Studi Numerik Variasi Penggunaan Material Outer Tube terhadap Perpindahan Panas pada Closed Loop
Geothermal System Tipe Koaksial
Syachnanda Febindillah Almaso, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
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** **xiv**

**DAFTAR LAMPIRAN** **xv**

**NOMENKLATUR** **xvi**

**INTISARI** **xix**

**ABSTRACT** **xx**

**BAB I PENDAHULUAN** **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 4

1.3.1 Asumsi Penelitian 4

1.3.2 Batasan Masalah 5

1.4 Tujuan Penelitian 6

1.5 Manfaat penelitian 6

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** **7**

2.1 Potensi Panas Bumi di Indonesia 7

2.2 Penggunaan *Closed Loop Geothermal System* pada Sumur Panas Bumi 9

UNIVERSITAS GADJAH MADA
**Studi Numerik Variasi Penggunaan Material Outer Tube terhadap Perpindahan Panas pada Closed Loop Geothermal System Tipe Koaksial**
Syachnanda Febindillah Almaso, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

2.3 Pemodelan *Downhole Coaxial Heat Exchanger* 10
2.4 Pemilihan Material *Outer Tube* 12
2.4.1 *Carbon Steel* 13
2.4.2 *Tungsten–copper alloy (70 wt% W – 30 wt% Cu)* 14
2.4.3 *Copper* 15
**BAB III LANDASAN TEORI** **16**
3.1 Konsep Dasar Perpindahan Panas 16
3.1.1 Perpindahan Panas secara Konduksi 17
3.1.2 Perpindahan Panas secara Konveksi 18
3.1.3 Perpindahan Panas secara Radiasi 19
3.2 Alat Penukar Kalor 20
3.2.1 *Parallel Flow Heat Exchanger* 20
3.2.2 *Counter Flow Heat Exchanger* 22
3.2.3 *Cross Flow Heat Exchanger* 23
3.3 Penukar Kalor Pipa Konsentris 24
3.4 Daya Termal 26
3.5 Material *Outer Tube* 26
3.6 *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 27
3.6.1 COMSOL Multiphysics 27
3.6.2 Proses Simulasi CFD 28
3.6.3 *Governing Equation* 32
3.6.4 Model Konvergensi 36
3.7 Evaluasi Statistik Model 37
3.7.1 *Root Mean Square Error* (RMSE) 38
3.7.2 *Mean Absolute Error* (MAE) 38

UNIVERSITAS GADJAH MADA
**Studi Numerik Variasi Penggunaan Material Outer Tube terhadap Perpindahan Panas pada Closed Loop Geothermal System Tipe Koaksial**
Syachnanda Febindillah Almaso, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

3.7.3 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 38
3.7.4 *Coefficient of Determination* ($R^2$) 39
3.7.5 *Correlation Coefficient* (R) 39
**BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 40**
4.1 Lokasi Penelitian 40
4.2 Alat Peneltian 40
4.3 Bahan Penelitian 41
4.3.1 Data *PT-logging* Sumur HCE 32 41
4.3.2 Data Litologi Geometri *Trajectory* Sumur HCE-32 42
4.4 Variabel Penelitian 46
4.5 Diagram Alir Penelitian 47
4.5.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum 47
4.5.2 Diagram Alir Proses CFD 47
4.6 Tahap Simulasi 50
4.6.1 Tahap Persiapan 50
4.6.2 Proses Simulasi 50
**BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 64**
5.1 Validasi Model Simulasi 64
5.2 Hasil Simulasi dengan Variasi Material *Outer tube* 66
5.2.1 Kontur Suhu pada Model Sumur HCE-32 66
5.2.2 Distribusi Temperatur pada Variasi Material *Outer Tube* 68
5.2.3 Distribusi Temperatur pada Variasi Laju Aliran Massa 73
5.3 Evaluasi Kinerja Termal pada Sistem CLGS 75
5.3.1 Perhitungan Daya termal 75
5.3.2 Pengaruh Variasi Material *Outer Tube* terhadap Kinerja Termal 77

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Numerik Variasi Penggunaan Material Outer Tube terhadap Perpindahan Panas pada Closed Loop
Geothermal System Tipe Koaksial**
Syachnanda Febindillah Almaso, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

5.3.3 Pengaruh Variasi Laju Aliran Massa terhadap Kinerja Termal 78

**BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 80**

6.1 Kesimpulan 80

6.2 Saran 81

**DAFTAR PUSTAKA 82**

**LAMPIRAN 87**