Simulasi Numerik Performa Termal Closed-Loop Geothermal System pada Sumur HCE-32 PT Geo Dipa Energi
Menggunakan Nanofluida Berbasis Karbon sebagai Fluida Kerja
Yoga Sanjaya, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING **iii**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI **iv**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **v**
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR **vi**
KATA PENGANTAR **vii**
DAFTAR ISI **x**
DAFTAR GAMBAR **xiii**
DAFTAR TABEL **xvii**
DAFTAR LAMPIRAN **xviii**
NOMENKLATUR **xx**
INTISARI **xxiii**
ABSTRACT **xxiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Asumsi dan Batasan Penelitian 4
1.3.1 Asumsi Penelitian 4
1.3.2 Batasan Penelitian 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Potensi Panas Bumi di Indonesia 7
2.2 *Closed-Loop Geothermal System* (CLGS) 8
2.3 *Modeling Downhole Coaxial Heat Exchanger* (DCHE) 10
2.4 Nanofluida dalam *Closed-Loop Geothermal System* 14
2.4.1 *Graphene Oxide* (GO) 14
2.4.2 *Multi-Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) 15
BAB III LANDASAN TEORI **16**
3.1 Dasar Perpindahan Panas 16
3.1.1 Perpindahan Panas Konduksi 18
3.1.2 Perpindahan Panas Konveksi 19
3.1.3 Perpindahan Panas Radiasi 21

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Simulasi Numerik Performa Termal Closed-Loop Geothermal System pada Sumur HCE-32 PT Geo Dipa Energi Menggunakan Nanofluida Berbasis Karbon sebagai Fluida Kerja
Yoga Sanjaya, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*) 21
3.2.1 *Parallel Flow Heat Exchanger* 22
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 Pompa 25
3.5 Nanofluida 26
3.5.1 Konduktivitas Termal Nanofluida 26
3.5.2 Kalor Jenis Nanofluida 28
3.5.3 Densitas Nanofluida 28
3.5.4 Viskositas Dinamik Nanofluida 28
3.6 *Figure of Merit (FOM)* Nanofluida 29
3.7 *Computional Fluid Dynamics (*CFD) 30
3.7.1 COMSOL Multiphysics 30
3.7.2 Proses Simulasi CFD 30
3.7.3 *Governing Equation* 36
3.7.4 Konvergensi 39
3.8 Evaluasi Statistik Model 42
3.8.1 *Root Mean Square Error (RMSE)* 42
3.8.2 *Mean Absolute Error* (MAE) 43
3.8.3 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 43
3.8.4 Koefisien Korelasi (R) 44
3.8.5 Koefisien Determinasi (R^2) 44
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 45
4.1 Lokasi Penelitian 45
4.2 Alat Penelitian 45
4.3 Bahan Penelitian 46
4.3.1 Data PT-*logging* Sumur HCE-32 46
4.3.2 Geometri Sumur *Trajectory* HCE-32 46
4.3.3 Litologi Sumur HCE-32 49
4.4 Diagram Alir Penelitian 51
4.4.1 Diagram Alir Penelitian 51
4.4.2 Diagram Alir Simulasi CFD 52
4.5 Variabel Penelitian 54

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Simulasi Numerik Performa Termal Closed-Loop Geothermal System pada Sumur HCE-32 PT Geo Dipa Energi
Menggunakan Nanofluida Berbasis Karbon sebagai Fluida Kerja**
Yoga Sanjaya, Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.6 Tahap Simulasi COMSOL Multiphysics 54
4.6.1 Tahap Persiapan 54
4.6.2 Alur Simulasi pada COMSOL Multiphysics 54
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 67
5.1 Validasi Model Simulasi dengan Data Lapangan Sumur HCE-32 67
5.2 Hasil Perhitungan Properti Termofisik Nanofluida 69
5.2.1 Konduktivitas Termal Nanofluida 69
5.2.2 Kalor Jenis Nanofluida 69
5.2.3 Densitas Nanofluida 70
5.2.4 Viskositas Dinamik Nanofluida 71
5.3 *Figure of Merit* (FOM) Nanofluida 71
5.4 Hasil Simulasi dengan Variasi Fluida Kerja 72
5.4.1 Kontur dan Profil Temperatur Sumur HCE-32 72
5.4.2 Distribusi Temperatur pada Variasi Fluida Kerja 79
5.4.3 Distribusi Temperatur pada Variasi Laju Aliran Massa 83
5.4.4 Distribusi Tekanan pada Variasi Fluida Kerja 84
5.5 Analisis Performa Termal Sistem CLGS 86
5.5.1 Pengaruh Variasi Fluida Kerja terhadap Daya Termal 86
5.5.2 Unjuk Kerja Nanofluida 87
5.5.3 Pengaruh Variasi Laju Aliran Massa terhadap Daya Termal 89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 91
6.1 Kesimpulan 91
6.2 Saran 92
DAFTAR PUSTAKA 93
LAMPIRAN 96