

TUGAS AKHIR

UJI KOROSI TULANGAN BAJA DAN KARBONASI PADA MORTAR *PORTLAND SLAG CEMENT* (PSC) DENGAN FAS 0,5 DAN 0,6

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

SINGGIH CIPTA ARDANA

20200110075

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Singgih Cipta Ardana

NIM : 20200110075

Judul : Uji Korosi Tulangan Baja Dan Karbonasi Pada Mortar
Portland Slag Cement (PSC) Dengan FAS 0.5 Dan 0.6

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul "*Durability of geopolymer mortar as patch repair material against chloride and carbonation-induced corrosion*" dan didanai melalui skema hibah penelitian dasar pada tahun 2023/2024 oleh LRI UMY pada Tahun Anggaran 2023/2024 dengan nomor hibah 47/R-LRI/XI/2023.

Yogyakarta, Maret 2024

Penulis,



Singgih Cipta Ardana

Dosen Peneliti,



Dr. Eng. Ir. Pinta Astuti, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Singgih Cipta Ardana

NIM : 20200110075

Judul : Uji Korosi Tulangan Baja Dan Karbonasi Pada Mortar
Portland Slag Cement (PSC) Dengan Fas 0.5 Dan 0.6

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, Maret 2024

Yang membuat pernyataan



Singgih Cipta Ardana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam, saya mengakui bahwa keberhasilan ini adalah anugerah dari Yang Maha Kuasa. Sujud dan syukur saya haturkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan, petunjuk, dan rahmat-Nya selama perjalanan ini. Shalawat dan salam selalu limpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menjadi panutan dalam segala aspek kehidupan.

Melalui setiap liku dan rintangan, telah menanamkan kekuatan, ketekunan, dan semangat dalam setiap langkah. Halaman ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri sebagai pengakuan atas perjuangan dan komitmen untuk terus berkembang dan mencapai impian yang lebih tinggi.

Kepada Mama dan Bapa yang tercinta, tidak ada kata yang dapat mencerminkan rasa terima kasih saya atas cinta, dukungan, dan pengorbanan yang tanpa batas. Setiap langkah saya didukung oleh doa dan kasih sayang kalian, dan saya berjanji untuk senantiasa menjadi anak yang membanggakan.

Tidak lupa saya juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing saya, Dr. Eng. Ir. Pinta Astuti, S.T., M.Eng. pilar dalam perjalanan akademik saya. Melalui bimbingan, arahan, dan ilmu yang telah dibagi, saya telah tumbuh dan berkembang sebagai orang yang lebih berilmu. Terima kasih atas kesabaran dan dedikasi dalam membimbing.

Kepada teman-teman yang setia, kalian adalah sekutu dalam setiap langkah saya. Bersama-sama, telah menikmati kebahagiaan dan mengatasi kesulitan. Cerita kehidupan yang kita bagikan akan terus hidup dalam ingatan, dan saya berterima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini.

PRAKATA



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat dan hidayat-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai potensial korosi tulangan baja dan kedalaman karbonasi pada mortar *Portland Slag Cement* (PSC) dengan fas 0.5 dan 0.6.

Atas segala bimbingan, petunjuk dan saran hingga terselesainya tugas akhir ini, penyusun ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Pinta Astuti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Ibu Ir. Fanny Monika, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
4. Semua pihak yang telah membantu sehingga laporan ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini dikerjakan berdasarkan teori yang kami dapatkan dibangku kuliah. Penyusun menyadari betul, bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Namun, penyusun merasa puas karena dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan segala kemampuan diiringi dengan doa, dan hanya kepada Allah SWT. semua dikembalikan.

Wassalammu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Maret 2024

Singih Cipta Ardana

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN | v |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| PRAKATA | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xviii |
| DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG | xix |
| DAFTAR ISTILAH | xx |
| DAFTAR SINGKATAN | xxi |
| ABSTRAK | xxii |
| Abstract | xxiii |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Lingkup Penelitian | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 5 |
| 1.6 Pendahuluan | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2.1 Korosi pada baja dalam beton | 5 |
| 2.2.2 Pengaruh kelembaban udara terhadap laju korosi | 7 |

| | | |
|---------------------------------|---|----|
| 2.2.3 | Pemanfaatan semen portland slag terhadap sifat mekanik beton..... | 10 |
| 2.2.4 | Analisis potensial korosi dengan metode <i>Half-Cell potensial</i> | 12 |
| 2.2 | Dasar Teori..... | 29 |
| 2.3.1 | Mortar | 29 |
| 2.3.2 | Bahan Penyusun Mortar..... | 29 |
| 2.3.3 | Pemeriksaan Agregat | 32 |
| 2.3.4 | Pemeriksaan Material Baja | 33 |
| 2.3.5 | <i>Mix Design</i> | 33 |
| 2.3.6 | <i>Fresh Properties</i> | 34 |
| 2.3.6.1 | Densitas..... | 34 |
| 2.3.6.2 | <i>Flow Tables</i> | 34 |
| 2.3.7 | <i>Curing</i> | 35 |
| 2.3.8 | Korosi..... | 35 |
| 2.3.9 | <i>Half-Cell Potential</i> | 37 |
| 2.3.10 | Karbonasi | 38 |
| BAB III. METODE PENELITIAN..... | | 39 |
| 3.1 | Materi..... | 39 |
| 3.2 | Bahan | 39 |
| 3.3 | Alat..... | 42 |
| 3.4 | Tempat dan Waktu Penelitian..... | 47 |
| 3.5 | Tahapan Penelitian..... | 47 |
| 3.5.1 | Studi Literatur | 49 |
| 3.5.2 | Persiapan Alat dan Bahan | 49 |
| 3.5.3 | Pengujian Material | 49 |
| 3.5.3.1 | Pengujian Agregat Halus | 49 |
| 3.5.4 | <i>Mix Design</i> | 52 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.5.5 | <i>Trial And Error Mix Design</i> | 52 |
| 3.5.5.1 | <i>Flow table test</i> | 52 |
| 3.5.5.2 | Densitas..... | 52 |
| 3.5.6 | Pembuatan Benda Uji | 53 |
| 3.5.7 | <i>Exposure Condition</i> | 55 |
| 3.5.8 | Proses <i>Curing</i> | 56 |
| 3.5.9 | Uji Potensial Korosi..... | 56 |
| 3.5.10 | Uji Karbonasi | 57 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | | 58 |
| 4.1 | Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Material | 58 |
| 4.1.1 | Hasil Pemeriksaan Agregat Halus | 58 |
| 4.1.1.1 | Pengujian Analisis Gradasi Agregat Halus (%)..... | 58 |
| 4.1.1.2 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus..... | 59 |
| 4.1.1.3 | Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus..... | 60 |
| 4.2 | <i>Mix Design</i> | 60 |
| 4.3 | Pengujian <i>Fresh Properties</i> | 61 |
| 4.4 | Pengujian Potensial Korosi..... | 62 |
| 4.4.1 | Potensial Korosi pada Masa Perawatan | 62 |
| 4.4.1.1 | Pengaruh Faktor Air Semen..... | 62 |
| 4.4.1.2 | Pengaruh Tebal Selimut Mortar..... | 63 |
| 4.4.2 | Potensial Korosi pada Masa Paparan..... | 64 |
| 4.4.2.1 | Pengaruh Faktor Air Semen..... | 65 |
| 4.4.2.2 | Pengaruh <i>Exposure</i> | 67 |
| 4.4.2.3 | Pengaruh Tebal Selimut Mortar..... | 70 |
| 4.5 | Hasil Pengujian Karbonasi..... | 72 |
| 4.6 | Hubungan Pengujian <i>Half-Cell Potential</i> dan Karbonasi..... | 74 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 76 |
| 5.1 Kesimpulan | 76 |
| 5.2 Saran | 76 |
| DAFTAR PUSTAKA | xxv |
| LAMPIRAN..... | xxx |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Hubungan Antara Kekentalan Beton (Habibie dkk., 2023) | 6 |
| Tabel 2.2 | Perbedaan Sifat dan Karakteristik Beton Segar (Setiati & Halim, 2018)..... | 11 |
| Tabel 2.3 | Hubungan hasil uji <i>resistivity</i> terhadap tingkat korosi (Setiati & Halim, 2018) | 12 |
| Tabel 2.4 | Hasil pengujian kedalaman karbonasi beton (Wibowo dkk, 2020)..... | 21 |
| Tabel 2.5 | Data hasil analisis pengukuran <i>Dam Concert Faced</i> (Purwono dkk, 2023)..... | 22 |
| Tabel 2.6 | Data hasil analisis pengukuran <i>Dam Pharaphet</i> (Purwono dkk, 2023)..... | 23 |
| Tabel 2.7 | Data hasil analisis pengukuran <i>inlet spillway</i> (Purwono dkk, 2023)..... | 23 |
| Tabel 2.8 | Perbedandingan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang | 23 |
| Tabel 2.9 | Gradasi agregat mortar | 31 |
| Tabel 2.10 | Klasifikasi korosi (ASTM, 2017) | 37 |
| Tabel 3.1 | Sifat fisik <i>Portland slag cement</i> , Indocement | 40 |
| Tabel 3.2 | Syarat kimia..... | 41 |
| Tabel 4.1 | Hasil pengujian gradasi butiran agregat halus..... | 58 |
| Tabel 4.2 | Hasil pengujian gradasi butiran agregat halus lanjutan..... | 59 |
| Tabel 4.3 | Hasil pemeriksaan uji material agregat halus..... | 60 |
| Tabel 4.4 | <i>Mix Design</i> 1 m ³ dengan FAS 0,5 dan FAS 0,6 | 61 |
| Tabel 4.5 | Klasifikasi <i>Workability</i> (Mermerdaş dkk., 2017)..... | 61 |
| Tabel 4.6 | Hasil Pengujian <i>Flow Table</i> | 61 |
| Tabel 4.7 | Hasil Pengujian Densitas | 62 |
| Tabel 4.8 | Kedalaman karbonasi mortar PSC..... | 73 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Proses terjadinya korosi pada tulangan baja | 5 |
| Gambar 2.2 Skema metode <i>half-cell potential mapping</i> (Habibie dkk., 2023) .. | 6 |
| Gambar 2.3 Nilai potensial korosi kolom K1 (Habibie dkk., 2023) | 7 |
| Gambar 2.4 Nilai potensial korosi plat PL1 (Habibie dkk., 2023) | 7 |
| Gambar 2.5 Kurva laju korosi udara terbuka di Kota Padang (Alzam dkk., 2021)..... | 8 |
| Gambar 2.6 Kurva laju korosi udara terbuka di Kota Payakumbuh (Alzam dkk., 2021)..... | 9 |
| Gambar 2.7 Kurva laju korosi udara terbuka terlindungi di Kota Padang (Alzam dkk., 2021)..... | 9 |
| Gambar 2.8 Kurva laju korosi udara terbuka terlindungi di Kota Pakayumbuh (Alzam dkk., 2021)..... | 10 |
| Gambar 2.9 Grafik hubungan nilai resistivity terhadap umur beton (Setiati & Halim, 2018)..... | 12 |
| Gambar 2.10 Hasil pengujian HCP pada tulangan dengan coating dan non- coating (Astuti dan Fahma, 2022) | 13 |
| Gambar 2.11 Hasil pengujian HCP pada tulangan tanpa cat (non coating) (Astuti dan Fahma, 2022) | 13 |
| Gambar 2.12 Hasil pengujian <i>half-cell potential</i> pada tulangan dengan cat (coating) (Astuti dan Fahma, 2022)..... | 13 |
| Gambar 2.13 Peta <i>half-cell potential</i> tulang rusuk longitudinal dengan potensi negatif terbesar (Kiviste dkk., 2019) | 15 |
| Gambar 2.14 Peta <i>half-cell potential</i> tulang rusuk longitudinal dengan potensi negatif terendah (Kiviste dkk., 2019) | 15 |
| Gambar 2.15 Proses depolarisasi pada spesimen korosi awal tinggi(Eric dkk., 2019)..... | 16 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.16 Proses depolarisasi pada spesimen korosi awal rendah (Eric dkk., 2019)..... | 16 |
| Gambar 2.17 Perubahan potensial spesimen korosi awal tinggi selama 30 hari (Eric dkk., 2019)..... | 16 |
| Gambar 2.18 Perubahan potensial spesimen korosi awal rendah selama 30 hari (Eric dkk., 2019)..... | 16 |
| Gambar 2.19 Kolom RC digunakan dalam penelitian (Adriman dkk., 2022) .. | 17 |
| Gambar 2.20 Nilai potensial <i>half-cell potential</i> benda uji CNI (Harahap dkk., 2019)..... | 18 |
| Gambar 2.21 Nilai potensial <i>half-cell potential</i> benda uji non-CNI (Harahap dkk., 2019)..... | 18 |
| Gambar 2.22 Potensial korosi pada BBSTA (Elmyra dan Fonna, 2020)..... | 19 |
| Gambar 2.23 Perbandingan nilai potensial korosi dari semua beton (Elmyra dan Fonna, 2020) | 20 |
| Gambar 2.24 Kapasitas penampang balok dalam memikul momen lentur (Rasyid dkk., 2022) | 20 |
| Gambar 2.25 Grafik hubungan kedalaman karbonasi dengan variasi komposisi metakaolin (Wibowo dkk, 2020) | 22 |
| Gambar 2.29 Sekema pengujian <i>half-cell potential</i> (Astuti dan Fahma, 2022) | 37 |
| Gambar 3.1 Air..... | 39 |
| Gambar 3.2 Agregat halus..... | 39 |
| Gambar 3.3 Portland slag cement | 40 |
| Gambar 3.4 Baja tulangan..... | 41 |
| Gambar 3.5 <i>Plasticizer</i> | 41 |
| Gambar 3.6 <i>Phenophthalein</i> | 42 |
| Gambar 3.7 <i>Digital Multimeter</i> dan <i>Reference Electrode</i> | 42 |
| Gambar 3.8 Skun kabel..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.9 Saringan..... | 43 |
| Gambar 3.10 Nampan | 43 |
| Gambar 3.11 <i>Box Styrofoam</i> | 43 |
| Gambar 3.12 <i>Concrete Mixer</i> | 44 |
| Gambar 3.13 Bekisting kubus dan silinder | 44 |
| Gambar 3.14 Jangka sorong | 44 |
| Gambar 3.15 Timbangan digital | 45 |
| Gambar 3.16 Lem <i>Soligen silicon</i> | 45 |
| Gambar 3.17 Oli..... | 45 |
| Gambar 3.18 Sekop kecil | 46 |
| Gambar 3.19 <i>Flow table</i> | 46 |
| Gambar 3.20 Pipa PVC | 46 |
| Gambar 3. 21 Penggaris | 47 |
| Gambar 3.22 <i>Elektric Sieve shaker</i> | 47 |
| Gambar 3.23 Bagan diagram alir | 47 |
| Gambar 3.24 Pengujian gradasi agregat halus | 49 |
| Gambar 3.25 Pengujian berat jenis agregat halus | 50 |
| Gambar 3.26 Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus..... | 51 |
| Gambar 3.27 Pengujian kadar air agregat halus..... | 51 |
| Gambar 3.28 Pengujian <i>flow table</i> | 52 |
| Gambar 3.29 Uji densitas | 53 |
| Gambar 3.30 Proses pembuatan, Kondisi kepingan Slag (a), Tahap pengayakan slag (b), Slag lolos saringan no. 100 (c), Semen portland (d), Tahap pencampuran slag dengan semen portland (e), pencampuran slag dengan semen portland (f)..... | 53 |
| Gambar 3. 31 Desain benda uji silinder | 54 |
| Gambar 3.32 Desain tampak samping benda uji kubus | 54 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.33 Desain tampak atas benda uji kubus | 55 |
| Gambar 3.34 Pelapisan cat <i>epoxy</i> | 55 |
| Gambar 3.36 Sketsa pengujian <i>half cell potential</i> | 57 |
| Gambar 4.1 Grafik persen lolos kumulatif..... | 59 |
| Gambar 4.2 Grafik gradasi agregat halus daerah 3 | 59 |
| Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 5 cm pada masa <i>curing</i> | 63 |
| Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 3 cm pada masa <i>curing</i> | 63 |
| Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5 pada masa <i>curing</i> ... | 64 |
| Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 pada masa <i>curing</i> ... | 64 |
| Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 5 cm, <i>exposure wet</i> <i>condition</i> | 65 |
| Gambar 4.8 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 5 cm, <i>exposure dry</i> <i>condition</i> | 65 |
| Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 5 cm, <i>exposure dry-wet</i> <i>condition</i> | 66 |
| Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 3 cm <i>exposure wet</i> <i>condition</i> | 66 |
| Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 3 cm <i>exposure dry</i> <i>condition</i> | 67 |
| Gambar 4.12 Grafik hasil pengujian HCP tebal selimut 3 cm <i>exposure dry-</i> <i>wet condition</i> | 67 |
| Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5 tebal selimut 5 cm | 68 |
| Gambar 4.14 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 tebal selimut 5 cm | 68 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.15 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5 tebal selimut 3 cm | 69 |
| Gambar 4.16 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 tebal selimut 3 cm | 69 |
| Gambar 4.17 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5, <i>exposure wet condition</i> | 70 |
| Gambar 4.18 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5, <i>exposure dry condition</i> | 70 |
| Gambar 4.19 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,5 <i>exposure dry-wet condition</i> | 71 |
| Gambar 4.20 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 <i>exposure wet condition</i> | 71 |
| Gambar 4.21 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 <i>exposure dry condition</i> | 71 |
| Gambar 4.22 Grafik hasil pengujian HCP mortar FAS 0,6 <i>exposure dry-wet condition</i> | 72 |
| Gambar 4.23 Pembelahan benda uji karbonasi | 72 |
| Gambar 4.24 Benda uji karbonasi FAS 0,5, (a) <i>exposure dry condition</i> , (b) <i>exposure wet condition</i> , (c) <i>exposure dry-wet cycle</i> | 73 |
| Gambar 4.25 Benda uji karbonasi FAS 0,6, (a) <i>exposure dry condition</i> , (b) <i>exposure wet condition</i> , (c) <i>exposure dry-wet cycle</i> | 73 |
| Gambar 4.26 Hubungan uji <i>half-cell potential</i> dan karbonasi | 74 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian gradasi agregat halus

Lampiran 1. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Lampiran 2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Lampiran 3. Pengujian kadar air agregat halus

Lampiran 4. Pengujian densitas