Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Graphene Foam terhadap Fenomena Aliran dan Koefisien
Perpindahan Kalor Closed-loop Geothermal tipe Koaksial Vertikal
Dinar Kurniawan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.; Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
INTISARI vi
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 6
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah 6
1.4. Tujuan Penelitian 6
1.5. Manfaat Penelitian 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1. Perkembangan Penelitian Sistem *Closed Loop Geothermal* 8
2.2. Perkembangan Penelitian *Flow Boiling* pada Saluran Vertikal 14
2.3. Rangkuman Penelitian 27
2.4. *Research Gap* 33
BAB III LANDASAN TEORI 34
3.1. Sistem Panas Bumi 34
3.2. Sistem Panas Bumi Saluran Tertutup 36
3.3. Busa Logam 38

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Graphene Foam terhadap Fenomena Aliran dan Koefisien
Perpindahan Kalor Closed-loop Geothermal tipe Koaksial Vertikal**
Dinar Kurniawan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.; Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4. Metode Perpindahan Kalor 43
3.5. Pendidihan 44
3.5.1. *Nukiyama Boiling Curve* 46
3.5.2. *Flow Boiling* 48
3.5.3. *External Flow Boiling* 48
3.5.4. *Internal Flow Boiling* 49
3.5.5. Korelasi Koefisien Perpindahan Kalor 53
3.6. Penukar Kalor 53
3.6.1. Penukar Kalor Aliran Searah 54
3.6.2. Penukar Kalor Aliran Berlawanan Arah 54
3.6.3. Penukar Kalor Pipa Konsentrik 56
3.7. Bilangan Tak Berdimensi 58
3.7.1. Bilangan *Reynolds* 58
3.7.2. Bilangan *Prandlt* 59
3.7.3. Bilangan *Nusselt* 59
3.8. Karakterisik Gelembung 60
3.8.1. Kepadatan Situs Nukleasi 60
3.8.2. Diameter Keberangkatan dan Frekuensi Gelembung 61
BAB IV METODE PENELITIAN 63
4.1. Lokasi Penelitian 63
4.2. Diagram Alir Penelitian 63
4.3. Fasilitas Penelitian 64
4.3.1. Skema Fasilitas Penelitian 64
4.3.2. Alat Penelitian 65
4.4. Bahan Penelitian 71

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Graphene Foam terhadap Fenomena Aliran dan Koefisien Perpindahan Kalor Closed-loop Geothermal tipe Koaksial Vertikal
Dinar Kurniawan, Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.; Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng., IPM., ASE
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.1. *Graphene Foam* 71
4.4.2. Fluida Kerja 73
4.5. Prosedur Penelitian 74
4.5.1. Variabel dan Matriks Penelitian 74
4.5.2. Tata Laksana Penelitian 75
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 78
5.1. Data Penelitian 78
5.2. Laju Perpindahan Kalor 78
5.3. Koefisien Perpindahan Kalor 81
5.3.1. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh 81
5.3.2. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi di Annulus 87
5.3.3. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi di Pipa Dalam 90
5.4. Bilangan Tak Berdimensi 93
5.4.1. Bilangan *Reynolds* 93
5.4.2. Bilangan *Prandtl* 99
5.4.3. Bilangan *Nusselt* 102
5.5. Fenomena Aliran 107
5.5.1. Karakteristik Aliran pada *Plain Tube* 109
5.5.2. Karakteristik Aliran pada *Graphene foam* 85% (90 PPI) 111
5.5.3. Karakteristik Aliran pada *Graphene foam* 90% (110 PPI) 113
BAB VI PENUTUP 116
6.1. Kesimpulan 116
6.2. Saran 117
DAFTAR PUSTAKA 118