UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Kelayakan Teknis, Keberlanjutan Lingkungan, dan Ekonomi Silika Geothermal Sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Paving block: Pendekatan Optimasi Response Surface Methodology
Muhammad Salman, Ir. Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERSETUJUAN iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
HALAMAN PERNYATAAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiv
INTISARI xvii
ABSTRACT xviii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Penelitian Terdahulu 7
2.2 Perbandingan Penelitian Sebelumnya 11
2.3 Keaslian Penelitian 15
BAB 3 LANDASAN TEORI 16
3.1 Aktivitas Panas Bumi 16
3.2 Pengertian Silika 16
3.3 Limbah Silika *geothermal* 17
3.4 Karakteristik Limbah Silika *geothermal* 17
3.4.1 Karakterisasi Komposisi Silika 17
3.4.2 Karakterisasi Struktur Silika 19
3.5 Pozzolan 20
3.6 *Ball Milling* 21
3.7 *Paving block* 22
3.7.1 Klasifikasi dan Syarat Mutu *Paving block* 22

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Kelayakan Teknis, Keberlanjutan Lingkungan, dan Ekonomi Silika Geothermal Sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Paving block: Pendekatan Optimasi Response Surface Methodology
Muhammad Salman, Ir. Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.7.2 Keunggulan *Paving block* 23
3.7.3 Kelemahan *Paving block* 23
3.8 Bahan Penyusun Utama *Paving block* 24
3.8.1 Semen Portland 24
3.8.2 Agregat Halus 25
3.8.3 Air 26
3.9 Pengujian Teknis *Paving block* 27
3.9.1 Kuat Tekan 27
3.9.2 Ketahanan Aus 27
3.9.3 Penyerapan Air 28
3.10 Analisis Keberlanjutan Lingkungan 28
3.10.1 *Embodied Carbon* 28
3.10.2 *Embodied Energy* 29
3.10.3 *Eco Strength Efficiency* 30
3.10.4 *Sustainability Index* (LPS) 30
3.11 Analisis Ekonomi 31
3.12 Response *Surface Methodology* (RSM) 31
3.13 Optimasi Multi Respons 34
BAB 4 METODE PENELITIAN 36
4.1 Umum 36
4.2 Lokasi dan Waktu penelitian 36
4.3 Alat dan Data Penelitian 36
4.3.1 Alat Penelitian 36
4.3.2 Bahan Penelitian 40
4.3.3 Data Penelitian 41
4.4 Persiapan Sampel Silika *geothermal* 41
4.5 Komposisi Benda Uji 42
4.6 Prosedur Penelitian 42
4.6.1 Pemeriksaan Bahan 42
4.6.2 Pengujian Material 46
4.6.3 Proses Pencampuran Benda Uji 46
4.6.4 Pencetakan Benda Uji 47
4.6.5 Perawatan Benda Uji 47

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Kelayakan Teknis, Keberlanjutan Lingkungan, dan Ekonomi Silika Geothermal Sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Paving block: Pendekatan Optimasi Response Surface Methodology
Muhammad Salman, Ir. Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.6.6 Pengujian Benda Uji 47
4.7 Analisis Keberlanjutan Lingkungan 48
4.7.1 *Embodied Carbon* (EC) 48
4.7.2 *Eco-Strength Efficiency* (ESE) 49
4.7.3 *Sustainability Index* (SI) 49
4.8 Analisis Biaya 49
4.9 Model Respons *Surface Methodology* (RSM) 50
4.10 Optimisasi dan Model Validasi 51
4.11 Diagram Alir Penelitian 51
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 54
5.1 Hasil Pengujian Karakterisasi Silika *geothermal* 54
5.1.1 Hasil Uji Kristalinitas Silika *geothermal* 54
5.1.2 Kandungan Kimia Silika *geothermal* 55
5.2 Hasil Validasi Data Historis Kandungan Silika 57
5.3 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun *Paving block* 58
5.3.1 Silika *geothermal* 58
5.3.2 Agregat Halus 59
5.4 Perhitungan Campuran *Paving block* 65
5.5 Hasil Pengujian Teknis *Paving block* 66
5.5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan 66
5.5.2 Hasil Pengujian Ketahanan Aus 71
5.5.3 Hasil Pengujian Daya Serap Air 74
5.5.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Teknis 76
5.6 Hasil Perhitungan Keberlanjutan Lingkungan 77
5.6.1 *Embodied Carbon* 77
5.6.2 *Embodied Energy* 80
5.6.3 *Eco Strength Efficiency Carbon* (ESE_{carbon}) 83
5.6.4 *Eco Strength Efficiency Energy* (ESE_{energy}) 84
5.6.5 *Sustainability Index Carbon* 85
5.6.6 *Sustainability Index Energy* 86
5.7 Hasil Analisis Ekonomi 87
5.8 Hasil Analisis Respons*e Surface Methodology* (RSM) 96
5.8.1 Analisis Respons Performa Teknis 96

Analisis Kelayakan Teknis, Keberlanjutan Lingkungan, dan Ekonomi Silika Geothermal Sebagai Substitusi Semen dalam Pembuatan Paving block: Pendekatan Optimasi Response Surface Methodology
Muhammad Salman, Ir. Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.8.2 Analisis Respons Keberlanjutan Lingkungan 106
5.8.3 Optimasi Multi Respons dan Verifikasi Model 114
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 120
6.1 Kesimpulan 120
6.2 Saran.. 121
DAFTAR PUSTAKA 122
LAMPIRAN 130