

TESIS
PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG PADA
DAERAH DENGAN KADAR ASAM TINGGI
MENGGUNAKAN MORTAR GEOPOLIMER

SEPTEDIANANTA



REKAYASA STRUKTURAL
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2024

TESIS
PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG PADA
DAERAH DENGAN KADAR ASAM TINGGI
MENGGUNAKAN MORTAR GEOPOLIMER

Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Lambung Mangkurat

Oleh
SEPTEDIANANTA
NIM: 2220828310030



REKAYASA STRUKTURAL
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2024

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL

**Perkuatan Balok Beton Bertulang Pada Daerah Dengan Kadar Asam Tinggi
Menggunakan Mortar Geopolimer**

oleh

SEPTEDI ANANTA, ST
NIM: 2220828310030

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 5 Juli 2024
dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :

Ketua	: Wiku Adhiwicaksana Krasna S.T, M.Eng, Ph.D NIP 198606282012121002	
Anggota 1	: Ade Yuniati Pratiwi, S.T.,M.Sc, PhD NIP 199003062022032010	
Anggota 2	: Ir. Ida Barkiah, M.T NIP 196911101993032001	
Anggota 3	: Dr. Ir. Ratni Nurwidayati, MT.,M.Eng.Sc NIP 196901061995022001	
Pembimbing Utama	: Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, S.T.,M.Eng NIP 197907232005012005	

Banjarmasin, 5 juli 2024
diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,



Dr. Mahmud, ST., MT.
NIP. 19740107 199802 1 001

Koordinator Program
Studi Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, S.T.,M.Eng
NIP. 19790723 200501 2 005

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan penelitian yang telah saya lakukan. Segala kutipan dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana mestinya. Tesis ini belum pernah dipublikasikan untuk keperluan lain oleh siapapun juga.

Jika dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima hukuman dari ketidak benaran pernyataan tersebut.

Banjarmasin, 5 Juli 2024
Yang Membuat Pernyataan,

SEPTEDI ANANTA
NIM: 2220828310030

ABSTRAK

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG PADA DAERAH DENGAN KADAR ASAM TINGGI MENGGUNAKAN MORTAR GEOPOLIMER

SEPTEDI ANANTA, ST
NIM: 2220828310030

Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M. Eng
Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng. Sc

Dimasyarakat sering terjadi kasus alih fungsi bangunan yang peruntukannya tidak sesuai dengan perencanaan awal, contohnya ada bangunan dua lantai, yang awalnya pada lantai dua direncanakan untuk tempat tinggal, tetapi pada pelaksanaannya di gunakan sebagai gudang atau fungsi lain, ataupun juga ada kasus sebuah bangunan lantai dua yang awalnya untuk kantor ternyata pada pelaksanaannya di gunakan sebagai aula pertemuan atau gudang. Hal ini akan memaksa balok beton pada bangunan menerima beban berlebih dari beban rencana, sehingga bisa menyebabkan adanya retakan/atau patahan pada struktur bangunan tersebut. Kerusakan ini akan diperparah apabila suatu bangunan tersebut berada pada lingkungan rawa dan lahan gambut yang memiliki air dengan derajat keasaman tinggi. Sering kali dalam beberapa konstruksi, terutama konstruksi beton yang selalu terendam air atau sering terendam air seperti pondasi dan gorong-gorong saluran air, akan mengalami kerusakan karena lumut, atau mengalami peningkatan porositas karena keasaman air sehingga rapuh, terutama di daerah Kalimantan yang relative banyak rawa-rawa dan lahan gambut. Air gambut dengan kandungan zat organik yang tinggi memiliki derajat keasaman (pH) yang rendah yang mengakibatkan air tersebut bersifat asam (Kusnaedi, 2006). Berdasarkan kriteria rendah dan indikator untuk keasaman yang rendah dengan sebagian besar gambut Kalimantan bersifat sangat masam dengan pH antara 3–5,0 (Wahyunto, 2003). Tujuan penelitian ini menganalisis seberapa besar pengaruh perkuatan mortar geopolimer terhadap *durability* beton akibat proses korosi dengan kadar air asam tinggi, menganalisis seberapa Besar pengaruh perkuatan mortar geopolimer terhadap beton normal yang telah di pengaruhi air air dengan pH rendah (± 3) dalam menahan beban tekan dan lentur.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beton normal yang mendapat perkuatan dengan mortar geopolimer kenaikan responsipnya terhadap kuat tekan sangat sedikit di banding dengan beton normal yang di perkuat dengan beton normal yang sama-sama di rendam dengan air yang pH rendah (± 3). Akan tetapi beton yang sudah diperkuat dengan mortar geopolimer kemampuan untuk menerima beban luar (P) meningkat hamper 300%. Dan juga terhadap korosi akibat kadar air dengan pH rendah (± 3) lebih tahan dari pada beton normal ataupun Benton normal yang d perkuat beton normal

Demikian juga dengan analisa kuat lenturnya, bahwa balok beton normal yang di perkuat dengan mortar gepolimer mengalami peningkatan yang sangat besar untuk menahan beban luar.

Kata Kunci: *Durabilitas, Fly Ash, Beton normal, geopolimer, mortar geopolimer, beton geopolimer*

ABSTRACT

STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE BEAM IN AREAS WITH HIGH ACID CONTENT USING GEOPOLYMER MORTAR

**SEPTEDI ANANTA, ST
NIM: 2220828310030**

**Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M. Eng
Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng. Sc**

In society there are often cases of conversion of functions of buildings whose purpose is not in accordance with the initial planning, for example there are two-story buildings, where initially the second floor was planned for residence, but in practice it was used as a warehouse or other function, or there are also cases of a second-story building What was originally used as an office turned out to be used as a meeting hall or warehouse. This will force the concrete beams in the building to receive excessive loads compared to the planned load, which can cause cracks/or fractures in the building structure. This damage will be exacerbated if a building is located in a swamp and peatland environment that has water with a high degree of acidity. Often times, several constructions, especially concrete constructions that are always submerged in water or frequently submerged in water, such as foundations and water channel culverts, will experience damage due to moss, or experience increased porosity due to the acidity of the water so that they become brittle, especially in areas of Kalimantan where there are relatively many swamps. -swamps and peatlands. Peat water with a high organic substance content has a low degree of acidity (pH), which causes the water to be acidic (Kusnaedi, 2006). Based on low criteria and indicators for low acidity, most of Kalimantan's peat is very acidic with a pH between 3 –5.0 (Wahyunto, 2003).

The aim of this research is to analyze how much influence geopolymer mortar reinforcement has on the durability of concrete due to the corrosion process with high acid water content, to analyze how much influence geopolymer mortar reinforcement has on normal concrete which has been influenced by water with a low pH (± 3) in withstanding compressive loads and flexible.

The results of this research show that normal concrete which is strengthened with geopolymer mortar has a very small increase in responsiveness in compressive strength compared to normal concrete which is strengthened with normal concrete which is both soaked in water with a low pH (± 3). However, concrete that has been reinforced with geopolymer mortar has the ability to accept external loads (P) increases by almost 300%. And also against corrosion due to water content with a low pH (± 3) it is more resistant than normal concrete or normal concrete reinforced with normal concrete.

Likewise, the analysis of flexural strength shows that normal concrete beams reinforced with geopolymer mortar have experienced a very large increase in resisting external loads.

Keywords: Durability, Fly Ash, Normal concrete, geopolymer, geopolymer mortar, geopolymer concrete

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Penyusunan tesis ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Magister S2 pada Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Selama penyusunan laporan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi baik berupa bantuan maupun dukung, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga kecil saya, Istri dan anak-anakku atas doa, dukungan, semangat, kasih sayang dan segala yang diperlukan hingga saya dapat menyelesaikan gelar magister ini.
2. Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. dan Ibu Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan semangat, arahan, penjelasan dan kritik-kritik kepada penulis sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Ibu Ir. Ida Barkiah, M.T., IPU, Ibu Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Wiku Adhiwicaksana, Krasna S.T, M.Eng, Ph.D selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat menyempurnakan tesis ini.
4. Segenap dosen Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah banyak memberikan ilmu kepada kami.
5. Adik-adikku Naek Rizki Pandiangan dan Ihda Khairiah yang banyak membantu dalam proses penyelesaian tesis ini, mulai dari awal pelaksanaan penelitian di laboratorium Universitas Lambung Mangkurat.
6. Serta kawan-kawanku satu angkatan Hari Apriono, Yanes kristianus Hedi dan Ahmad Yani, terimakasih atas support dan kebersamaannya selama menjalani study S2 dan bersama-sama menyelesaikan program tesis di Pascasarjana Teknik Sipil Jurusan Struktur Universitas Lambung Mangkurat.

Akhir kata, penyusunan menyadari dalam penyusunan tesis ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu saya mengharapkan kritik, saran dan masukan-masukan yang membangun agar tesis ini lebih baik lagi. Saya berharap tesis dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR PERSAMAAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Lingkup Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Beton Mutu Normal	6
2.1.1. Sifat Mekanik Beton Mutu Normal	6
2.2. Kuat Lentur Balok Beton Bertulang	7
2.3. Lendutan Pada balok Beton	8
2.4. Kapasitas Lentur Murni	9
2.5. Kuat Lendutan Balok Tampang Persegi	9
2.6. Keruntuhan Balok	10
2.7. Geopolimer	11
2.7.1. Mortar Geopolimer	12
2.7.2. Beton Geopolimer	12
2.7.3. Material Pembentuk Geopolimer/Binder	14
2.8. Perkuatan Balok Beton	17

2.9. Pengaruh Kadar Asam Terhadap Durability Beton.....	20
2.10. Pengujian Matrial.....	21
2.10.1. Analisa Agregat Saringan	21
2.10.2. Berat Jenis Agregat Halus (ASTM C-128)	23
2.10.3. Kelembaban Agregat Halus (ASTM C-566	24
2.10.4. Kandungan Lumur (pengendapan) ASTM C33	24
2.11. Pengujian Benda Uji	
2.11.1. Pengujian Kuat Tekan	25
2.11.2. Faktor Koreksi Ukuran Benda Uji.....	26
2.11.3. Pengujian Kuat Lentur.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.2. Studi Literatur	32
3.3. Persiapan Dan Pengujian Material Penyusun.....	32
3.3.1. Agregat Kasar	32
3.3.2. Agregat Halus	42
3.3.3. Semen.....	51
3.3.4. Fly Ash.....	56
3.3.5. Activator.....	57
3.3.6. Air	59
3.4. Rancangan Penelitian.....	59
3.5. Mix Desain Campuran Benda Uji Beton Normal	66
3.5.1 Mix Desain Benda Uji Silinder Beton Normal	66
3.5.2. Mix Desain Benda Uji Balok Beton Normal.....	74
3.6. Percobaan Slump (Slump Test)	75
3.7. Pembuatan Benda Uji Beton normal	77
3.7.1. Pembuatan Benda Uji Silinder	78
3.7.2 Pembuatan Benda Uji Balok Beton Normal	80
3.8. Perawatan (<i>curing</i>) Beton Normal.....	82
3.9. Pemeriksaan Dan Pengujian Benda Uji Beton Normal.....	83

3.9.1. Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Beton Normal.....	83
3.9.1. Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal.....	84
3.10. Pembuatan Komposisi Campuran Mortar Geopolimer.....	85
3.10.1. <i>Desain Mix</i> Mortar Geopolimer Untuk Perkuatan Benda Uji Silinder	85
3.10.2. <i>Desain Mix</i> Mortar Geopolimer Untuk Perkuatan Benda uji Balok	86
3.11. Perkuatan Benda Uji Beton Normal Dengan Mortar Geopolimer.....	87
3.11.1. Perkuatan Benda Uji Beton Normal Berbentuk Silinder	87
3.11.2. Perkuatan Benda Uji Beton Normal Berbentuk Balok	91
3.12. Perendaman Benda Uji Beton Normal Yang Diperkuat Mortar Geopolimer Dengan Air pH ± 3	93
3.13. Pengujian Benda Uji Yang Diperkuat Mortar Geopolimer.....	94
3.13.1. Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Yang Diperkuat Mortar Geopolimer	94
3.13.2. Pengujian Kuat Letur Benda Uji Yang Diperkuat Mortar Geopolimer	95
3.14. Penarikan Kesimpulan.....	96
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	97
4.1. Umum.....	97
4.2. Hasil Pengujian Spesifikasi Material Penyusun	97
4.2.1. Agregat Kasar.....	97
4.2.2. Agregat Halus	97
4.2.3. Semen.....	99
4.3. Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur	100
4.3.1. Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	100
4.3.2. Pengujian Kuat Tekan Lentur.....	108
BAB V PENUTUP.....	114
5.1. Kesimpulan	
5.2. Saran	

DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN-LAMPIRAN	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan Kimia Fly Ash.....	15
Tabel 2.2 Susunan Butir Agregat Halus.....	22
Tabel 2.3. Zona Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834-2000)	22
Tabel 2.4. Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) Terhadap Diameter (D) Benda Uji 26	
Tabel 2.5. Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Beton Berdasarkan Diameter Benda Uji ($L/D=2$) (sumber SNI 1974:2011)	27
Tabel 3.1. Daftar Gradasi Dan Berat Benda Uji.....	36
Tabel 3.2. Komposisi Na_2SiO_3	58
Tabel 3.3 Nomenklatur Benda Uji Silinder Beton Normal.....	61
Tabel 3.4. Nomenklatur Benda Uji Silinder Beton Normal Yang Di Perkuat Mortar Geopolimer	62
Tabel 3.5. Nomenklatur Benda Uji Silinder Beton Normal Yang Di Perkuat Beton normal	64
Tabel 3.6. Nomenklatur Benda Uji Balok Beton Normal	65
Tabel 3.7. Nomenklatur Benda Uji Balok Beton Normal Yang Di Perkuat Mortar Geopolimer	65
Tabel 3.8. Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu (Sumber: SNI 03-2834-2000).....	67
Tabel 3.9. Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur Dan Kadar Udara Untuk Berbagai Slum Dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah (sumber SNI 7656 2012).....	68
Tabel 3.10. Hubungan Antara Rasio Air-Semen (W/C) Atau Rasio Air-Bahan Bersifat Semen $\{W/(C+P)\}$ Dan Kekuatan Beton	69
Tabel 3.11. Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton.....	70
Tabel 3.12. Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton (Turunan)	70
Tabel 3.13. Tabel Perkiraan Berat Awal Beton Segar	71
Tabel 3.14. Perbandingan Berat	72

Tabel 3.15. Keperluan Material Dalam 1 M ³ Beton.....	73
Tabel 3.16. Perhitungan Perencanaan Campuran Beton (Benda Uji Balok).....	74
Tabel 3.17. Rekomendasi Nilai Slump Test Referensi (SNI 7656 :2012)	76
Tabel 3.18. Perhitungan Mix Desain Mortar Geopolimer Untuk Silinder Beton.....	86
Tabel 3.19. Perhitungan Mix Desain Mortar Geopolimer Balok Beton.....	87
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.....	97
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus.....	98
Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	99
Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Semen.....	100
Tabel 4.5. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Umur 28 Hari....	101
Tabel 4.6. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Umur 28+30 Hari Yang di Rendam Air PDAM.....	101
Tabel 4.7. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Umur 28+60 Hari Yang di Rendam Air PDAM.....	101
Tabel 4.8. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Yang di Perkuat Mortar Geopolimer Yang di Rendam Air pH ± 3 Umur 28+30 hari...	103
Tabel 4.9. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Yang di Perkuat Mortar Geopolimer Yang direndam Air Ph ± 3 Umur 28+60 hari...	103
Tabel 4.10. Hasil Uji Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal Yang di perkuat dengan beton normal Umur 28+30 Hari Yang direndam Air Ph ± 3.....	103
Tabel 4.11. Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal (BN) Umur 28 Hari Perawatan Air PDAM.....	110
Tabel 4.12 Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal (BN) Umur 28+30 Hari Perawatan Air PDAM.....	110
Tabel 4.13. Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal (BN) Umur 28+60 hari, perawatan Air pH (± 3)	110
Tabel 4.14. Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal Yang Di Perkuat (BN-G) Umur 28 + 30 hari, perawatan Air pH (± 3).....	110
Tabel 4.15. Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Normal Yang Di Perkuat (BN-G) Umur 28 + 60 hari, perawatan Air pH (± 3).....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Distribusi Tegangan Dan Regangan Ekuivalen Pada Balok Bertulangan Rangkap (Dipohusodo,1994.....	8
Gambar 2.2. Lendutan Balok Dengan Dua Beban Terpusat (Nawy, 1998)	8
Gambar 2.3. Pola Pembebanan.....	9
Gambar 2.4. Distribusi tegangan – regangan beton.....	9
Gambar 2.5. Keruntuhan Lentur Balok.....	11
Gambar 2.6. (a) Fly Ash Tipe F, (b) Fly Ash Tipe C.....	16
Gambar 2.7. (a) Na_2SiO_3 Padat dan (b) NaOH Padat	17
Gambar 2.8. Grafik Zona Gradasi Agregat Halus (<i>Sumber : SNI 03-2834-2000</i>)....	23
Gambar 2.9. Ilustrasi Faktor Koreksi Ukuran Benda Uji.....	26
Gambar 2.10. Pengujian Kuat Tekan Beton.....	27
Gambar 2.11. Patah pada 1/3 Bentang Tengah	28
Gambar 2.12. Patah Di Luar 1/3 Bentang Tengah Dan Garis Patah Pada < 5% Dari Bentang	29
Gambar 2.13. Benda Uji Balok, Perletakan dan Pembebanan (SNI 4431:2011)....	29
Gambar 2.14. Garis-Garis dan Pembebanan (SNI 4431:2011).....	30
Gambar 2.15. Bagan Alir Pengujian Kuat Lentur Beton.....	30
Gambar 3.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.....	31
Gambar 3.2. Agregat Kasar (Batu Split 0,5 cm – 1 cm).....	32
Gambar 3.3. Agregat di Oven dan Setelah Kering di Timbang	34
Gambar 3.4. Agregat di Masukan Alat Saringan Lalu di Timbang	34
Gambar 3.5. Proses Pengujian Abrasi Dengan Mesin Los Angeles.....	35
Gambar 3.6. Penimbangan Hasil Uji Abrasi Agregat Kasar.....	36
Gambar 3.7. Proses pengujian Uji Berat Volume Agregat Kasar.....	37
Gambar 3.8. Proses pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.....	39
Gambar 3.9. Proses pengujian Kadar air Agregat Kasar	40
Gambar 3.10. Proses Pengujian <i>Spesific Gravity</i> Agregat Kasar	42
Gambar 3.11. Proses Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	43

Gambar 3.12. Proses Pengujian Berat Isi Lepas.....	45
Gambar 3.13. Proses Pengujian Berat Isi Goyang	46
Gambar 3.14. Proses Pengujian Berat Isi Pematang.....	46
Gambar 3.15. Proses Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	47
Gambar 3.16. Proses Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	48
Gambar 3.17. Proses Pengujian Specific Gravity Agregat Halus	50
Gambar 3.18. Proses Pengujian Kadar Organik Agregat Halus	51
Gambar 3.19. Semen PCC Merk Semen Tonasa Indonesia.....	53
Gambar 3.20. Proses pengujian Berat Jenis Semen.....	55
Gambar 3.21. Pengambilan Limbah Fly Ash Dari PLTU Asam-Asam	56
Gambar 3.22. Pengovenan <i>Fly Ash</i>	56
Gambar 3.23. Fly Ash Yang Lolos Saringan 200	56
Gambar 3.24. Hidroksida (NaOH)	57
Gambar 3.25. Natrium Silikat (Na ₂ SiO ₃).....	57
Gambar 3.26. Plastiment VZ.....	59
Gambar 3.27. pH Meter	59
Gambar 3.28. Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	59
Gambar 3.29. Benda Uji Silinder Beton Normal	62
Gambar 3.30. Ilustrasi Perkuatan (<i>jacketing</i>) Beton Normal (SN) dengan mortar geopolimer (G).....	63
Gambar 3.31. Benda Uji Silinder Beton Normal (SN) Yang Diperkuat (<i>Jacketing</i>) Dengan Mortar Geopolimer.....	63
Gambar 3.32. Benda Uji Silinder Beton Normal Yang Diperkuat (<i>Jacketing</i>) Dengan Beton Normal	64
Gambar 3.33. Benda Uji Balok Beton Normal	64
Gambar 3.34. Ilustrasi Penguatan Benda Uji Balok Beton Normal Dengan Mortar Geopolimer.....	66
Gambar 3.35. Uji Balok Beton Normal Yang Diperkuat Dengan Mortar Geopolimer.....	66
Gambar 3.36. Pelaksanaan Slump Test Di Laboratorium	76
Gambar 3.37. Agregat Halus (Pasir Barito)	78

Gambar 3.38. Agregat Kasar.....	78
Gambar 3.39. Bekisting Benda Uji Silinder.....	79
Gambar 3.40. Pengadukan Material Beton Normal	79
Gambar 3.41. Masukan Adonan ke Cetakan.....	79
Gambar 3.42. Alat Penggetar	80
Gambar 3.43. Benda Uji Silinder Diameter 5 cm, Panjang 10 cm.....	80
Gambar 3.44. Bekisting Balok 10 cm x 10 cm x 50 cm.....	81
Gambar 3.45. Pencetakan Benda Uji	81
Gambar 3.46. Vibrator	81
Gambar 3.47. Benda Uji Balok Beton Normal	82
Gambar 3.48. Pelaksanaan Curing Beton Normal Dengan Air PDAM	82
Gambar 3.49. Pengujian Kuat Tekan Beton Normal.....	83
Gambar 3.50. <i>Set-up</i> Alat Pengujian Kuat Tekan Silinder	83
Gambar 3.51. Peralatan Untuk Uji Lentur (a) Frame Baja , (b) Load Cell	84
Gambar 3.52. Pelaksanaan Uji Kuat Lentur Beton	85
Gambar 3.53. NaOH Dalam Bentuk <i>Flakes</i>	88
Gambar 3.54. Larutan NaOH	88
Gambar 3.55. Proses Mencampurkan Larutan NaOH dengan Larutan Na ₂ SiO ₃	89
Gambar 3.56. Mixer pengaduk.....	89
Gambar 3.57. Proses Memasukkan Pasir	89
Gambar 3.58. Benda Uji Dan Bekisting	90
Gambar 3.59. Pencetakan Benda Uji	90
Gambar 3.60. Benda Uji Slinder Beton Normal dan Benda Uji Yang Dilapisi Mortar Geopolimer	91
Gambar 3.61. Penguatan Balok Beton Normal dengan Mortar Geopolimer	91
Gambar 3.62. Benda Uji Balok Beton Normal	91
Gambar 3.63. Proses Pelapisan Balok Beton Normal dengan Bonding Agent.....	92
Gambar 3.64. Bonding Agent.....	92
Gambar 3.65. Mortar Geopolimer di Masukan Ke dalam Bekisting	93
Gambar 3.66. Benda uji balok beton yang dilapisi mortar geopolimer	93
Gambar 3.67. Proses Perendaman Benda Uji Dengan Air Asam.....	94

Gambar 3.68. Pengujian Kuat Tekan Beton Normal.....	94
Gambar 3.69. Proses Uji Kuat Lentur	96
Gambar 4.1. Grafik Gradasi Agregat Kasar.....	98
Gambar 4.2. Grafik Gradasi Agregat Halus.....	99
Gambar 4.3. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal (SN).....	102
Gambar 4.4. Perbandingan Nilai Beban Maksimum Yang Bisa di Pikul Oleh Benda Uji Silinder Beton Normal (SN).....	102
Gambar 4.5. Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton (SN) Dan Silinder Beton Yang Di perkuat (SN-G) Pada Lingkungan Yang Berbeda	104
Gambar 4.6. Perbandingan Nilai Beban Maksimum Yang Bisa di Pikul Benda Uji Silinder Beton (SN), Dengan Benda Uji Yang Di Perkuat (SN-G) Pada Lingkungan Yang Berbeda	105
Gambar 4.7. Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Normal (SN) Dan Silinder Beton Yang Di perkuat (SN-G) Pada Lingkungan Yang Berbeda	105
Gambar 4.8. Perbandingan Nilai Beban Maksimum Yang Bisa di Pikul Oleh Benda Uji Silinder Beton Normal (SN) Karena Pengaruh Lingkungan Yang Sama Pada Umur 28 + 60 hari.....	106
Gambar 4.9. Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji (SN-N) Dan Benda Uji (SN-G) Pada Lingkungan Yang Sama	107
Gambar 4.10. Perbandingan Nilai Beban Maksimum Yang Bisa di Pikul Oleh Benda Uji Silinder (SN-N) dan (SN-G) Karena Pengaruh Lingkungan Yang Sama.....	108
Gambar 4.11. Pengujian Balok Beton Normal Retak di 1/3 Bentang Tengah	108
Gambar 4.12. Patah Di Area 1/3 Bentang Tengah.....	109
Gambar 4.13. Perbandingan Nilai Kuat Lentur Benda Uji Balok (BN) Sesuai Umur Dengan Kondisi Di Pengaruhi Lingkungan Yang Sama	111

Gambar 4.14. Perbandingan Nilai Kuat Lentur Benda Uji Balok (BN) Dan Benda Uji Balok Yang Diperkuat (BN-G) pada Umur yang Sama Dengan Kondisi Di Pengaruhi Lingkungan Yang Berbeda	112
Gambar 4.15. Perbandingan Nilai Kuat Lentur Benda Uji Balok (BN) Dan Benda Uji Balok Yang Diperkuat (BN-G) pada Umur yang Sama Dengan Kondisi Di Pengaruhi Lingkungan Yang Berbeda	113

DAFTAR PERSAMAAN

Pers (2. 1)	7
Pers (2. 2)	7
Pers (2. 3)	7
Pers (2. 4)	7
Pers (2. 5)	7
Pers (2. 6)	7
Pers (2. 7)	8
Pers (2. 8)	8
Pers (2. 9)	8
Pers (2. 10)	10
Pers (2. 11)	10
Pers (2. 12)	10
Pers (2. 13)	10
Pers (2. 14)	10
Pers (2. 15)	10
Pers (2. 16)	23
Pers (2. 17)	24
Pers (2. 18)	24
Pers (2. 19)	25
Pers (2. 20)	25
Pers (2. 21)	28
Pers (2. 22)	28
Pers (2. 23)	28
Pers (3.1)	36
Pers (3.2.)	45
Pers (3.3.)	47
Pers (3.4.)	47
Pers (3.5.)	55
Pers (3.6.)	58

Pers (3.7.) 58
Pers (3.8.) 67
Pers (3.9.) 69
Pers (3.10.) 95