campuran

2.3 Material Penyusun Beton

2.3.1 Semen Portland

Semen portland (*portland cement*) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2015).

Tjokrodinuljo (1996) mengemukakan semen portland berfungsi sebagai pengikat bahan-bahan bangunan lain (batu bata, batu kali, pasir). Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

1. Tipe-tipe semen

Menurut ASTM C150, semen Portland dibagi menjadi lima tipe, yaitu:

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

2. Pemeriksaan berat jenis

Pemeriksaan berat jenis semen ini berdasarkan ASTM C-188, dimana berat jenis yang disyaratkan oleh ASTM C-188 adalah 3,15 dan kemurnian semen yang disyaratkan ialah 3,0 – 3,2. Namun pada kenyataannya, berat jenis semen yang di produksi berkisar antara 3,05 sampai 3,25. Arasi ini akan mempengaruhi pada proporsi campuran semen dalam campuran, dan apabila pada percobaan tidak diperoleh hasil demikian maka pembakarannya tidak akan sempurna. Pengujian berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan *Le Chateriel flaks* menurut ASTM C-188 dengan prosedur sebagai berikut.

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

- h. Pada saat suhu air sama dengan suhu cairan dalam botol *Le Chateriel*, skala pada botol dibaca sebagai nilai (V2).
- i. Untuk mencari nilai berat jenis semen, digunakan persamaan sebagai berku

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

Dimana:

W = Berat benda uji semen portland

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

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

γ air = berat isis air pada suhu 4°C

2.3.2 Agregat

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

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

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

1. Agregat halus (pasir)

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

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran tajam, keras, dan bersifat kekal artinya tidak hancur oleh pengaruh cuaca dan temperatur, seperti terik matahari, hujan dan lain-lain.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering. Apabila kadar lumpur lebih dari 5% maka agregat halus harus dicuci bila ingin dipakai untuk campuran beton atau bisa juga digunakan langsung tetapi kekuatan beton kurang 5%.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik (zat hidup) terlalu banyak dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Haedar* dengan larutan NaOH3%
- d. Angka kehalusan untuk fine sand antara 2,2 – 3,2
- e. Angka kehalusan untuk fine antara 3,2 – 4,5

Agregat yang butir - butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (SK SNI T – 15-1991-03). Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradiasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam ASTM C 33/ 03 “Standar Specification for Concrete Aggregates”.

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 03-1968-1990. 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.

$$\text{Persen berat tertahan} = \frac{\text{berat tertahan per nomor saringan}}{\text{jumlah berat total}} \times 100 \dots \dots \dots (2.2)$$

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

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

b) Berat jenis dan penyerapan air

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

- 1) Timbang pasir seberat 1.200 gram.
- 2) Keringkan pasir dalam tungku dengan suhu sekitar $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap.
- 3) Rendam pasir dalam air selama 24 jam.
- 4) Setelah direndam, buang air perendam dengan hati- hati agar butiran pasir tidak ikut terbang. Keringkan pasir hingga mencapai keadaan kering permukaan (SSD). Untuk mengetahui kondisi SSD tercapai, ambil kerucut kuning tempatkan ditempat yang rata kemudian masukkan sampel 1/3 bagian, gunakan penumbuk untuk memadatkan tumbuk 8 kali dan lapisan ketiga 7 kali.
- 5) Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram, ambil 2 sampel.
- 6) Timbang piknometer dalam keadaan kosong (K).

- 7) Isi piknometer kosong dengan air sampai penuh kemudian timbang (B).
- 8) Masukkan pasir kondisi SSD sebanyak 500 gr tadi kedalam piknometer, lalu tambahkan aquades sampai 90% penuh, kocok selama ± 5 menit dengan di kocok untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap diantara butir-butir pasir. Pengeluaran gelembung udara dapat juga dilakukan dengan memanasi piknometre atau diamkan selama 24 jam untuk mengeluarkan gelembung udara didalamnya.
- 9) Setelah gelembung udara keluar, tambakan air pada miknometer sampai tanda batas penuh 100% agar gelembung udara terbuang, lalu timbang piknomter berisi air dan aquades dengan ketelitian 1 gr (Bt).
- 10) Timbang talang kosong.
- 11) Tuangkan pasir dari piknometer kedalam talang (wadah) tersebut lalu oven selama 24 jam sampai beratnya tetap.
- 12) Keluarkan sampel dari oven dinginkan lalu timbang untuk mendapatkan berat kering (Bk).

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

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

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

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

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

c) Berat isi/volume

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

Kondisi Lepas

- 1) Ukur volume kontainer (V).
- 2) Timbang container dalam keadaan kosong (W1).
- 3) Isi container dengan pasir sampai penuh.
- 4) Ratakan permukaan container dengan alat Perata.
- 5) Timbang berat container + pasir (W2).

Kondisi Padat

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

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

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

d) Kadar lumpur

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

- 1) Oven pasir sebanyak 1500 gr selama 24 jam lalu ambil pasir kering tungku seberat 500 gram (W1).
- 2) Setelah ditimbang cuci pasir dengan cara masukkan kedalam saringan No. 200 dan diberi air pencuci secukupnya, sehingga benda uji terendam, lalu guncang-guncangkan saringan tadi selama ± 5 menit.

- 3) Ulangi langkah kedua (2) hingga air pencuci tampak jernih / tidak keruh.
- 4) Masukkan butir pasir yang tersisa di ayakan No 200 ke dalam talang dan keringkan kembali dalam oven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
- 5) Timbangan pasir kering tungku kembali (W2).
- 6) Selisih berat semula dengan berat setelah dicuci adalah bagian yang hilang (kandungan lumpur atau butiran < 50 micron).
- 7) Percobaan dilakukan 2 kali, kemudian dihitung hasil rata-ratanya.

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

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \dots \dots \dots (2.9)$$

e) Kadar air

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

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

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

3. Agregat kasar

Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari

industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 03-2847-2002).

Menurut 15 PBI 1971, kerikil untuk campuran beton harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- a. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desentregasi alam dan batuan-batuan. Pada umumnya dimaksudkan dengan agregat kasar butir dari 5 mm sesuai dengan syarat-syarat pengawasan mutu agregat untuk berbagai mutu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori, agregat kasar yang mengandung butir-butir ini hanya dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari butir agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lempung lebih dari 1% (ditentukan dengan berat kering) yang artinya dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lempung melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.
- e. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana rudeloff dengan benda uji 20 Ton dimana dipenuhi syarat-syarat berikut.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraktis 9,5-19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi penumbukan sampai fraksi 19-20 mm lebih dari 22% berat.

- f. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan ditentukan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.
- Sisa diatas ayakan 31,5 mm 0% berat
 - Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98% berat
 - Selisih sisa – sisa komulatif di atas ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- g. Besar butir harus maksimum tidak boleh lebih dari pada seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal plot atau tiga perempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau bekas-bekas tulangan, penyimpanan dari batangan ini diizinkan apabila menurut penilaian pengawasan ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kerikil.

Agregat kasar (kerikil, batu pecah atau pecahan dari blast furnace) menurut ASTM C 33-03, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. standar pengujian lainnya mengacu pada standar pengujian lainnya mengacu pada standar yang direkomendasikan pada ASTM.

Tabel 2.3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter saringan(mm)	Persen lolos(%)	Gradasi ideal(%)
23,00	100	100
19,00	90-100	95
12,50	-	-
9,50	20-55	37,5
4,75	0-10	5
2,36	0-5	2,5

(sumber: ASTM C33/3)

Jenis agregat kasar yang umum adalah :

- a. Batu pecah alami, batu pecah ini di dapat dari cadas batu pecah alami yang gazali
 - b. Kerikil alami, kerikil alami didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tapi maupun dasar sungai oleh yang mengalir.
 - c. Agregat kasar buatan, terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.
 - d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat, agregat kasar yang diklasifikasikan disini misalnya baja pecah, barit, magnitit dan limonit
4. Pengujian karakteristik agregat kasar
- a) Analisa Saringan

Berdasarkan: SK SNI M-08-1989-F dan SNI 03-1968-1990 prosedur pengujian analisa saringan agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan agregat kasar sebanyak 3.000 gr dengan sistem perempat/quartering, lalu oven selama 24 jam.
- 2) Timbang agregat kering oven sebanyak 1.500 gr. Kondisi suhu kamar.
- 3) Timbang saringan satu persatu dalam keadaan kosong dan bersih.
- 4) Susun saringan secara urut menurut ukuran saringan. Mulai dari pan, lubang saringan terkecil dan seterusnya sampai lubang saringan terbesar (diameter lubang terbesar diatas).
- 5) Masukkan benda uji pada saringan teratas kemudian tutup. Pasang saringan pada mesin saringan lalu hidupkan motor pengguncang selama 15 menit. Penyaring dilakukan dengan menggoyangkan saringan selama 30 menit bila secara manual.

- 6) Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
- 7) Buka saringan tersebut, kemudian timbang masing-masing saringan beserta isinya dengan timbangan ketelitian 1 gram. Catat hasil percobaan saringan dalam daftar tabel.
- 8) Lakukan dua kali percobaan untuk menentukan nilai rata-rata.
- 9) Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.
- 10) Hitung persentase berat tertahan, kumulatifkan untuk mendapatkan faktor kehalusan.
- 11) Hitung persentase lolos.
- 12) Plot ke dalam grafik hasil perhitungan lolos.

Persamaan analisa perhitungan untuk pengujian gradasi butiran adalah sebagai berikut.

$$\text{Persen Berat Tertahan} = \frac{\text{berat tertahan per nomor saringan}}{\text{jumlah berat total}} \times 100\% \dots (2.11)$$

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\text{jumlah berat tertahan kumulatif} + 300}{\text{jumlah berat tertahan}} \dots (2.12)$$

b) Berat jenis dan penyerapannya

Berdasarkan SNI 03-1969-1990, prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- 1) Ambil kerikil sebanyak 5000 gram. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau kotoran yang ada pada butir-butir kerikil.
- 2) Masukkan 2 sampel kerikil masing 2.500 gram kedalam tungku pada suhu 105°C sampai berat tetap.
- 3) Dinginkan benda uji sampai temperatur kamar (± 3 jam), kemudian timbang (Bk).

- 4) Rendam benda uji sampai dalam temperatur kamar selama ± 24 jam.
- 5) Ambil kedua benda uji dari dalam air, kemudian lap dengan kain sampai kondisinya jenuh kering muka.
- 6) Timbang benda uji jenuh kering muka (B_j).
- 7) Masukkan kerikil kedalam keranjang kawat, kemudian guncangkan agar udara yang tersekap keluar. Lalu timbang dalam air (B_a).

Adapun persamaan analisa perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air adalah sebagai berikut.

$$\text{Apparent specific gravity} = \frac{BK}{B_k - B_a} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Bulk specific gravity on dry basic} = \frac{BK}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Bulk specific gravity SSD basic} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{B_j - BK}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

$$B_j \text{ SSD Rata-rata} = \frac{B_{j1} + B_{j2}}{2} \dots\dots\dots(2.17)$$

c) Berat/isi volume

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 Metode pengujian berat isi/volume dan rongga udara dalam agregat kasar (kerikil), sebagai berikut.

Kondisi Lepas

Adapun prosedur pemeriksaan berat isi/volume pada kondisi lepas dilakukan lankah-langkah sebagai berikut:

- 1) Ukur volume kontainer.
- 2) Timbang kontainer dalam keadaan kosong.
- 3) Isi kontainer dengan kerikil sampai penuh.
- 4) Ratakan permukaan kontainer dengan alat perata.
- 5) Timbang berat kontainer + kerikil.

Kondisi Padat

Adapun prosedur pemeriksaan berat isi/volume pada kondisi padat dilakukan lankah-langkah sebagai berikut:

- 1) Ukur volume kontainer.
- 2) Timbang berat kontainer.
- 3) Masukkan agregat kasar (kerikil) ke dalam kontainer $\pm 1/3$ bagian lalu tumbuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali.
- 4) Ulangi prosedur (3) untuk lapis ke-2.
- 5) Untuk lapisan terakhir, masukkan agregat hingga melebihi permukaan atas kontainer lalu tusuk kembali sebanyak 25 kali.
- 6) Ratakan permukaannya dengan alat perata.
- 7) Timbang berat kontainer + kerikil.

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

$$\text{Berat volume agregat} = \frac{w_2 - w_1}{v} \dots \dots \dots (2.18)$$

d) Kadar lumpur

Berdasarkan: SK SNI S-04-1989-F, prosedur percobaan untuk pengujian kadar lumpur agregat kasar (kerikil), sebagai berikut.

- 1) Ambil 2 sampel dan timbang agregat kasar masing-masing sebanyak 500 gram, lalu oven selama 24 jam.
- 2) Setelah 24 jam, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering (A).
- 3) Setelah ditimbang cuci kerikil sampai bersih dengan rendam dalam ember. Lalu guncang-guncangkan selama ± 5 menit.
- 4) Ulangi prosedur 3 diatas, hingga air pencuci menjadi jernih (lumpur hilang).
- 5) Setelah bersih, keringkan permukaan agregat kasar dengan kain lap.
- 6) Oven agregat kasar dengan suhu 105°C sampai beratnya tetap.

- 7) Setelah dioven, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering (B).
- 8) Hitung persentase kadar lumpurnya.

Untuk analisa perhitungan kadar lumpur, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19)$$

e) Kadar air

Berdasarkan: SNI 03-1971 1990, Prosedur percobaan pengujian kadar air agregat kasar (kerikil), sebagai berikut.

- 1) Timbang berat talang kosong (A).
- 2) Masukkan kerikil dalam talang dan menimbang berat basahnya, kondisi lapangan (B), lalu hitung berat benda uji (C)
- 3) Masukkan kerikil berikut kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C sampai berat tetap.
- 4) Setelah ± 24 jam, dinginkan lalu timbang berat talang dan kerikil kering (D).

Persamaan Analisa perhitungan untuk pengujian kadar air adalah sebagai berikut.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{C - D}{C} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

2.3.3 Air

Tjokrodinuljo (1996) mengemukakan fungsi air dalam beton yaitu sebagai bahan penghidrasi semen, agar semen bisa berfungsi sebagai bahan pengikat, serta air berfungsi sebagai bahan pelumas, yaitu mempermudah proses pencampuran agregat dan semen serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (*workability*).

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982), antara lain :

1. Air harus bersih.

2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram / liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter. Kandungan klorida (Cl) tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO₃.
5. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

2.3.4 Pasir pantai

Pasir pantai merupakan pasir yang diambil dari tepian pantai atau tepian laut, yang butirannya halus dan bulat akibat adanya gesekan sesama. Pasir ini merupakan pasir yang sangat jelek karena memiliki kandungan banyak garam. Garam ini menyerap air dari udara dan mengakibatkan pasir terlalu agak basah karena itu biasa mengakibatkan penambahan volume bila dipakai pada bangunan. Pasir ini dapat digunakan sebagai campuran pembuatan beton dengan perilaku yang khusus, yaitu dengan cara mencuci pasir terlebih dahulu supaya kandungan garamnya berkurang atau menghilang. Pasir pantai sebagai salah satu jenis material agregat halus memiliki ketersediaan dalam kualitas yang sangat besar

Pasir laut dapat digunakan sebagai komponen struktural beton jika:

1. Karakteristik butiran pasir laut distabilisasi, sehingga kandungan dan garam-garamnya direduksi
2. Pasir laut memiliki karakteristik butiran yang kasar serta gradasi yang bervariasi. Memiliki kandungan garam-garaman yang tidak melebihi batas yang ditentukan.

2.3.5 Natrium Klorida

Natrium klorida atau NaCl atau dikenal juga dengan sodium klorida adalah senyawa yang memiliki komposisi gabungan dari Na (

Natrium) dan Cl (Klorida) dan membentuk serbuk kristal putih atau biasa diformulasikan sebagai cairan .

Menurut Trethewey (1991), salah satu factor yang mempengaruhi korosi dalam lingkungan air adalah keberadaan elektrolit. Sedangkan senyawa elektrolit kuat diantaranya NaCl.

2.4 Mutu beton

Beton merupakan campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat. Beton merupakan bagian dari konstruksi yang dibuat dari campuran beberapa material sehingga mutunya akan banyak tergantung kondisi material pembentuk ataupun pada proses pembuatannya. Untuk mutu beton f_c beton ke K dapat di lihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Konversi dari mutu beton F_c ke K

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

Sumber: DPUPKP

2.5 Slump test

Slump test adalah suatu cara untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton. Uji *slump test* dilakukan dengan menggunakan kerucut abrams. Semakin rendah nilai *slump test* menandakan semakin kental kondisi beton segar yang ada dilapangan, sebaliknya semakin besar nilai *slump test* berarti semakin cair kondisi beton segar dilapangan. Percobaan *slump test* dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm serta tingginya 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang 60 cm. (Mulyono, 2004).

Menurut Peraturan Beton Industri (PBI) 1971, nilai slump untuk pekerjaan beton dapat dilihat berdasarkan pada table 2.5.

Tabel 2.5 Slump Test Beton

Jenis pekerjaan	Maksimum (mm)	Minimum (mm)
Dinding pemahan dan pondasi	76,2	22,4
Pondasi sederhana, sumuran dan dinding sub struktur	76,2	25,4
Balok dan dinding beton	101,6	25,4
Kolom Structural	101,6	25,4
Perkerasan dan slab	76,2	25,4
Beton massal	50,8	25,4

(Sumber: SNI 1972:2008)

2.6 Sifat Mekanik Beton

Dalam pembuatan beton harus diperhatikan sifat-sifat dari beton yang diinginkan. Sifat utama dan umum adalah sifat-sifat mekanis beton yang berpengaruh dalam perhitungan dalam pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi, yakni beton segar dan beton yang sudah mengeras.

Perilaku mekanik beton keras tidak jauh dari kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik

ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang detail, kedap air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang (Duralibitas beton)

2.6.1 Kuat Tekan Beton

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:

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

f_c' : Kuat tekan beton dengan uji silinder (MPa)

P : Gaya tekan aksial (N)

A : Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Kuat tekan beton secara umum relative 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).

2.6.2 Porositas

Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu factor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga kapiler ini akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini akan memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton (Nugroho, 2010).

Menurut (Nugroho, 2010) tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai persentase pori-pori beton terhadap volume beton. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai porositas adalah sebagai berikut.

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

A = Berat sampel dalam air (gram)

B = Berat sampel kondisi permukaan jenuh (gram)

C = Berat sampel kering oven (gram)

Menurut (Tisnoyuwono, 2014) beton non pasir mempunyai nilai rongga minimum dan maksimum yang dapat dilihat pada table 2.6.

Tabel 2.6 Nilai Rongga Beton Non Pasir

Nilai Rongga	Persentase(%)
Minimum	12
Maksimum	25

Sumber: Trisnoyuwono, 2014

2.6.3 Daya serap air

Penyerapan air (*water absorption*) adalah banyak air yang dapat diserap oleh beton yang sudah jadi dari kondisi kering kondisi lapangan hingga kondisi basah pada saat perendaman 28 hari. Beton pada umumnya yang baik yaitu beton dengan penyerapan air yang sangat minim sehingga tidak mempengaruhi beton yang sudah jadi. Pengujian Daya Serap Air Ditentukan nilai dari pengukuran daya serap air dengan menggunakan persamaan

$$\text{daya serap air} = \frac{B-C}{c} \times 100\% \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana:

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

2.6.4 Korosi Baja Tulangan

1. Definisi Korosi

Menurut Broomfield (2007), mendefinisikan korosi sebagai kerusakan atau penurunan mutu suatu material logam yang diakibatkan reaksi antara lingkungan dan material itu sendiri. Akibat munculnya karatan menyebabkan lapisan pasif yang ada pada permukaan hilang sehingga menjadi anoda dari reaksi korosi baja tulangan. 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:

a. Anode

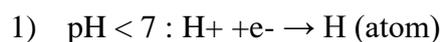
Anode biasanya terkorosi dengan cara melepaskan elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anode dapat ditulis dengan persamaan:



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

b. Cathode (Katode)

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



c. Elektrolit

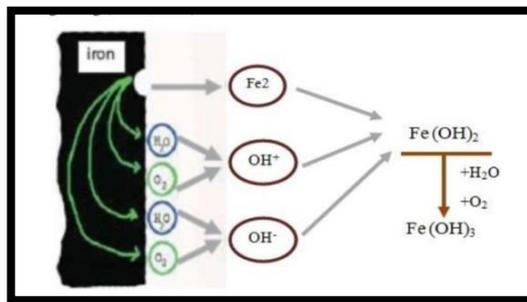
Elektrolit merupakan larutan yang memiliki sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Larutan elektrolit memiliki peranan penting dalam mempengaruhi korosi baja karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.

d. Anoda dan Katoda

Anoda dan katoda harus terhubung secara listrik, 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. Mekanisme Korosi

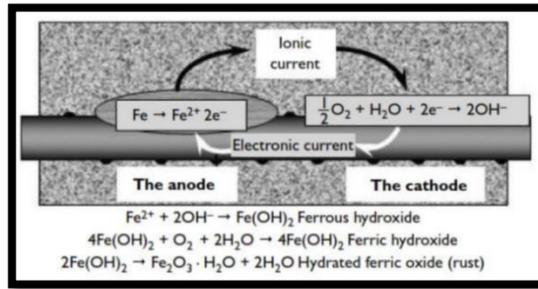
Korosi merupakan penurunan mutu suatu material yang disebabkan oleh reaksi antara lingkungan dan material itu sendiri. Secara umum mekanisme korosi yang terjadi pada suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. 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. 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)

3. 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. Kemampuan inhibitor yaitu untuk melindungi logam dari korosi akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktu maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan. (Uhlig, 1958).

4. Metode pengujian korosi pada beton bertulang

Untuk mendeteksi korosi tulangan beton 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 beton ini digunakan untuk menentukan kemungkinan korosi pada tulangan terhadap struktur beton bertulang.

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

Metode pengujian ini dibatasi oleh sirkuit listrik dan sebuah permukaan beton 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-sell potensial berdasarkan ASTM C878-1999, dilakukan sebagai berikut:

a. Half-Cell

- 1) 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.
- 2) Tabung atau wadah kaku harus memiliki diameter dalam tidak kurang dari 1 inci (25mm); diameter sumbat berpori tidak boleh kurang dari $\frac{1}{2}$ inci (13 mm); diameternya jumlah batang tembaga yang dibenamkan tidak kurang dari $\frac{1}{4}$ 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 contact solution

Untuk standarisasi potensi penurunan melalui bagian beton 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. Elektrical 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 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Kriteria Korosi Berdasarkan Metode Half- cell potential

No	Cu/cuSO4	Ag/AgCl	Standar Hidrogen	Calomel	Kondisi korosi
1	> 200mV	>106 mV	>126mV	>126mV	Rendah (10% resiko korosi)
2	-200 to-350mV	-106 to-256 mV	+116 to-34 mV	126 to-276 mV	Resiko korosi menengah
3.	<-350mV	<-256 mV	<-34 mV	<-276 mV	Tinggi (<90% resiko korosi)
4	<-500 mV	<-406 mV	<-184 mV	-426 mV	Tingkat korosi sangat tinggi

Sumber: ASTMc976-99

Hasil pembacaan berupa beda potensial (mV), semakin tinggi beda potensial maka semakin tinggi indikasi korosi didalam beton. Selain melihat indikasi korosi yang terjadi, nilai potensial juga

menjadi acuan dalam menentukan kering tidaknya beton tersebut. Tabel 2.8 yang menjelaskan tipikal rentan kondisi tertentu dari nilai potensial berdasarkan RILEM TA6054

Tabel 2.8 Tipikal Rentang Kondisi Tertentu Dari Nilai Potensial

Keadaan	Nilai potensial (mV/CSE'
Lebam,beton bebas klorida	-200 hingga+ 100
Basah, beton terkontaminasi klorida	-600 hingga -400
Beton jenuh air tanpa oksigen	-1000 hingga-900
Lebam, beton berkarbonasi	-400 hingga +100
Kering ,beton terkarbonasi	0 hingga+200
Betin kering	0 hingga+200

Sumber: RILEM TA6054,2003

2.6.5 Migration Test

Metode pengujian ini mencakup penentuan konduktansi listrik beton untuk memberikan indikasi cepat mengenai ketahanannya terhadap penetrasi ion klorida. Metode pengujian ini dapat diterapkan pada jenis beton dimana korelasi telah ditetapkan antara prosedur pengujian ini dan prosedur penggenangan klorida jangka panjang.

Metode pengujian ini terdiri dari pemantauan jumlah arus listrik yang melewati irisan inti atau silinder berdiameter nominal 100 mm setebal 50 mm selama periode 6 jam. Beda potensial sebesar 60 V dc dipertahankan pada ujung-ujung benda uji, salah satunya direndam dalam larutan natrium klorida, yang lainnya dalam larutan natrium hidroksida. Total muatan yang dilewatkan, dalam coulomb, ditemukan berhubungan dengan ketahanan spesimen terhadap penetrasi ion klorida.

Metode pengujian ini cocok untuk evaluasi bahan dan proporsi bahan untuk tujuan desain serta penelitian dan pengembangan. Umur sampel mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengujian, tergantung pada jenis beton dan prosedur perawatannya. Standar ini tidak dimaksudkan untuk mengatasi semua masalah keselamatan, jika

ada, yang terkait dengan penggunaannya. Pengguna standar ini bertanggung jawab untuk menetapkan praktik keselamatan dan kesehatan yang sesuai dan menentukan penerapan batasan peraturan sebelum digunakan. Kebanyakan beton, jika dirawat dengan baik, menjadi semakin berkurang permeabilitasnya seiring berjalannya waktu. adapun persyaratan penetrabilitas ion klorida berdasarkan muatan yang dilalui dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 penetration ion klorida berdasarkan muatan yang dilalui

coulomn	Penetration ion klorida
>4000	tinggi
2000-4000	Sedang
1000-2000	Rendah
100-1000	Sangat rendah
<100	Dapat diabaikan

Sumber: ASTM-C-1202

Prosedur metode pengujian ini untuk mengukur ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida tidak memiliki bias karena nilai resistansi ini hanya dapat ditentukan melalui metode pengujian.



Gambar 2.3 Spesimen Benda Uji

Sumber: ASTM-C-1202

2.6.6 Penetration Depth (ASTM C-1585)

Permasalahan korosi yang disebabkan oleh penetrasi klorida menjadi salah satu mekanisme utama yang signifikan pada kerusakan beton bertulang. Penetrasi ion klorida pada lapisan pelindung beton hingga mencapai permukaan tulangan baja akan merusak lapisan pasif dan mempercepat terjadinya korosi, yang pada akhirnya akan mengurangi durabilitas beton bertulang. Beton yang terkontak zat

agresif dari lingkungan akan mengalami deteriorisasi secara fisik maupun kimia. Secara umum, beton dengan tingkat porositas dan permeabilitas rendah memiliki resistensi yang lebih baik terhadap penetrasi zat-zat perusak. Selain itu, konsentrasi dan jenis zat agresif juga berpengaruh terhadap laju penetrasi .

Analisis *colorimetric* merupakan metode yang banyak digunakan secara luas untuk mengkarakterisasikan kandungan klorida di dalam material berbasis semen. Peneliti menggunakan larutan $AgNO_3$ atau larutan $AgNO_3 + K_2CrO_4$ untuk mempelajari penetrasi klorida pada material berbasis semen. Reaksi ion perak dan ion klorida dalam larutan pori membentuk warna putih $AgCl$ pada daerah yang terkontaminasi klorida, sedangkan pada daerah yang tidak terkontaminasi klorida, kombinasi ion perak dan ion hidroksida akan membentuk $AgOH$ yang tidak stabil, dan selanjutnya menghasilkan warna coklat Ag_2O . Batas warna antara putih dan coklat dapat digunakan untuk menentukan kedalaman penetrasi klorida. Meskipun demikian, analisis warna tidak dapat mengkarakterisasi secara kuantitatif distribusi kandungan klorida dan kedalaman penetrasi dipengaruhi oleh konsentrasi $AgNO_3$.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society For Testing And Materials (ASTM), 2019. C 642-27, metode uji standar untuk kepadatan, penyerapan, dan rongga pada beton keras. ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], 2015. C876 – 15, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. s.l., ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM],2012. C1202-12, Metode Uji Standar Untuk Indikasi Listrik Kemampuan Beton Menolak Klorida Penetrasi Ion¹.ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM],C-150, *Standard specification for Portland Cement* . ASTM.
- American Society for Testing and Materials [ASTM], C-188, *Standard specification for Concrete Aggregates*. ASTM.
- Badan Standardisasi Nasional, 2015. SNI 2049:2015, Semen Portland. Jakarta,
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 03-2847-2002, Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 2849:2019, Persyaratan beton struktural untuk bangunan. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 1990. SNI 03-1969-1990, Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 2493:2011, Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. SNI 7656:2012, Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, berat beton dan massa. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2009. SNI 1972:2008, Cara uji slump beton. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 1990. SNI 03-1968-1990, Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar. Jakarta, BSN.

- Badan Standarisasi Nasional, 2089. SNI 03-2816-1992, Metode pengujian Organik dalam pasir untuk campuran mortar dan beton. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Nasional, 2089. SNI 03-1971-1990, Metode pengujian kadar air agregat. Jakarta, BSN.
- Gunaltum, 2004. “ *korosi baja tulangan*”. https://www.google.com/search?q=menurut+Roberge+korosi+ada-lah&esc_esv. Diakses pada tanggal 9 juni 2023 pukul 09.00 WITA.
- Ida nur Khamida (2023), *pembuatan beton berpori dengan menggunakan cangkang sawit sebagai pengganti kerikil*. Hasil tugas akhir. Hasil tugas akhir. Universitas Bandar Lampung.
- Limeira, J., Agulló, L., & Etxeberria, M. (2012). Dredged marine sand as a new source for construction materials. *Materiales de Construcción*, 62(305), 7-24.
- Maruddin, M., Asdin, B. R., & Harsid, M. T. K. (2019). Pemanfaatan Pasir Pantai Sinjai Sebagai Bahan Material Alternatif Campuran Beton. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 4(2), 138-143.
- Muchlisin Riardi, 2019. “ *mekanisme korosi*”. https://www.google.com/search?q=menurut+muckhsin+reaksi+korosi&sca_esv. Diakses pada tanggal 3 juni 2023 pukul 09.00 WITA.
- Pamungkas, 2012. “ *industry pemecah baru*” https://www.google.com/search?q=menurut+pamungkas+2012+pengertian+beton+ada_id. Diakses pada tanggal 3 juni pukul 09.00 WITA.
- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. Durabilitas Baja Tulangan pada Beton Menggunakan Material Batu Gamping, Pasir Laut dan Air Laut dalam Campuran Beton. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 28(1), 109-117.
- Ramaswamy, S., Aziz, M., & Murthy, C. (1982). Sea dredged sand for concrete. *Extending Aggregate Resources*, 167-177.
- Rifki, M., Prasetiowati, S. H., Masduqi, E., & Setyaningrum, A. (2023). KARAKTERISTIK BETON DENGAN CAMPURAN PASIR

PANTAI SEBAGAI AGREGAT HALUS. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(1).

Sianturi, H., & Rambe, M. R. (2022). ANALISA PENGGUNAAN PASIR PANTAI NATAL DENGAN CAMPURAN CANGKANG BUAH SAWIT TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL. *STATIKA*, 5(2), 1-10.

Setiyadi, S., & Abdusalam, A. (2019). Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Pasir Pantai Dan Penambahan Fly Ash Limbah Pembakaran Batubara Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton. *Teras*, 9(2), 57-67.

Ulinnuha, M., 2020. Pengertian dan Kelebihan Beton. <https://mitech-ndt.co.id/pengertian-dan-kelebihan-beton/> (Online). Diakses pada 3 Oktober 2023.

WISMAN, R. (2022). PENGARUH PEMANFAATAN PASIR LAUT SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS PADA BETON NORMAL (Doctoraldissertation, Universitas_Muhammadiyah_Mataram)