

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL KETAHANAN MORTAR YANG
MENGUNAKAN *BOTTOM ASH* DAN *FLY ASH* SEBAGAI
PENGANTI PASIR TERHADAP PENETRASI KLORIDA**

***EXPERIMENTAL STUDY OF MORTAR RESISTANCE USING
BOTTOM ASH AND FLY ASH AS A SUBTITUTE FOR SAND
TOWARDS CHLORIDE PENETRATION***

**MUTHIAH AFIFAH PUTRI
D011 18 1022**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

STUDI EKSPERIMENTAL KETAHANAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH SEBAGAI PENGANTI PASIR TERHADAP PENETRASI KLORIDA

Disusun dan diajukan oleh:

MUTHIAH AFIFAH PUTRI

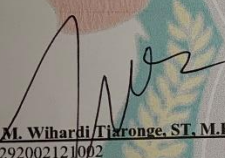
D011 18 1022

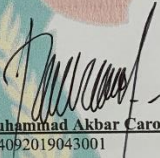
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Juli 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,


Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng
NIP: 1968052920021211002


Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng
NIP: 198604092019043001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng
NIP: 1968052920021211002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muthiah Afifah Putri
NIM : D011 18 1022
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul :

STUDI EKSPERIMENTAL KETAHANAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH SEBAGAI PENGANTI PASIR TERHADAP PENETRASI KLOORIDA

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi//Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Muthiah Afifah Putri
NIM: D011 18 1022

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI EKSPERIMENTAL KETAHANAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN *BOTTOM ASH* DAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI PASIR TERHADAP PENETRASI KLORIDA**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan dan juga selaku dosen penguji yang memberikan arahan dan masukan.
5. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT.**, selaku dosen penguji yang sangat membantu dalam penulisan dan perbaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu **ayahanda Ir. H. Eddy Jaya Putra, MT** dan **ibunda Ir. Hj. Hasnawati P, MT** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan yang telah diberikan selama ini. Serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak **Muhammad Rizky Hady Eka Putra, SH, dr. Rahmawaty Kurnia Putri, S.Ked** dan adik satu-satunya **Nabil Rafif Putra** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman seperjuangan yang selalu menemani, menyemangati, dan juga selalu menghibur sedari masa mahasiswa baru. Terimakasih kepada Dillah, Nida, Hikari, Ira, Amel, Davita, Itin, Nurul, Elvina, dan Meta.
4. Teman-teman seperjuangan di **Laboratorium Riset Eco Material** Hikari, Nida, Christie, Yuse, William, Gideon, Amin, Fahmi, Darma, Zuhry dan Bloe yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman **asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu menyemangati dan membantu dalam pengujian tugas akhir ini.
6. Teman-teman se-**Transisi 2019** yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, terkhusus dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Januari 2022

Penulis

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah hasil pembakaran batu bara, yaitu abu batu bara (*fly ash*) dan *Bottom Ash* PLTU di tanah air masih tertinggal jauh dari sejumlah negara. Ironisnya negara-negara tersebut memperoleh pasokan batu bara dari Indonesia. Jumlah limbah ini cukup besar karena PT PLN masih mengandalkan sebagian besar sumber energi dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan pada tahun 2018, proyeksi kebutuhan batubara hingga 2027 sebesar 162 juta ton. Prediksi potensi *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) yang dihasilkan sebesar 16,2 juta ton, dengan asumsi 10% dari pemakaian batubara. Hasil data dari uji karakteristik terhadap FABA PLTU, yang dilakukan oleh Kementerian LHK tahun 2020 menunjukkan bahwa FABA PLTU masih di bawah baku mutu karakter berbahaya dan beracun. Hasil uji karakteristik menunjukkan bahwa FABA PLTU tidak mudah menyala dan tidak mudah meledak, suhu pengujian adalah di atas 140 derajat Fahrenheit. Hasil uji karakteristik FABA PLTU selanjutnya, adalah tidak ditemukan hasil reaktif terhadap Sianida dan Sulfida, serta tidak ditemukan korosif pada FABA PLTU. Dengan demikian, dari hasil uji karakteristik menunjukkan limbah FABA dari PLTU tidak memenuhi karakteristik sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Pemanfaatan *fly ash* dan *Bottom Ash* sendiri akan sangat membantu dalam menyelamatkan lingkungan dari berbagai macam masalah, seperti pencemaran udara, penurunan kualitas ekosistem, dan juga perairan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis ketahanan benda uji mortar terhadap penetrasi ion klorida serta kedalaman penetrasi klorida, dan juga untuk menganalisis resistivitas yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu parameter peluang terjadinya korosi pada campuran mortar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode eksperimental. Benda uji mortar yang dipakai dalam penelitian adalah benda uji campuran *fly ash* dan *Bottom Ash* dengan beberapa variasi dan telah dicuring dengan waktu yang telah ditentukan.

Nilai laju penetrasi klorida benda uji *control* dan 100%BA termasuk dalam kategori “moderate”, untuk benda uji 90%BA:10%FA termasuk dalam kategori “low”, benda uji 80%BA:20%FA dan 70%BA:30%FA termasuk kategori “very low”.

ABSTRACT

Utilization of waste from coal combustion, namely coal ash (fly ash) and Bottom Ash of PLTU in Indonesia is still far behind from a number of countries. Ironically, these countries get their coal supply from Indonesia. This amount of waste is quite large because PT PLN still relies mostly on energy sources from coal-fired power plants. Based on data from the Directorate General of Electricity in 2018, the projected coal demand until 2027 is 162 million tons. Prediction of potential fly ash and bottom ash (FABA) produced at 16.2 million tons, assuming 10% of coal consumption. The results of the data from the characteristic test of the PLTU FABA, which was conducted by the Ministry of Environment and Forestry in 2020, showed that the PLTU FABA was still below the quality standard for hazardous and toxic characters. The results of the characteristic test show that the PLTU's FABA is non-flammable and non-explosive, the test temperature is above 140 degrees Fahrenheit. The results of the next PLTU FABA characteristic test, were not found reactive to Cyanide and Sulfide, and no corrosiveness was found in PLTU FABA. Thus, the results of the characteristic test show that FABA waste from PLTU does not meet the characteristics of hazardous and toxic waste. The use of fly ash and bottom ash itself will be very helpful in saving the environment from various problems, such as air pollution, declining ecosystem quality, and also waters.

The purpose of this study was to analyze the resistance of mortar specimens to chloride ion penetration and chloride penetration depth, and also to analyze resistivity which can be used as one of the parameters for the possibility of corrosion in mortar mixtures. This research was conducted at the Laboratory of Structures and Materials, Department of Civil Engineering, Hasanuddin University. The method used for this research is the experimental method. The mortar test object used in the study was a mixture of fly ash and Bottom Ash with several variations and had been cured with a predetermined time.

The chloride penetration rate of control specimens and 100%BA are in the "moderate" category, for 90%BA:10%FA specimens are in the "low" category, 80%BA:20%FA and 70%BA:30%FA are tested belongs to the "very low" category.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	5
E. Batasan Masalah.....	5
F. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Penelitian Terdahulu	8
B. Teori dan Aplikasi Mortar	14
B.1 Tipe Mortar.....	15
B.2. Sifat-Sifat Mortar	20
C. Material Penyusun Mortar	22
C.1 Semen Portland.....	22
C.2 Agregat Halus	25
C.3. Air.....	30
D. Laju Penetrasi Klorida	31
E. Kedalaman Penetrasi Klorida	32
F. <i>Electrical resitivity</i>	33
BAB 3. METODE PENELITIAN	34
A. Prosedur Penelitian	34
B. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	37
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	37
D. Alat dan Bahan Penelitian.....	37
E. Pemeriksaan Karakteristik Material	39
E.1 Abu Terbang (<i>Fly ash</i>).....	39

E.2 Abu Endapan (<i>Bottom Ash</i>).....	39
E.3 Pasir	40
F. Pembuatan Benda Uji	41
G. Perawatan (Curing) Benda Uji	42
H. Laju Penetrasi Klorida	43
I. Pengujian Kedalaman Penetrasi Klorida	45
J. Pengujian <i>Electrical resistivity</i>	46
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Karakteristik Material.....	48
A.1 Pasir	48
A.2 Abu Terbang (<i>Fly ash</i>).....	49
A.3 Abu Endapan (<i>Bottom Ash</i>).....	51
B. Rancangan Campuran Mortar.....	55
C. Laju Penetrasi Klorida (RCPT).....	55
D. Pengujian Kedalaman Penetrasi Klorida	57
E. Pengujian <i>Electrical resistivity</i>	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	61
A. Kesimpulan	61
B. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema pengujian RCPT (ASTM C1202-12)	32
Gambar 2. Skema pengujian RCPT (ASTM C1202-12)	32
Gambar 3. Skema pengujian <i>electrical resitivity</i>	33
Gambar 4. <i>Flowchart</i> pengujian.....	36
Gambar 5. Material campuran mortar.....	39
Gambar 6. Proses curing benda uji	43
Gambar 7. Pengujian Laju Penetrasi Klorida	45
Gambar 8. Pengamatan kedalaman penetrasi klorida	46
Gambar 9. Pengujian <i>electrical resitivity</i>	47
Gambar 10. Analisa saringan gradasi pasir.....	49
Gambar 11. Morfologi <i>fly ash</i>	51
Gambar 12. Analisa saringan gradasi <i>Bottom Ash</i>	52
Gambar 13. Morfologi <i>Bottom Ash</i>	54
Gambar 14. Nilai laju kedalaman penetrasi klorida umur 28 hari pada tiap variasi campuran mortar	57
Gambar 15. Standar nilai RCPT sesuai ASTM C1202-12	57
Gambar 16. Pengamatan kedalaman penetrasi klorida	58
Gambar 17. Nilai kedalaman penetrasi klorida pada tiap variasi benda uji	58
Gambar 18. Nilai <i>electrical resitivity</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persyaratan spesifikasi proporsi mortar	17
Tabel 2. Persyaratan spesifikasi sifat mortar.....	21
Tabel 3. Komposisi Kimia <i>Fly ash</i> (SNI 2460, 2014).....	29
Tabel 4. Gradasi <i>Bottom Ash</i>	30
Tabel 5. Pemeriksaan karakteristik <i>fly ash</i>	39
Tabel 6. Pemeriksaan karakteristik <i>Bottom Ash</i>	40
Tabel 7. Pemeriksaan karakteristik pasir.....	40
Tabel 8. Hasil pemeriksaan karakteristik pasir	48
Tabel 9. Komposisi kimia dari <i>fly ash</i>	50
Tabel 10. Hasil pemeriksaan karakteristik <i>Bottom Ash</i>	51
Tabel 11. Komposisi kimia dari <i>Bottom Ash</i>	53
Tabel 12. Rancangan campuran mortar dalam 1m ³	55

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia secara umum disuplai oleh sumber bahan bakar fosil, batubara, serta energi baru dan terbarukan (EBT). Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 yang mengatur mengenai Rencana Umum Energi Nasional yang diberlakukan pada tahun 2017-2025. Berdasarkan hal tersebut, pemerintah berencana untuk membangkitkan energi listrik sebesar 135,5 GW dimana 30% dari energi tersebut akan dihasilkan dari pembakaran batubara. Sektor pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan konsumen batubara terbesar di Indonesia.

Tingginya konsumsi batu bara menyebabkan kapasitas *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) yang dihasilkan oleh PLTU menjadi sangat banyak. Pemanfaatan FABA di Indonesia baru mencapai 0-0,96% untuk *fly ash* dan 0,05- 1,98% untuk *Bottom Ash* karena hanya beberapa PLTU nasional yang telah mengantongi izin pemanfaatan. FABA yang dihasilkan PLTU menumpuk di tempat penyimpanan yang tanpa mengikuti kriteria penyimpanan limbah B3. FABA yang tidak dikelola dengan baik ini justru dinilai lebih berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat di sekitar PLTU. Tumpukan FABA yang tidak terlindungi matahari, angin, dan hujan, memungkinkan FABA

termobilisasi ke media lingkungan dan memapar manusia yang berada di sekitar PLTU.

Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan terdiri dari partikel yang halus. **Fly ash** merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan, dan mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan unsur tambahan lain. Penggunaan batubara sebagai sumber energi akan menghasilkan abu yaitu berupa abu layang (*fly ash*) maupun abu dasar (*Bottom Ash*). Kandungan abu layang sebesar 84 % dari total abu batubara. Produksi abu layang batubara dunia yang diperkirakan tidak kurang dari 500 juta ton per tahun dan ini diperkirakan akan bertambah. Hanya 15 % dari produksi abu layang yang digunakan. *Fly ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) dihasilkan dari pembakaran batubara di PLTU yang tersusun oleh komponen organik dan inorganik berukuran halus.

Bottom Ash batubara merupakan bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *Bottom Ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai.

Fly ash dan *Bottom Ash* memiliki silika dalam jumlah yang banyak yang memiliki sifat pozzolan dan memiliki kemiripan dengan unsur silika 3 pada semen. Karena unsur-unsur silika pada semen *fly ash* dan *Bottom Ash* adalah sama, maka abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan mortar. Pemilihan bahan-bahan dalam pembuatan beton sangat penting untuk mendapatkan mutu beton yang diinginkan sesuai dengan kegunaan beton itu sendiri dan tentunya dengan biaya seekonomis mungkin. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk campuran beton adalah dengan memanfaatkan ampas batubara yang sangat menumpuk, yaitu *fly ash* dan *bottom ash*.

Mortar yang dibuat tentunya harus memiliki kemampuan untuk bertahan pada kondisi yang telah ditentukan. Untuk mengetahui ketahanan mortar terhadap korosi yang dapat mengakibatkan timbulnya larutan elektrolit yang agresif, maka dilakukan penelitian untuk menentukan laju penetrasi ion klorida. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

“STUDI EKSPERIMENTAL KETAHANAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN *BOTTOM ASH* DAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI PASIR TERHADAP PENETRASI KLORIDA”.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat dirumuskan sesuai dengan latar belakang yang telah dijelaskan, yaitu :

1. Bagaimana laju penetrasi klorida yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir?
2. Bagaimana hubungan kedalaman penetrasi klorida yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir terhadap penetrasi klorida?
3. Bagaimana *electrical resistivity* mortar yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir terhadap penetrasi klorida?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menentukan laju penetrasi klorida yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir.
2. Untuk menentukan kedalaman penetrasi klorida yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir.
3. Untuk mengevaluasi *electrical resistivity* mortar yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir terhadap penetrasi klorida.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk menentukan laju dan kedalaman penetrasi klorida serta mengevaluasi *electrical resistivity* pada mortar yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir terhadap penetrasi klorida.

E. Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini maka ditetapkan batasan-batasan dalam penelitian ini, yaitu :

1. *Fly ash* yang digunakan merupakan abu terbang rendah kalsium (kelas F).
2. *Bottom Ash* yang digunakan merupakan abu endapan rendah kalsium (kelas C).
3. Semen yang digunakan adalah jenis semen campuran (*blended cement*), yaitu semen Portland Komposit (PCC).
4. *Fly ash* dan *Bottom Ash* digunakan sebagai pengganti 100% pasir pada campuran mortar.
5. Pengujian laju penetrasi klorida, kedalaman penetrasi klorida, dan *electrical resistivity* dilakukan pada umur benda uji 28 hari.
6. Perawatan benda uji direndam menggunakan air tawar.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan ASTM.

F. Sistematika Penulisan

Sesuai dengan aturan dan persyaratan untuk membantu sistematika penulisan tugas akhir, maka terdapat tahapan-tahapan yang telah diurutkan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang beberapa teori penting yang telah dilakukan terlebih dahulu yang memiliki keterkaitan erat dengan topik permasalahan serta dijadikan landasan dan acuan dalam melakukan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian. Terdapat flowchart yang berisikan langkah-langkah penelitian, lokasi serta waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data dan juga analisis yang digunakan untuk mebgolah data yang didapatkan dari laboratorium.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian kuat tekan benda uji mortar, laju penetrasi klorida, kedalaman penetrasi klorida, dan electrical resistivity benda uji mortar.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini terdapat kesimpulan hasil dari analisis penelitian yang telah dilakukan dan saran maupun rekomendasi yang dapat dilakukan untuk penelitian yang lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Monica Natalia (2017), melakukan penelitian *Fly ash* yang diaktifkan dengan alkali aktivator akan menggantikan posisi semen 100%. Campuran dari pasir, material ramah lingkungan yang kaya akan oksida, silika, alumium dan aktivatornya ini disebut dengan mortar geopolimer. Pada penelitian ini, akan diteliti *fly ash* yang diaktifkan dengan 3 variasi rasio 3:2, 4:2 dan 5:2 dari alkali aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$. Sedangkan properties yang ditinjau dari mortar adalah kuat tekan dan kuat tarik belah. Kuat tekan menggunakan benda uji kubus berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan jumlah 36 buah dan uji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Dari hasil pengujian didapatkan hasil uji kuat tekan untuk perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 3:2$ sebesar 37.07 MPa, 4:2 sebesar 39,81 MPa, 5:2 sebesar 35,15 MPa.

Zelic (2007), melakukan penelitian tentang bahan tambah *fly ash* memiliki ukuran butiran yang lebih bulat dan halus dibandingkan semen hal inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai filler. Konsep penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi (35%- 65%) dari berat semen sebagai filler telah dibuktikan pada teknologi beton high volume *fly ash* concrete (HVFAC) yang menghasilkan penambahan sifat flowability dari campuran. Lingkungan agresif merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi laju degradasi beton. Saat beton mengalami kontak dengan ion-ion agresif dari lingkungan

tersebut maka akan terjadi proses degradasi baik melalui proses fisik maupun kimiawi. Pada umumnya beton yang memiliki jumlah pori (porositas) rendah akan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan laju penetrasi ion-ion agresif yang masuk ke dalam beton baik melalui salah satu ataupun kombinasi dari mekanisme-mekanisme tersebut. Sementara itu faktor lingkungan yang mempengaruhi laju penetrasi adalah konsentrasi dan jenis ion agresif yang berada pada lingkungan tersebut. Pencegahan terhadap degradasi akibat serangan ion agresif dapat dilakukan dengan membatasi jumlah ion agresif tersebut dengan cara penggunaan *microsilica* agar beton lebih kedap dan pelapisan beton dengan *water proofer*.

Kurniasari (2017), melakukan penelitian pemanfaatan penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pozzolan pada binder geopolymer yang dimana hasil terbaik dengan kuat tekan tertinggi diperoleh ketika komposisi FA dan BA 50% yaitu 49,71 Mpa pada umur 56 hari dengan menggunakan perbandingan larutan NaOH dan natrium silikat sebesar 1,5. Sodium hidroksida merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan merupakan golongan basa kuat dalam sistem periodik unsur. Karena sifatnya yang sangat reaktif, keberadaan logam Na di alam tidak ditemukan dalam bentuk tunggal. NaOH dihasilkan melalui proses elektrolisis larutan NaCl. Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika

dilarutkan. Natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam FA sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sebagai alkali aktivator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. (Ilmiah, 2017).

Kwan dan Kong (2011), menyatakan bahwa ketahanan struktur beton bertulang pada dasarnya mengacu kemampuan dari suatu struktur dapat bertahan tanpa adanya kerusakan maupun gangguan pada performance yang berarti. Permasalahan durabilitas pada struktur beton bertulang sangat erat kaitannya dengan penurunan kekuatan pada struktur tersebut. Selain adanya aksi mekanik seperti kelebihan beban dan adanya penurunan, sebagian besar penyebab penurunan kekuatan pada struktur beton bertulang disebabkan karena permasalahan durability. Setiap struktur memiliki persyaratan ketahanan durabilitas yang berbeda. Hal ini tergantung pada lingkungan tempat beton tersebut berada dan properties yang diinginkan.

Fang (2004), menyatakan bahwa korosi pada beton sangat mempengaruhi kekuatan beton tersebut. Korosi menyebabkan memburuknya lekatan pada beton dikarenakan memburuknya lekatan antara beton dan tulangan sehingga kemampuan tulangan untuk memberikan kekuatan dan daktilitas akan berkurang dengan adanya kerusakan pada tulangan yang disebabkan oleh korosi.

Hilda, S.A Kristiawan, dan Wibowo (2017), melakukan penelitian pada beton HVFA-SCC penelitian ini didapatkan konsentrasi klorida lingkungan yang paling kritis menyerang beton

pada konsentrasi 2%. Semakin besar nilai D, Cs dan waktu perendaman akan mengakibatkan semakin besar konsentrasi klorida di dalam beton. beton yang berada pada lingkungan asam akan lebih cepat terkena korosi yang menimbulkan degradasi beton. semakin tinggi prosentase klorida pada beton, semakin pendek umur layan beton. Pada penelitian ini, prediksi pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1% - 4 % terhadap umur layan pada ketebalan selimut beton 5 cm pada beton high volume *fly ash self compacting concrete* (HVFA-SCC) pada kondisi lingkungan asam yang pasti terjadi korosi mampu menahan serangan klorida sampai umur ± 37 tahun. Prediksi pengaruh konsentrasi klorida lingkungan 1% - 4% terhadap ketebalan selimut beton sampai umur layan 50 tahun pada beton high volume *fly ash self compacting concrete* (HVFA-SCC) pada kondisi lingkungan asam yang pasti terjadi korosi sebesar ± 6 cm.

Atur Sirear (2006), melakukan penelitian untuk menentukan laju korosi tulangan dalam beton dengan menggunakan tahan listrik yang terjadi pada tulangnya. Laju korosi tulangan beton sangat dipengaruhi oleh mutu beton yang melindungi tulangan tersebut. Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan air normal untuk beton mutu K125, K175 dan K225 berturut-turut adalah $3.10 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $3.02 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $2.64 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$. Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan mengandung air laut untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $17.24 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $8.84 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6.14 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$. Perkiraan

laju korosi tulangan terletak pada lingkungan mengandung ion SO_4^{2-} untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $17.17 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $8.79 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$. Perkiraan laju korosi tulangan terletak pada lingkungan mengandung ion Cl^- untuk beton mutu K-125, K175 dan K-225 berturut-turut adalah $21.67 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$, $7.81 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$ dan $6.11 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{thn}$. Korosi tulangan beton yang tertinggi akan terjadi pada bangunan yang terlatak pada lingkungan yang mengandung ion Cl^- .

Astria Rossana dan Emil Adly (2020), melakukan penelitian Campuran yang terkandung dalam beton dan perawatan (curing) beton berpengaruh pada kuat tekan dan kualitas beton. Pada penelitian ini beton dengan bahan tambah admixtures yang direndam pada air normal dan air basa dengan diuji dengan UPVT untuk memperoleh nilai UPV dan kuat tekan beton. Hasil yang diperoleh bahwa kuat tekan aktual pada beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa meningkat seiring bertambahnya umur beton sama seperti nilai kepadatan beton yang selalu meningkat pula pada setiap bertambahnya umur beton. Benda uji dengan umur 7, 14, 28, 60, dan 90 memiliki nilai resistivitas sampel beton perendaman air normal mengalami kenaikan yang signifikan seiring bertambahnya umur beton sedangkan nilai resistivitas beton perendaman air basa lebih rendah. Nilai resistivitas yang mengalami kenaikan secara signifikan terjadi sejak umur tujuh hari dibandingkan

dengan sampel lainnya. Kenaikan nilai resistivitas yang signifikan terjadi pada umur 90 hari, khususnya pada sampel beton normal 1 dan beton normal 2 sebagai nilai resistivitas tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 2119,32 Ω .m dan 1974,06 Ω .m. Sedangkan pada sampel beton air basa juga terdapat kenaikan nilai resistivitas, namun tidak terlalu tinggi yaitu sebesar 455,22 Ω .m untuk sampel beton basa 1 dan sebesar 324 Ω .m untuk sampel beton basa 2. Nilai resistivitas pada beton perendaman air normal menunjukkan hasil yang lebih jauh lebih besar dibandingkan beton yang direndam dengan air basa yang selisihnya hingga 1657,08 Ohm.m atau sekitar 80,96%. Sehingga sampel beton perendaman air basa lebih mudah menghantarkan listrik.

B. Teori dan Aplikasi Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002). Mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat berupa tanah liat, kapur, maupun semen. Bila tanah yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar lumpur (mud mortar), bila kapur yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar kapur, dan bila semen yang dipakai sebagai bahan perekat maka disebut mortar semen. Pasir berfungsi sebagai pengisi (bahan yang direkat). Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan

ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halus. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya.

B.1 Tipe Mortar

Berdasarkan ASTM C270, *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, mortar untuk adukan pasangan dapat dibedakan atas 5 tipe, yaitu :

a. Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar.

b. Mortar Tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah

tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran pembuangan dan mainhole.

c. Mortar Tipe N

Tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya.

d. Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini sering digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki workabilitas yang baik dan biaya yang ekonomis.

e. Mortar Tipe K

Mortar tipe K memiliki kuat tekan dan kuat lekat lentur yang sangat rendah. Mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur.

Spesifikasi tipe mortar sesuai dengan ASTM C270-14a dapat dilihat

dalam **Tabel 1** di bawah ini :

Tabel 1. Persyaratan spesifikasi proporsi mortar

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)						Rasio	
		Semen Portland/ semen campur	Semen Mortar			Semen Pasangan			agregat
			M	S	N	M	S	N	Kapur Padam atau kapur (Pengukuran pada kondisi lembab atau gembur)
	M	1	...	...	...	...	...	...	Pasta $\frac{1}{4}$
	S	1	...	...	...	...	...	...	$> \frac{1}{4}$ sampai $\frac{1}{2}$
Semen	N	1	...	...	...	...	...	...	$> \frac{1}{2}$ sampai
Kapur									$1\frac{1}{4}$
	O	1	...	...	...	...	...	...	Tidak kurang dari $2\frac{1}{4}$ dan tidak lebih dari 3 kali jumlah

		darivolume terpisah material sementisius						
Semen Mortar	M	1	...	...	1	...	...	...
	M	...	1	...	...	...	...	...
	S	$\frac{1}{2}$	...	...	1	...	...	...
	S	...	...	1	...	...	...	...
	N	...	...	...	1	...	...	...
	O	...	...	...	1	...	...	...
Semen Pasangan	M	1	...	...	...	...	...	1
	M	...	...	...	...	1	...	...
	S	$\frac{1}{2}$	...	...	...	...	...	1
	S	...	...	...	...	...	1	...
	N	...	...	...	...	...	...	1
	O	...	...	...	...	...	...	1

Mortar jika ditinjau dari jenis bahan pengikatnya terbagi menjadi empat jenis, yaitu diantaranya sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1992):

- a) Mortar semen portland atau mortar semen merupakan campuran semen, pasir dan air pada proporsi yang sesuai. Perbandingan volume semen dan pasir berkisar pada 1 : 2 sampai dengan 1 : 6 atau lebih tergantung penggunaannya. Mortar semen lebih kuat dari jenis mortar lain, sehingga mortar semen sering digunakan untuk tembok, pilar, kolom atau bagian-bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini rapat air, maka juga sering digunakan untuk bagian luar dan yang berada di bawah tanah. Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus,

juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat.

- b) Mortar kapur adalah mortar yang dibuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Kapur yang dapat digunakan adalah fat lime dan hydraulic lime.
- c) Mortar polimer terdiri dari perekat polimer bisa saja termoplastik tetapi termosetting lebih sering di pakai. Pemakaian polimer untuk pengganti semenportland menyebabkan peningkatan biaya, untuk itu penambahan polimerakan efektif dan sepadan dengan kenaikan biaya pada aplikasi yang sesuai dimana biaya tinggi dapat setara dengan properties yang superior yang dituntut, terkompensasi dengan rendahnya biaya pekerja atau pemakaian energi yang rendah selama proses dan pemeliharaan. Pemakaian mortar pada kondisi bangunan tertentu disyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak di syaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 MPa.
- d) Mortar pozzolan adalah campuran antara mortar semen yang

ditambahkan dengan pozzolan. Pozzolan adalah bahan tambah yang baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas,

B.2. Sifat-Sifat Mortar

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan mortar maupun sifat-sifat mortar setelah mengeras perlu diketahui. sifat-sifat dari mortar antara lain:

- a) Keawetan (*Durability*) merupakan kemampuan mortar bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang telah direncanakan. Dalam hal ini perlu pembatasan nilai faktor air semen (fas) maupun pembatasan dosis minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.
- b) Kuat Tekan adalah kemampuan dari mortar untuk memikul atau menahan beban maupun gaya-gaya mekanis sampai terjadi kegagalan. Nilai kuat tekan mortar didapatkan melalui tata cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji sampai retak atau hancur.
- c) Modulus Elastisitas mortar adalah perbandingan antar kuat tekan mortar dengan regangan . Biasanya ditentukan pada 25 % - 30 % .
- d) Kelecekan (*workability*) adalah sifat-sifat adukan mortar yang

ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan finishing. Dengan kata lain kelecakan adalah besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

Adapun sifat mortar yang diterangkan dalam SNI 6882-2014 dapat dilihat pada **Tabel 2.** di bawah ini :

Tabel 2. Persyaratan spesifikasi sifat mortar

	Tipe	Kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari, min, MPa (psi)	Retensi air, min, %	Kadar udara, maks, % ^B	Rasio agregat (diukur dalam kondisi lembab, lepas)
Semen-kapur	M	17,2 (2 500)	75	12	Tidak kurang dari 2¼ dan tidak lebih dari 3½
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14 ^C	
	O	2,4 (350)	75	14 ^C	
Semen Mortar	M	17,2 (2 500)	75	12	jumlah dari volume volume terpisah dari material sementisius
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14 ^C	
	O	2,4 (350)	75	14 ^C	
Semen Pasangan	M	17,2 (2 500)	75	18	
	S	12,4 (1 800)	75	18	
	N	5,2 (750)	75	20 ^D	
	O	2,4 (350)	75	20 ^D	

C. Material Penyusun Mortar

Penjelasan terkait material-material yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah sebagai berikut :

C.1 Semen Portland

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut. Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton maupun mortar. Semen portland didefinisikan sebagai perekat hidrolis, yaitu bahan perkat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan berbentuk benda padat yang tidak larut dalam air. Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1989:3.2-8).

C.1.1 Jenis-Jenis Semen

Berdasarkan Badan Standar Nasional Indonesia terdapat beberapa jenis semen, antara lain :

a. Semen Portland

Adalah jenis semen yang paling umum dari semen dalam penggunaan umum di seluruh dunia karena merupakan bahan dasar beton, dan plesteran semen.

b. Semen Portland Komposit

Digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan OPC dengan kuat tekan yang sama. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan OPC, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plester yang lebih rapat dan lebih halus.

c. Semen Putih

Digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (finishing), sebagai filler atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (calcite) limestonemurni.

d. Semen Portland Pozzolan

Adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling clinker, gypsum dan bahan pozzolan. Produk ini lebih tepat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti: jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi dan fondasi pelat penuh.

e. Super Mansory Cement

Semen ini lebih tepat digunakan untuk konstruksi perumahan gedung, jalan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. Dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng beton, *hollow brick*, *paving block*, tegel dan bahan bangunan lainnya.

C.1.2. Tipe-Tipe Semen

Kandungan senyawa kimia semen yang ada pada semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Dilihat dari susunan senyawanya, *portland cement* dibagi menjadi lima jenis, yaitu :

a. *Ordinary Portland Cement*

Semen type 1, semen yang ada di alamnya penggunaannya tidak secara khusus (pemakaian secara umum). Biasanya digunakan pada bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

b. *Moderate sulfat resistance*

Semen type 2, mengandung kadar $C_3A < 8\%$. Semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panashidrasi sedang. Semen ini digunakan untuk bangunan dan konstruksi beton yang selalu berhubungan dengan air kotor, air tanah atau pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung garam sulfat dan saluran air limbah atau bangunan yang berhubungan langsung dengan air rawa.

c. *High Early Strength Portland Cement*

Semen tipe 3, memiliki kadar C_3S dan C_3A yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase pengikatan terjadi. Biasanya digunakan untuk bangunan di daerah

bertemperatur rendah.

d. Low Heat Of Hydration

Semen tipe 4, kadar C_3S maksimum 35% dan C_3A maksimum 5%. Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah. Digunakan pada pekerjaan beton volume besar (beton massa) dan massif seperti bendungan,

e. Sulfat Resistance Cement

Semen tipe 5, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Biasanya digunakan pada bangunan yang selalu berhubungan dengan air laut, saluran limbah industri, bangunan yang berpengaruh oleh uap kimia dan gas agresif, serta untuk pondasi yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat tinggi.

C.2 Agregat Halus

Adapun agregat halus yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah sebagai berikut :

C.2.1 Pasir

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batuan mempunyai ukuran butir 5 mm (SNI 03-2847-2002). Syarat-syarat agregat halus berdasarkan PBI 1971 N-2 adalah :

- a) Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik

matahari dan hujan.

- b) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat halus harus dicuci.
- c) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan aduk agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
- d) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% berat

C.2.2 Abu Terbang (*Fly ash*)

Berdasarkan SNI 03-6414-2002, abu terbang adalah limbah

hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Dikutip dari (Martinus, 2015) menyatakan bahwa, *fly ash* yang merupakan sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (boiler) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Mengutip dari pendapat (Hardjito, 2001) bahwa *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi 10 semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Adanya kalsium hidroksida dalam beton selama ini ditengarai sebagai sumber perusak beton sebelum waktunya, khususnya bila beton berada di lingkungan yang agresif. Karenanya, penambahan atau penggantian sejumlah semen dengan abu terbang berpotensi menambah keawetan beton tersebut. Selama ini abu terbang tidak dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, sehingga memiliki potensi mencemari lingkungan. Klasifikasi *fly ash* terbagi menjadi 3 macam menurut SNI 2460-2014, sebagai berikut :

- a. Kelas N, pozzolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah diatomae (hasil lapukan); batu rijang opalan dan serpih; tufa dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih,
- b. Kelas F, abu terbang dari batubara yang memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas F. Abu terbang kelas F mempunyai sifat Pozzolanik. Abu terbang kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous, tetapi dapat juga dihasilkan dari batubara subbituminous dan lignite.
- c. Kelas C, abu terbang dari batubara memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas C, abu terbang kelas C memiliki sifat Pozzolanik dan sementisius (cementitious). Abu terbang kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran lignite atau batubara subbituminous, dan dapat juga dihasilkan dari antrasit atau batubara bituminous. Abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10%.

Komposisi kimia pada *fly ash* juga diatur dalam SNI 2460-2014 dimana *fly ash* dan Pozzolan alam harus memenuhi persyaratan komposisi kimia yang tercantum pada Tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Komposisi Kimia *Fly ash* (SNI 2460, 2014)

Uraian	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70	70	50
SO ₃ , maks, %	4	5	5
Kadar Air, maks, %	3	3	3
Hilang pijar, maks, %	10	6	6

C.2.3 Abu Endapan (*Bottom Ash*)

Bottom Ash merupakan material yang tidak terbakar dengan sempurna dari pembakaran suatu material, seperti pada pembakaran batu bara. *Bottom Ash* ini diperoleh setelah pembakaran selesai. Biasanya *Bottom Ash* menempel pada bagian bawah atau dinding dari tungku pembakaran tersebut. Dengan kata lain *bottom ash* adalah limbah dari proses pembakaran batu bara pada PLTU dan mempunyai ukuran partikel lebih besar serta lebih berat dari *fly ash*, sehingga memungkinkan *Bottom Ash* dapat jatuh ke dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampung debu (ashhopper).

Tabel 4. Gradasi *Bottom Ash*

ASTM SIEVE		Weight Retained (gr)	Accumulated Retained (gr)	Accumulated Retained (%)	Passing (%)	Specification SNI.T-15-1990-03	
Inch/No.	mm					min	Max
3/8 "	9.5	0	0	0.0	100.0	100.0	100.0
# 4	4.75	20	1.0	1.0	99.0	90.0	100.0
# 8	2.36	161	8.1	9.2	90.8	60.0	95.0
# 16	1.18	258.2	13.1	22.2	77.8	30.0	70.0
# 30	0.60	590.3	29.9	52.1	47.9	15.0	34.0
# 50	0.30	688	34.8	86.9	13.1	5.0	20.0
# 100	0.15	242	12.2	99.1	0.9	0.0	10.0
PAN		18	0.9	100.0	0.0	0.0	0.0

C.3. Air

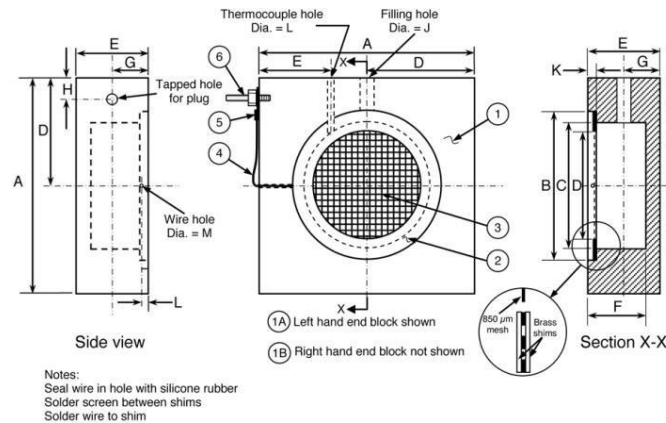
Pada dasarnya kebutuhan semen akan air untuk proses hidrasi hanyalah sekitar 25% dari total bobot semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25% maka akan terjadi kelecakan dan kemudahan pengerjaan (*workability*) tidak dapat tercapai. Adonan semen yang mudah dikerjakan dapat didefinisikan sebagai adonan yang pengadukannya mudah, mudah di angkut, dan dituangkan ke dalam cetakan untuk dibentuk (Hewes, 1949). Banyaknya air yang digunakan dalam campuran semen sering disebut dengan istilah Faktor Air Semen (FAS). Nilai FAS yang biasa digunakan adalah antara lain 0,4 – 0,65 (Mulyono, 2003).

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk. Kualitas air mempengaruhi kekuatan mortar, maka kemurnian dan kualitas air untuk campuran mortar perlu mendapat perhatian. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya, beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya. Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia yang terjadi antara semen dan air yang menyebabkan campuran tersebut menjadi keras setelah lewat beberapa waktu tersebut (Nawy, 1998). Berdasarkan PBI 1971 N-2 air untuk perawatan dan pembuatan mortar tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam, bahan-bahan organik, atau bahan lain yang dapat merusak mortar atau tulangnya.

D. Laju Penetrasi Klorida

Sesuai dengan ASTM C1202-12, pengujian ini dilakukan untuk menentukan ketahanan benda uji beton terhadap penetrasi ion klorida. Sesuai dengan ASTM C1202-12 yang mengacu pada AASHTO T-259, dimana pengujian ini memiliki berbagai variasi benda uji yang mencakup kandungan semen, rasio air atau semen, jenis dan proporsi agregat, bahan tambahan, maupun cara

perawatan daripada benda uji itu sendiri.



Gambar 1. Skema pengujian RCPT (ASTM C1202-12)

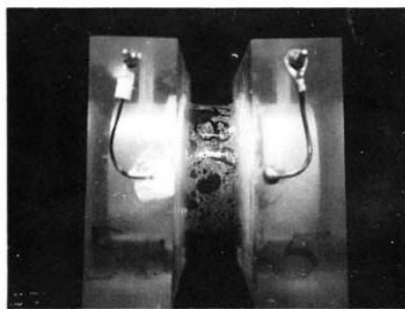


FIG. 4 Specimen Ready for Test

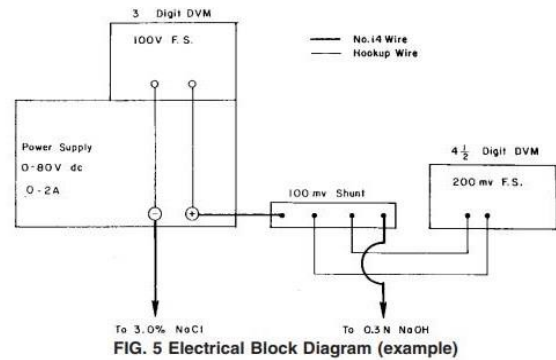


FIG. 5 Electrical Block Diagram (example)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Apr 16 07:38:05 EDT 2012 5
 Downloaded/printed by
 Dogu Akdeniz Universitesi pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

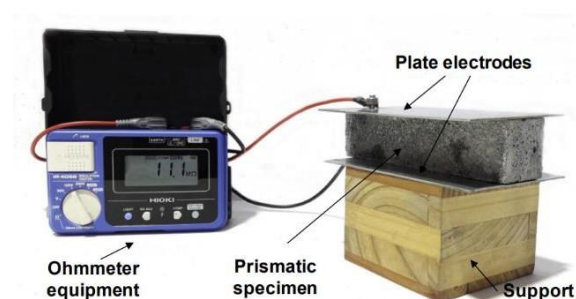
Gambar 2. Skema pengujian RCPT (ASTM C1202-12)

E. Kedalaman Penetrasi Klorida

Berdasarkan ASTM C-1556, pengujian ini dilakukan untuk menghitung jumlah paparan ion klorida pada benda uji yang telah dibuat. Pengujian kedalaman penetrasi klorida erat kaitannya dengan Hukum Fick II. Adapun ketahanan penetrasi klorida dipengaruhi oleh faktor lingkungan, komposisi campuran, usia benda uji, dan juga cara penyimpanan benda uji.

F. Electrical resistivity

Samouelian (2005) menjelaskan prinsip dan teori dasar metode survei resistivitas tanah, variasi resistivitas listrik dalam fungsi dari properti tanah, piranti-piranti listrik untuk survei satu, dua, dan tiga dimensi, interpretasi data serta kelebihan dan keterbatasan metode survei resistivitas tanah. Pada salah satu penelitiannya yang membahas tentang variasi resistivitas listrik dalam fungsi dari properti-properti tanah menyatakan bahwa nilai resistivitas turun seiring dengan naiknya kandungan air, konduktivitas air dan naiknya temperatur. Sementara itu, Liu (2008) melakukan uji resistivitas pada campuran tanah-semen menggunakan metode probe dua elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistivitas listrik tanah-semen meningkat seiring meningkatnya rasio campuran semen dan waktu, sementara resistivitas listrik justru menurun dengan meningkatnya kandungan air, derajat kejenuhan, dan rasio air semen.



Gambar 3. Skema pengujian *electrical resistivity*