UNIVERSITAS GADJAH MADA
Studi Numerik Variasi Laju Aliran Massa Terhadap Temperatur Outlet pada Sistem Closed Loop Ground Source Heat Pump dengan Konfigurasi Pipa U-tube
Agastya Martha Farendy, Dr. Ir. Khasaani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., I
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xix
INTISARI xxii
ABSTRACT xxiii
BAB I LATAR BELAKANG 1
1.1 Pendahuluan 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 GSHP di Asia Tenggara 6
2.2 *Ground Heat Exchanger* (GHE) 8
2.3 Simulasi GSHP menggunakan COMSOL Multiphysics 10
BAB III DASAR TEORI 14
3.1 Dasar Perpindahan Panas 14
3.1.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi 15
3.1.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi 15
3.1.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi 16

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Studi Numerik Variasi Laju Aliran Massa Terhadap Temperatur Outlet pada Sistem Closed Loop Ground Source Heat Pump dengan Konfigurasi Pipa U-tube
Agastya Martha Farendy, Dr. Ir. Khasaani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., I
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2 Alat Penukar Kalor 17
3.2.1 Parallel Flow Heat Exchanger 17
3.2.2 Counter Flow Heat Exchanger 18
3.3 *Ground Source Heat Pump* (GSHP) 20
3.3.1 Konfigurasi *U-tube Pipe* 21
3.4 Penurunan Tekanan Akibat Aliran Fluida dalam Pipa 22
3.4.1 Kerugian Mayor pada Aliran Sepanjang Pipa 22
3.4.2 Kerugian Minor pada Aliran Sepanjang Pipa 24
3.5 Daya Pompa 24
3.6 Tenaga Termal 25
3.7 *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 26
3.7.1 COMSOL Multiphysics 26
3.7.2 Proses Simulasi CFD 26
3.7.3 Governing Equation 31
3.7.4 Model Turbulensi 34
3.7.5 Konvergensi 37
3.8 Kondisi *Steady State* dan *Transient* pada Simulasi Numerik 38
3.8.1 Konsep Dasar 38
3.8.2 Simulasi *Steady State* 38
3.8.3 Simulasi *Transient* 39
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN **40**
4.1 Lokasi Penelitian 40
4.2 Alat Penelitian 40
4.3 Bahan Penelitian 41
4.3.1 Data Model Geometri *U-tube* 41
4.3.2 Data Parameter dan Material 41
4.4 Diagram Alir Penelitian 42
4.4.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum 42
4.4.2 Diagram Alir Simulasi CFD 42
4.5 Tahap Simulasi COMSOL 44

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Studi Numerik Variasi Laju Aliran Massa Terhadap Temperatur Outlet pada Sistem Closed Loop Ground Source Heat Pump dengan Konfigurasi Pipa U-tube
Agastya Martha Farendy, Dr. Ir. Khasaani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., I
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5.1 Tahap Persiapan 44
4.5.2 Proses Simulasi 44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 61
5.1 Validasi Data Simulasi terhadap Data Penelitian Harris dkk. 61
5.2 Hasil Simulasi Dengan Variasi Laju Aliran Massa 62
5.2.1 Profil Suhu Pada Studi *Time Dependent* Model GSHP *U-tube* dengan Variasi Laju Aliran Massa 63
5.2.2 Kontur Suhu Pada Studi *Time Dependent* Model GSHP *U-tube* dengan Variasi Laju Aliran Massa 66
5.2.3 Distribusi Suhu Sistem Pada Studi *Time Dependent* 69
5.2.4 Kontur Suhu Pada Studi *Stationary* Model GSHP *U-tube* dengan Variasi Laju Aliran Massa 73
5.2.5 Distribusi Suhu dan Evaluasi Performa Sistem pada Studi *Stationary* 75
5.3 Daya Pompa dengan Variasi Laju Aliran Massa 80
5.3.1 Penentuan *Friction Factor* 80
5.3.2 Perhitungan Daya Pompa 82
5.3.3 Perhitungan Tenaga Termal 85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 87
6.1 Kesimpulan 87
6.2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA 89
LAMPIRAN 94
Lampiran 1. Hasil Simulasi Studi *Stationary* Laju Aliran Massa 0,07 kg/s 94
Lampiran 2. Hasil Simulasi Studi *Stationary* Laju Aliran Massa 0,87 kg/s 95
Lampiran 3. Hasil Simulasi Studi *Stationary* Laju Aliran Massa 1,67 kg/s 96
Lampiran 4. Hasil Simulasi Studi *Stationary* Laju Aliran Massa 2,67 kg/s 97
Lampiran 5. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 0h 98
Lampiran 6. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 0,2h 99
Lampiran 7. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 0,4h 100
Lampiran 8. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 0,6h 101

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Studi Numerik Variasi Laju Aliran Massa Terhadap Temperatur Outlet pada Sistem Closed Loop Ground Source Heat Pump dengan Konfigurasi Pipa U-tube
Agastya Martha Farendy, Dr. Ir. Khasaani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng, Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., I
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 9. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 0,8h 102
Lampiran 10. Hasil Simulasi Studi *Time Dependent* 1h 103