



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI
KALOR SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR *SLOW
PYROLYSIS* DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP
VARIASI DAYA DAN WAKTU RETENSI
MENGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI TERMAL**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Muhammad Ammar Amanullah

NIM. 2202431044

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI
KALOR SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR *SLOW
PYROLYSIS* DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP
VARIASI DAYA DAN WAKTU RETENSI
MENGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI TERMAL**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi
Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Muhammad Ammar Amanullah

NIM. 2202431044

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI KALOR
SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR *SLOW PYROLYSIS*
DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP VARIASI DAYA DAN
WAKTU RETENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI
TERMAL**

Oleh:

Muhammad AmmarAmanullah

NIM. 2202431044

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T.

NIP. 197312282008121001

Pembimbing 2

Fitri Wijayanti, S.Si., M.Eng.

NIP. 198509042014042001

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Arifia Ekayuliana., S.T., M.T.

NIP. 199107212018032001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI KALOR
SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR *SLOW PYROLYSIS*
DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP VARIASI DAYA DAN
WAKTU RETENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI
TERMAL**

Oleh:

Muhammad Ammar Amanullah

NIM. 2202431044

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (Skripsi) di hadapan Dewan Penguji pada tanggal dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma-IV) Pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T.	Penguji		3 Juli 2024
2	Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T.	Penguji		6 Juli 2024
3	Dr., Dianta Mustofa Kamal, ST., M.T.	Moderator		7 Juli 2024

Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Enad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ammar Amanullah
NIM : 2202431044
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (Plagiasi) karya orang lain Sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi yang telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 30 Juni 2026



Muhammad Ammar Amanullah
NIM. 2202431044



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI KALOR SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR *SLOW PYROLYSIS* DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP VARIASI DAYA DAN WAKTU RETENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI TERMAL

Muhammad Ammar Amanullah¹ Dianta Mustofa Kamal¹ Fitri Wijayanti¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: muhammad.ammar.amanullah.tm22@mhswn.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pirolisis merupakan teknologi Waste-to-Energy (WtE) yang potensial untuk mengonversi limbah plastik poliolefin (PP/PE). Namun, rendahnya konduktivitas termal plastik sering menyebabkan distribusi panas tidak merata (thermal trapping). Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik tekno-termal dan mengoptimasi titik operasional reaktor slow pyrolysis skala laboratorium dengan modifikasi struktur sirip fraktal melalui simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Simulasi termal transien berbasis Conjugate Heat Transfer (CHT) dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks Flow Simulation pada material Stainless Steel 302 terinsulasi Alumina. Pengujian dilakukan secara komparatif terhadap reaktor konvensional (baseline) dengan memanipulasi variabel beban daya pemanas elektrik luar (1400 W – 2000 W) dan waktu retensi (5 - 8 jam). Model numerik divalidasi melalui grid independence test dua tingkat resolusi jaring serta kecocokan multi-parameter terhadap literatur eksperimental empiris terdahulu. Parameter yang dievaluasi meliputi laju pemanasan, distribusi suhu spasial, temperatur inti fluida, thermal margin struktural, efisiensi insulasi, performa konsumsi energi spesifik, serta kelayakan ekonomi anggaran.

Kata Kunci: *Pirolisis Lambat, Sirip Fraktal, CFD, Conjugate Heat Transfer, Sampah Plastik.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

TECHNO-THERMAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF PLASTIC WASTE HEAT DISTRIBUTION IN A SLOW PYROLYSIS REACTOR WITH FRACTAL FINS AGAINST POWER AND RETENTION TIME VARIATIONS USING THERMAL SIMULATION APPROACH

Muhammad Ammar Amanullah¹ Dianta Mustofa Kamal¹ Fitri Wijayanti¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: muhammad.ammar.amanullah.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Pyrolysis is a potential Waste-to-Energy (WtE) technology for converting polyolefin (PP/PE) plastic waste. However, the low thermal conductivity of plastic often leads to uneven heat distribution (thermal trapping). This study aims to analyze the techno-thermal characteristics and optimize the operational point of a laboratory-scale slow pyrolysis reactor with a fractal fin structure modification using a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach. Transient thermal simulations based on Conjugate Heat Transfer (CHT) were conducted using SolidWorks Flow Simulation software on an Alumina-insulated Stainless Steel 302 reactor. Variations in external electrical heating power (1400 W – 2000 W) and retention time (5 – 8 hours) were comparatively evaluated against a conventional reactor (baseline). The numerical model was validated through a two-level grid independence test and multi-parameter conformity with prior empirical experimental literature. Evaluated parameters include heating rates, spatial temperature distribution, fluid core temperature, structural thermal margin, insulation efficiency, specific energy consumption, and techno-economic budget feasibility.

Kata Kunci: Slow Pyrolysis, Fractal Fins, CFD, Conjugate Heat Transfer, Plastic Waste.



KATA PENGANTAR

Puji syukur diucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dengan judul "**ANALISIS TEKNO-TERMAL DAN OPTIMASI DISTRIBUSI KALOR SAMPAH PLASTIK PADA REAKTOR SLOW PYROLYSIS DENGAN SIRIP FRAKTAL TERHADAP VARIASI DAYA DAN WAKTU RETENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI TERMAL**" dapat tersusun sampai dengan selesai. Penulisan Laporan ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan program tingkat akhir Diploma IV Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi.

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan ini dengan benar, antara lain:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
3. Bapak Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. dan ibu Fitri Wijayanti S.Si., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberika arahan, meluangkan waktu lebih untuk proses penyusunan skripsi dari awal hingga selesai.
4. Orangtua, dan saudara saya yang selalu memberikan do'a dan motivasi serta semangat materil maupun moril dalam penyusunan skripsi.
5. Teman-teman seangkatan program studi saya yang selalu mensupport dalam penyusunan skripsi ini.
6. Terima kasih untuk diri sendiri, yang sudah bertanggung jawab untuk berusaha menyelesaikan yang sudah dimulai.

Penulis sangat berharap semoga skiripsi ini bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta maupun pihak terkait.

Depok, 30 Juni 2026

Muhammad Ammar Amanullah

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I.....	15
1.1 Latar Belakang.....	15
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Pertanyaan Penelitian	17
1.4 Tujuan Penelitian	18
1.5 Manfaat Penelitian.....	18
1.6 Batasan Masalah Penelitian.....	19
1.7 Sistematika Penulisan.....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	21
2.1 Landasan Teori	21
2.1.1 Sampah Plastik dan Potensi Pemulihan Energi (<i>Waste-to-Energy</i>).....	21
2.1.2 Potensi dan Karakteristik Sampah Plastik di Indonesia	22
2.1.3 Rentang Suhu Operasional <i>Slow Pyrolysis</i> Polypropylene dan Polyethylene	24
2.1.4 Konsep Dasar Pirolisis Plastik dan Pendekatan <i>Slow Pyrolysis</i>	26
2.1.5 Prinsip Perancangan Reaktor Pirolisis Tipe <i>Batch</i>	28
2.1.6 Penyesuaian Dinamika Reaksi Sekunder pada Karakteristik Sistem Reaktor <i>Batch</i>	28
2.1.7 Karakteristik Material Tabung Reaktor dan Insulasi	28
2.1.8 Mekanisme Perpindahan Panas (<i>Heat Transfer</i>) Transien	35
2.1.9 Rekayasa Geometri Fraktal sebagai Modifikasi Distribusi Termal	37
2.1.10 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) Solidworks dan Analisis Termal ...	39
2.1.11 Parameter Tekno-Termal Reaktor	42
2.1.12 Parameter Estimasi Efisiensi Energi Berbasis Simulasi.....	44
2.2 Kajian Literatur	46

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.3 Kerangka Pemikiran	51
BAB III METODE PENELITIAN	54
3.1 Jenis Penelitian	54
3.1.1 Diagram Penelitian	54
3.2 Objek Penelitian	56
3.2.1 Desain Reaktor Acuan (<i>Baseline</i>).....	56
3.2.2 Perhitungan Fraksi Ruang Kosong (<i>Void Fraction</i>)	58
3.2.3 Desain Reaktor Modifikasi.....	60
3.2.4 Desain Keseluruhan Sistem Reaktor	62
3.3 Metode Pengambilan Sampel	63
3.3.1 Pengambilan Data Spasial (<i>Spatial Sampling</i>)	63
3.3.2 Pengambilan Sampel Temporal (<i>Temporal Sampling</i>)	64
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian	64
3.4.1 Jenis Data Penelitian.....	67
3.4.2 Sumber Data Penelitian	68
3.5 Metode Pengambilan Data Penelitian	69
3.5.1 Ekstraksi Data Kuantitatif (Numerik)	69
3.5.2 Ekstraksi Data Kualitatif (Visualisasi Spasial).....	70
3.5.3 Karakteristik Jaring Komputasi (<i>Meshing</i>)	71
3.5.4 Uji Kebebasan Jaring Komputasi (<i>Mesh Independence Test</i>)	72
3.5.5 Analisis Regime Aliran dan Bilangan Reynolds	74
3.5.6 Sifat Termofisik Fluida pada Kondisi Operasi	74
3.5.7 Perhitungan Bilangan <i>Reynolds</i> (Aliran Paksa / <i>Forced Flow</i>).....	80
3.5.8 Analisis Konveksi Alami (<i>Natural Convection</i>) dan Bilangan Rayleigh	82
3.5.9 Dominansi Konveksi Alami terhadap Aliran Paksa	84
3.6 Validasi Literatur (<i>Literature-Based Validation</i>)	85
3.7 Metode Analisis Data	88
3.7.1 Analisis Kinerja Tekno-Termal dan Keamanan Struktural.....	88
3.7.2 Analisis Efisiensi Konsumsi Energi	89
3.7.3 Penentuan Skenario Operasi Optimal.....	89
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	90
4.1 Analisis Karakteristik Termodinamika dan Mekanika Fluida (CFD).....	90
4.1.1 Validasi Uji Independensi <i>Mesh</i> (<i>Grid Independence Test</i>)	90
4.1.2 Profil Kenaikan Temperatur Transien Maksimum Solid.....	92



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.3 Profil Transien Temperatur Rata-Rata Fluida.....	93
4.1.4 Visualisasi Distribusi Panas Spasial (<i>Cut Plot</i>)	95
4.1.5 Visualisasi Lintasan Aliran Uap Hidrokarbon Spasial (<i>Flow Trajectories</i>)	105
4.1.6 Data Perhitungan Parameter Tekno-Termal.....	115
4.2 Analisis Estimasi Efisiensi Energi Berbasis Simulasi	120
4.2.1 Perhitungan Estimasi Konsumsi Energi Spesifik (SECsim)	120
4.2.2 Perhitungan Indeks Intensitas Energi (EII)	122
4.2.3 Validasi Multi-Parameter Terhadap Literatur Eksperimental	124
4.2.4 Penentuan Titik <i>Trade-Off</i> Operasional Optimal.....	126
4.2.5 Analisis Biaya Operasional Energi Listrik (OPEX)	132
4.2.6 Estimasi Biaya Peralatan dan Kelayakan Ekonomi.....	133
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	136
5.1 Kesimpulan.....	136
5.2 Saran	136

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi plastik berdasarkan Resin Identification Code (RIC) [11].....	21
Gambar 2.2 (a) Parameter hierarki geometri pada desain sirip fraktal bifurkasi, dan (b) skema implementasi sirip fraktal Stainless Steel 302 pada sistem pemanasan reaktor berinsulasi [27].	38
Gambar 2.3 Logo <i>Software Solidworks</i> [29].....	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	55
Gambar 3.2 Gambar Teknik 2D <i>Inner Reactor</i> tanpa <i>Fin Fractal</i>	56
Gambar 3.3 Gambar Teknik 2D <i>Inner Reactor</i> dengan <i>Fin Fractal</i>	61
Gambar 3.4 Pemodelan 3D Keseluruhan Sistem Reaktor Pirolisis.....	62
Gambar 4.1 Profil transien temperatur maksimum solid.....	92
Gambar 4.2 Profil Transien Temperatur Rata-Rata Fluida.....	94
Gambar 4.3 (a) <i>Cut Plot</i> dasar reaktor <i>baseline</i> , dan (b) <i>Cut Plot</i> tengah reaktor <i>baseline</i>	96
Gambar 4.4 (a) <i>Cut Plot</i> dasar reaktor 1400 W, dan (b) <i>Cut Plot</i> tengah reaktor 1400 W	97
Gambar 4.5 <i>Cut Plot</i> dasar reaktor 1600 W, dan (b) <i>Cut Plot</i> tengah reaktor 1600 W ..	99
Gambar 4.6 (a) <i>Cut Plot</i> dasar reaktor 1800 W, dan (b) <i>Cut Plot</i> tengah reaktor 1800 W	100
Gambar 4.7 (a) <i>Cut Plot</i> dasar reaktor 2000 W, dan (b) <i>Cut Plot</i> tengah reaktor 2000 W	102
Gambar 4.8 <i>Flow Trajectories</i> reaktor <i>baseline</i>	106
Gambar 4.9 <i>Flow Trajectories</i> reaktor 1400 W.....	107
Gambar 4.10 <i>Flow Trajectories</i> reaktor 1600 W.....	108
Gambar 4.11 <i>Flow Trajectories</i> reaktor 1800 W.....	110
Gambar 4.12 <i>Flow Trajectories</i> reaktor 2000 W.....	111
Gambar 4. 13 Grafik Kurva Laju Pemanasan (<i>Heating Rate</i>).....	116
Gambar 4.14 Suhu Maksimum dengan Batas Keamanan Material.....	118
Gambar 4.15 Grafik Persentase Laju Rugi Kalor (<i>Heat Loss</i>) Reaktor	119
Gambar 4. 16 Estimasi Konsumsi Energi Spesifik	121
Gambar 4.17 Indeks Intensitas Energi (EII) Reaktor	123
Gambar 4.18 Grafik Radar Keseimbangan Operasional (MCDA)	131

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rata-rata nasib sampah plastik antar wilayah di Indonesia [13]	23
Tabel 2.2 Rentang Suhu Optimal Slow Pyrolysis Plastik PP dan PE	24
Tabel 2.3 Nilai Konduktivitas Termal Material Polimer (PP & PE)	27
Tabel 2.4 Perbandingan Spesifikasi Kuantitatif Material <i>Austenitic Stainless Steel</i>	30
Tabel 2.5 Spesifikasi Teknis Material Insulasi Alumina (Al_2O_3)	32
Tabel 2.6 Spesifikasi Material Penyusun Elemen Pemanas Elektrik (<i>Tubular Heater</i>)	34
Tabel 3.1 Densitas komponen plastik PP/PE (ISO 1183 / ASTM D792)	59
Tabel 3.2 Parameter Kondisi Batas dan Spesifikasi Komputasi Simulasi	64
Tabel 3.3 Spesifikasi Karakteristik Jaring Komputasi Reaktor	71
Tabel 3. 4 Konfigurasi Dua Variasi <i>Mesh</i> dalam Uji Kebebasan Jaring	72
Tabel 3.5 Hasil Uji Kebebasan Jaring (Skenario 1600 W, 7 Jam)	73
Tabel 3.6 Sifat Termofisik Fluida Uap Hidrokarbon pada Suhu Operasi 450°C	75
Tabel 3.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analitis Parameter Termofisik Turunan	80
Tabel 3.8 Hasil Perhitungan Bilangan Reynolds pada Seluruh Skenario Pengujian	82
Tabel 3.9 Ringkasan Analisis Aliran Domain Fluida Reaktor Pirolisis	85
Tabel 3.10 Parameter dan Tolok Ukur Validasi Literatur Simulasi CFD Berdasarkan Variabel Eksperimen	86
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kerapatan Sel (<i>Grid Independence Test</i>) pada Skenario B ..	91
Tabel 4. 2 Matriks Identifikasi dan Justifikasi Visual Skenario Paling Optimal pada <i>Cut Plot</i>	104
Tabel 4.3 <i>Matriks</i> Identifikasi dan Justifikasi Visual Skenario Paling Optimal pada <i>Flow Trajectories</i>	113
Tabel 4.4 Perbandingan Multi-Parameter Validasi Model CFD terhadap Data Eksperimental	124
Tabel 4.5 Basis Kuantitatif Skor Kriteria Efisiensi Waktu	126
Tabel 4.6 Basis Kuantitatif Skor Kriteria Efisiensi Energi (EII)	127
Tabel 4.7 Basis Kuantitatif Skor Kriteria Keamanan Struktur	128
Tabel 4.8 Basis Kuantitatif Skor Kriteria Efektivitas Insulasi	128
Tabel 4.9 Basis Kuantitatif dan Kualitatif Skor Kriteria Kualitas Termal Uap	129
Tabel 4.10 <i>Matriks</i> Keputusan Multi-Kriteria (Skala Penilaian 0 - 5)	130
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Biaya Konsumsi Energi Listrik PLN pada Skenario Optimal (Skenario C)	132
Tabel 4.12 Estimasi Biaya Peralatan Reaktor Pirolisis (Tahun Proyeksi 2026)	134

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan timbunan sampah plastik, khususnya jenis *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE), telah menjadi krisis lingkungan yang menuntut penanganan berbasis teknologi berkelanjutan. Karakteristik polimer sintetik yang sulit terdegradasi secara biologis membuat pendekatan pembuangan akhir (*landfill*) tidak lagi relevan [1]. Sebagai alternatif, skema *Waste-to-Energy* (WtE) muncul sebagai paradigma baru dalam pengelolaan limbah melalui pengoptimalan kinerja konsumsi energi termal, yaitu proses peningkatan nilai guna material sisa menjadi sumber energi sekunder yang memiliki nilai keekonomian tinggi [2].

Di antara berbagai teknologi WtE, pirolisis diakui sebagai metode termokimia yang potensial untuk mengonversi material polimer. Meskipun literatur secara umum menyatakan bahwa *fast pyrolysis* lebih optimal untuk menghasilkan rendemen cair (*liquid yield*), metode pemanasan lambat (*slow pyrolysis*) menawarkan keunggulan adaptasi operasional terhadap sampah plastik berdimensi kasar dan tidak memerlukan fasilitas prapemrosesan pengecilan ukuran yang kompleks [3]. Pada karakteristik plastik PP/PE, laju perpindahan panas yang terkendali pada *slow pyrolysis* sangat krusial untuk mencegah fluktuasi termal ekstrem yang membahayakan integritas reaktor. Selain itu, berbeda dengan biomassa yang menyisakan banyak arang (*char*), polimer PP/PE memiliki residu karbon terikat yang sangat rendah sehingga pemanasan lambat tetap efektif memfasilitasi pelelehan dan degradasi termal menjadi lilin polimer (*polymer wax*) atau fraksi minyak berat (*heavy oil*) yang bernilai energi [4].

Meskipun secara operasional lebih praktis, implementasi reaktor pirolisis batch konvensional masih dihadapkan pada kendala efisiensi perpindahan panas yang sangat krusial. Sampah plastik memiliki konduktivitas termal yang sangat rendah (bersifat isolator), sehingga rambatan panas dari dinding reaktor menuju

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pusat tumpukan bahan baku berjalan sangat lambat karena hanya mengandalkan konduksi material searah [5]. Akibatnya, sering kali terjadi stratifikasi suhu yang buruk dan menciptakan titik panas ekstrem (*hotspot*) pada dinding dasar reaktor. Paparan *hotspot* ini secara kontinu akan melampaui batas aman metalurgi material reaktor, seperti *Stainless Steel* 302. Pemilihan material ini didasari oleh penggunaannya yang umum di industri skala menengah karena harga yang ekonomis, namun memiliki kerentanan tinggi terhadap tegangan termal yang berisiko menyebabkan pelengkungan (*warping*) hingga kegagalan struktural jangka panjang [6].

Untuk mengatasi inefisiensi distribusi panas tersebut, diusulkan inovasi integrasi sirip fraktal (*fractal tree shaped fins*) pada ruang bakar utama. Geometri fraktal yang bercabang mampu mengekspansi luas permukaan perpindahan panas (*heat transfer area*) secara signifikan tanpa memakan volume ruang reaktor secara berlebih, sehingga mempercepat laju penyerapan panas dan mempercepat pencapaian kesetimbangan termal [7]. Selain itu, untuk memitigasi rugi kalor (*heat loss*) ke lingkungan, batas luar reaktor dilindungi menggunakan material insulasi termal tingkat tinggi berbasis Alumina (Al_2O_3). Kombinasi kedua modifikasi ini diproyeksikan mampu menyerap dan menahan kalor secara optimal untuk disalurkan ke dalam bahan baku plastik [8].

Mengingat pengujian prototipe fisik secara *trial and error* membutuhkan biaya besar, pendekatan komputasional menjadi langkah awal investigasi yang efektif untuk mereduksi kegagalan desain. Meskipun simulasi memiliki keterbatasan validitas karena sangat bergantung pada asumsi matematis ideal dan tetap memerlukan validasi eksperimental di masa depan, penggunaan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics (CFD) thermal transient* memungkinkan observasi detail terhadap fenomena termodinamika kompleks sebelum tahap manufaktur fisik dilakukan [9]. Melalui pendekatan komputasi ini, variasi operasional daya pemanas dan waktu retensi dapat disimulasikan untuk dievaluasi tingkat Estimasi Konsumsi Energi Spesifik (SEC_{sim}) dan efisiensi termalnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mengacu pada celah permasalahan distribusi panas pada reaktor konvensional, investigasi komprehensif terkait efisiensi infrastruktur alat perlu dilakukan. Penelitian ini mengambil fokus pada analisis tekno-termal untuk mengoptimalkan distribusi kalor sampah plastik di dalam reaktor *slow pyrolysis* bersirip fraktal. Dengan menggunakan pendekatan simulasi termal untuk mengevaluasi variasi daya injeksi dan waktu retensi, penelitian ini diarahkan untuk merumuskan parameter operasional yang paling rasional guna menekan konsumsi energi sekaligus mencegah degradasi material reaktor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada aspek-aspek berikut:

1. Dinamika respons tekno-termal reaktor yang mencakup fluktuasi laju pemanasan (*heating rate*), pemerataan gradien suhu ruang, efektivitas penahanan kalor oleh insulasi Alumina, serta ambang batas keamanan termal *Stainless Steel* 302 sebagai akibat dari modifikasi daya injeksi dan durasi waktu retensi.
2. Evaluasi kuantitatif terhadap kapabilitas kinerja konsumsi energi termal pada berbagai skenario operasi, yang diproyeksikan melalui indikator Estimasi Konsumsi Energi Spesifik (SEC_{sim}) dan Indeks Intensitas Energi (EII).
3. Identifikasi titik keseimbangan teknis (*trade-off*) yang paling rasional untuk mempertemukan efisiensi konsumsi daya termodinamika dengan batas toleransi keselamatan struktur material reaktor.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka pertanyaan penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Sejauh mana variasi besaran daya pemanas dan rentang waktu operasi memengaruhi profil distribusi panas reaktor, khususnya terkait kecepatan pemanasan bahan baku, pencegahan kebocoran kalor, serta penghindaran titik panas ekstrem (*hotspot*) pada material reaktor?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Bagaimana perbandingan tingkat efisiensi pemanfaatan energi listrik pada masing-masing konfigurasi simulasi jika dianalisis berdasarkan parameter *Specific Energy Consumption Estimation* (SEC_{sim}) dan *Energy Intensity Index* (EII)?
3. Kombinasi daya dan waktu manakah yang terbukti menghasilkan kondisi operasi paling ideal untuk memaksimalkan kinerja energi sekaligus mencegah risiko kegagalan struktural alat?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menjawab pokok permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis korelasi antara variasi daya pemanas dan waktu retensi terhadap karakteristik tekno-termal reaktor (laju pemanasan, distribusi suhu, *heat loss*, dan keamanan material).
2. Mengevaluasi performa kinerja konsumsi energi pada setiap skenario operasional reaktor melalui penghitungan parameter kuantitatif SEC_{sim} dan EII.
3. Menentukan titik kompromi (*trade-off*) operasional paling optimal untuk mencapai efisiensi energi maksimal dengan tetap mempertahankan integritas struktural dan faktor keamanan termal pada reaktor.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang terukur, baik secara teoretis maupun praktis, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Menjadi acuan teknis dan basis data komputasional dalam perancangan geometri internal reaktor *slow pyrolysis* menggunakan modifikasi sirip fraktal untuk mengoptimalkan distribusi kalor.
2. Memberikan rekomendasi batas aman operasional reaktor (*thermal margin*) serta estimasi parameter konsumsi energi spesifik (SEC_{sim}) terbaik berdasarkan variasi daya elemen pemanas dan waktu retensi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Memberikan kontribusi praktis dalam pengembangan *blueprint* teknologi konversi *waste-to-energy* yang efektif sebagai solusi penanganan limbah polimer *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE).

6 Batasan Masalah Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini murni berbasis komputasi CFD termal transien (*Conjugate Heat Transfer*, aliran laminar) menggunakan SolidWorks tanpa pengujian fisik, sehingga keabsahan hasilnya diuji melalui metode Validasi Literatur terhadap data eksperimen terdahulu.
2. Kondisi operasional disimulasikan pada empat variasi matriks: Skenario A (1400 W, 8 Jam), Skenario B (1600 W, 7 Jam), Skenario C (1800 W, 6 Jam), dan Skenario D (2000 W, 5 Jam).
3. Diasumsikan suhu lingkungan awal konstan pada 29,5 °C mengacu pada suhu operasional riil di Indonesia berada pada rentang 27 °C – 32 °C dan tekanan udara 101.325 Pa.
4. Evaluasi hasil simulasi hanya difokuskan pada fenomena perpindahan panas infrastruktur alat (distribusi suhu, *heating rate*, *heat loss*, dan *thermal margin*) serta parameter kinerja konsumsi energi keteknikan berupa Estimasi Konsumsi Energi Spesifik (SEC_{sim}) dan Indeks Intensitas Energi (EII).
5. Penelitian secara tegas tidak membahas dinamika kinetika reaksi kimia pirolisis, serta tidak memprediksi volume rendemen luaran (*yield*) berupa minyak atau gas.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi ke dalam lima bab yang disusun secara sistematis, dengan struktur sebagai berikut:

a. Bab I Pendahuluan

Pada bab I ini menguraikan fondasi penelitian yang meliputi latar belakang permasalahan sampah plastik dan inefisiensi reaktor konvensional, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan yang ingin dicapai, manfaat penelitian,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

batasan masalah terkait ruang lingkup simulasi, serta sistematika penulisan skripsi.

b. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab II ini memaparkan landasan teori dan studi literatur terdahulu yang mendukung jalannya penelitian. Materi yang dibahas mencakup prinsip termodinamika *slow pyrolysis*, karakteristik termofisika polimer (PP/PE), teori perpindahan panas pada sirip fraktal dan insulasi Alumina, batas aman operasional *Stainless Steel 302*, serta konsep dasar *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada simulasi *thermal transient*.

c. Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab III ini menjelaskan secara sistematis tahapan pendekatan komputasional yang dilakukan. Uraian mencakup diagram alir penelitian, pemodelan geometri 3D reaktor termodifikasi, pengaturan mesh dan kondisi batas (*boundary conditions*), penetapan matriks skenario variasi (daya dan waktu), serta prosedur ekstraksi data menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation*.

d. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab IV ini merupakan inti dari penelitian yang menyajikan hasil ekstraksi data simulasi beserta analisis keteknikannya. Pembahasan difokuskan pada perbandingan visualisasi gradien suhu spasial, analisis integritas *thermal margin* material reaktor, efisiensi penahanan *heat loss* oleh insulasi, serta evaluasi angka kinerja konsumsi energi keteknikan (Estimasi Konsumsi Energi Spesifik dan Indeks Intensitas Energi) untuk keempat skenario yang diuji.

e. Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab V ini berisi kesimpulan pokok yang merangkum jawaban atas seluruh pertanyaan penelitian, termasuk penentuan titik kompromi skenario operasional yang paling optimal. Selain itu, bab ini juga memberikan saran-saran teknis dan aplikatif bagi penelitian lanjutan maupun pengembangan fasilitas *Waste-to-Energy* di masa mendatang.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi komputasional *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan pendekatan *Conjugate Heat Transfer* (CHT) serta analisis tekno-ekonomi yang telah dilakukan pada rancang bangun reaktor *slow pyrolysis* termodifikasi sirip fraktal, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Modifikasi geometri sirip fraktal terbukti meningkatkan distribusi panas di dalam reaktor pirolisis dengan memperbaiki pemerataan temperatur, memperluas jalur perpindahan panas, dan mengurangi pembentukan zona stagnasi dibandingkan reaktor konvensional (*baseline*).
2. Peningkatan daya pemanas meningkatkan laju pemanasan reaktor dari 0,85°C/menit pada 1400 W menjadi 1,25°C/menit pada 2000 W. Namun, peningkatan daya yang berlebihan tidak selalu menghasilkan performa termal terbaik karena dapat menurunkan keamanan termal struktur.
3. Kondisi operasi optimum diperoleh pada Skenario C dengan daya pemanas 1800 W dan waktu retensi 6 jam. Pada kondisi ini temperatur rata-rata fluida mencapai 430,16°C dan temperatur maksimum struktur sebesar 848,27°C, yang masih berada di bawah batas aman material *Stainless Steel* 302 sebesar 870°C.
4. Dibandingkan reaktor *baseline*, konfigurasi optimum mampu menurunkan waktu retensi proses dari 9 jam menjadi 6 jam (33,3%) serta menurunkan rugi kalor dari 17,28% menjadi 14,01%, sehingga memberikan keseimbangan terbaik antara kinerja termal, efisiensi energi, dan keamanan struktur reaktor.

5.2 Saran

Mengacu pada batasan penelitian (*boundary conditions*) dan hasil evaluasi yang telah dijabarkan, terdapat beberapa rekomendasi akademis dan teknis untuk penyempurnaan fasilitas *Waste-to-Energy* ini di masa mendatang:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Eksperimentasi Empiris dan Validasi Fabrikasi

Penelitian ini berfokus pada simulasi eksperimental komputasional (CFD). Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan tahap manufaktur/fabrikasi alat secara riil berdasarkan spesifikasi anggaran yang telah disusun, guna melakukan validasi empiris antara data temperatur transien hasil simulasi dengan data pembacaan sensor termokopel aktual di lapangan.

2. Eskalasi Material (*Material Upgrading*)

Apabila pengembangan industri menuntut waktu retensi yang lebih cepat dan suhu yang lebih agresif (seperti parameter pada Skenario D di daya ≥ 2000 W), disarankan untuk mengganti material dasar reaktor dari *Stainless Steel 302* ke material *superalloy* bertemperatur tinggi seperti *Stainless Steel 310s* atau *Inconel*, yang memiliki batas luluh (*yield strength*) stabil pada suhu di atas 1000°C.

3. Integrasi Manajemen Kontrol Cerdas (IoT)

Untuk meningkatkan skala kelayakan operasional (*commercial viability*) menuju sektor manajemen energi industri tingkat lanjut, pemanas elektrik reaktor dapat diintegrasikan dengan modul *Proportional-Integral-Derivative* (PID) *Controller* berbasis *Internet of Things* (IoT). Hal ini akan mengoptimalkan fluktuasi tarikan daya secara *real-time* menyesuaikan fase lelehan plastik, sehingga nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) dapat ditekan menjadi jauh lebih rendah dibandingkan intervensi daya statis.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Taufiq Hidayat, "Pemanfaatan Sampah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan PP (Polypropylene) Menggunakan Proses Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," *R2J*, vol. 7, no. 4, 2025, doi: 10.38035/rj.
- [2] R. A. M. Boloy *et al.*, "Waste-to-Energy Technologies Towards Circular Economy: a Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis," Jul. 01, 2021, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s11270-021-05224-x.
- [3] M. Maniscalco *et al.*, "Slow pyrolysis of an LDPE/PP mixture: Kinetics and process performance," *Journal of the Energy Institute*, vol. 96, pp. 234–241, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.joei.2021.03.006.
- [4] F. Weiland *et al.*, "Entrained flow gasification of polypropylene pyrolysis oil," *Molecules*, vol. 26, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.3390/molecules26237317.
- [5] M. Wang, T. Jia, X. Song, L. Yin, D. Chen, and K. Qian, "CFD–DEM Simulation of Heat Transfer and Reaction Characteristics of Pyrolysis Process of MSW Heated by High-Temperature Flue Gas," *Processes*, vol. 12, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/pr12020390.
- [6] J. Choi, C. S. Seok, S. Park, and G. Kim, "Effect of higherature degradation on microstructure evolution and mechanical properties of austenitic heat-resistant steel," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 2011–2020, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2018.11.017.
- [7] C. Zhang, J. Li, and Y. Chen, "Improving the energy discharging performance of a latent heat storage (LHS) unit using fractal-tree-shaped fins," *Appl. Energy*, vol. 259, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114102.
- [8] R. Luo *et al.*, "High-efficiency thermal insulation materials optimization of Al₂O₃f@Al₂O₃/RF/SiO₂," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 38, pp. 5135–5145, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.jmrt.2025.09.005.
- [9] N. Wikira, B. Bazooyar, and H. Gohari Darabkhani, "Modelling and Analysis of Low and Medium-Temperature Pyrolysis of Plastics in a Fluidized Bed Reactor for Energy Recovery," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.3390/en17236204.
- [10] J. Dong, Y. Tang, A. Nzihou, and Y. Chi, "Key factors influencing the environmental performance of pyrolysis, gasification and incineration Waste-to-Energy technologies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, pp. 497–512, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.06.016.
- [11] Surya Indo Utama, "klasifikasi plastik berdasarkan Resin Identification Code (RIC)," <https://siu-bijiplastik.com/7-simbol-daur-ulang-pada-plastik-ada-yang-tidak-bisa-di-recycle/>.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [12] G. K. Parku, F. X. Collard, and J. F. Görgens, "Pyrolysis of waste polypropylene plastics for energy recovery: Influence of heating rate and vacuum conditions on composition of fuel product," *Fuel Processing Technology*, vol. 209, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.fuproc.2020.106522.
- [13] A. H. Ramadan, E. Sembiring, B. Rahardyan, and H. Kardhana, "Mapping mismanaged plastic waste in Indonesia: subdistrict-level analysis through material flow from sources to the environment," *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, Dec. 2026, doi: 10.1038/s41598-026-41849-w.
- [14] P. Das and P. Tiwari, "The effect of slow pyrolysis on the conversion of packaging waste plastics (PE and PP) into fuel," *Waste Management*, vol. 79, pp. 615–624, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.08.021.
- [15] T. K. Dhaniswara, B. Sardi, S. R. Juliastuti, and M. Mahfud, "Non-catalytic and catalytic pyrolysis of polystyrene, polypropylene, and polyethylene for liquid fuel production using a reactor integrated with a fractionation column," *Cleaner Waste Systems*, vol. 11, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.clwas.2025.100305.
- [16] K. T. Vadiraj, A. K. Tom, E. Sumitha, S. Yuvaraj, and R. R. Achar, "Pyrolysis of Plastic Waste to Plastic Oil: A Future Source of Fuel," Mar. 01, 2025, *International Centre for Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems SDEWES*. doi: 10.13044/J.SDEWES.D13.0545.
- [17] A. Patti and D. Acierno, "Thermal Conductivity of Polypropylene-Based Materials," in *Polypropylene - Polymerization and Characterization of Mechanical and Thermal Properties*, IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.84477.
- [18] H. Weingrill, W. Hohenauer, K. Resch-Fauster, and C. Zauner, "Analyzing Thermal Conductivity of Polyethylene-Based Compounds Filled with Copper," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 304, no. 4, Apr. 2019, doi: 10.1002/mame.201800644.
- [19] X. Wu *et al.*, "A review: From the whole process of making thermal conductive polymer, the effective method of improving thermal conductivity," Jun. 01, 2024, *John Wiley and Sons Inc*. doi: 10.1002/pol.20230858.
- [20] P. Talwar, M. A. Agudelo, and S. Nanda, "Pyrolysis Process, Reactors, Products, and Applications: A Review," Jun. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en18112979.
- [21] S. Mazloum, S. Awad, N. Allam, Y. Aboumsallem, K. Loubar, and M. Tazerout, "Modelling plastic heating and melting in a semi-batch pyrolysis reactor," *Appl. Energy*, vol. 283, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116375.
- [22] R. Wang, Y. Hou, H. Yu, and M. Xing, "Numerical simulation on heat transfer characteristics of a bionic leaf-vein fractal fin heat exchanger," *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, p. 5887, Jan. 2026, doi: 10.1038/s41598-026-36012-4.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [23] P. J. Blau *et al.*, “Metals Handbook,” 2019.
- [24] V. G. Babashov, K. Suleimanov, M. I. Daskovskii, E. A. Shein, and Y. V. Stolyankov, “Structure and Properties of Highly Porous Alumina-Based Ceramic Materials after Heating by Concentrated Solar Radiation,” 2021, doi: 10.3390/ceramics.
- [25] J. F. Shackelford and R. H. Doremus, *Ceramic and glass materials: Structure, properties and processing*. Springer US, 2008. doi: 10.1007/978-0-387-73362-3.
- [26] J. A. Torres Tovar, H. Servín-Campuzano, M. González-Avilés, H. Sobral, F. J. Sánchez-Ruiz, and S. L. H. Trujillo, “Design of an Energy-Efficient Pilot-Scale Pyrolysis Reactor Using Low-Cost Insulating Materials,” *Recycling*, vol. 10, no. 6, Dec. 2025, doi: 10.3390/recycling10060199.
- [27] J. Qu, Y. Lei, and H. Wang, “Bioinspired three-level fractal fin design for enhanced heat transfer in phase change materials,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 274, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126654.
- [28] Z. Guo, L. Xu, F. Sun, and S. Sun, “Experimental Investigation on Heat Transfer Enhancement of Phase Change Materials by Fractal Fins,” *Energies*, vol. 17, no. 11, Jun. 2024, doi: 10.3390/en17112657.
- [29] Solidworks, “Solidworks CFD,” <https://www.solidworks.com/>.
- [30] D. D. Attanayake, F. Sewerin, S. Kulkarni, A. Dernbecher, A. Dieguez-Alonso, and B. van Wachem, “Review of Modelling of Pyrolysis Processes with CFD-DEM,” Aug. 01, 2023, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s10494-023-00436-z.
- [31] V. Soto, C. Ulloa, and X. Garcia, “A 3D Transient CFD Simulation of a Multi-Tubular Reactor for Power to Gas Applications,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/en15093383.
- [32] M. S. Cahyono, U. Ika, and F. Styana, “Influence of Heating Rate and Temperature on the Yield and Properties of Pyrolysis Oil Obtained from Waste Plastic Bag,” *Conserve: Journal of Energy and Environmental Studies (CJEES)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [33] G. H. Mohamed, F. Alzaabi, M. Alrwashdeh, K. Karuppasamy, S. Alameri, and A. Alfantazi, “Benchmarking SiCf/SiC, FeCrAl, and Cr-coated Zr alloy claddings: evaluating thermomechanical properties and high-temperature oxidation resistance of next-generation nuclear claddings,” 2025, *Taylor and Francis Ltd.* doi: 10.1080/23746149.2025.2559839.
- [34] B. Hooshdaran, S. H. Hosseini, M. Haghshenasfard, M. N. Esfahany, and M. Olazar, “CFD modeling of heat transfer and hydrodynamics in a draft tube conical spouted bed reactor under pyrolysis conditions: Impact of wall boundary



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- condition,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 127, pp. 224–232, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.044.
- [35] Y. Zhang *et al.*, “Exergy and energy analysis of pyrolysis of plastic wastes in rotary kiln with heat carrier,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 142, pp. 203–211, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.psep.2020.06.021.
- [36] K. V. Kostov, I. I. Ivanov, and K. T. Atanasov, “The analysis of the energy index and the application of equivalent distillation productivity as criteria for identification of the energy efficiency of a petroleum refinery,” *Polityka Energetyczna*, vol. 26, no. 1, pp. 133–144, 2023, doi: 10.33223/epj/161625.
- [37] T. Xayachak, N. Haque, D. Lau, R. Parthasarathy, and B. K. Pramanik, “Assessing the environmental footprint of plastic pyrolysis and gasification: A life cycle inventory study,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 173, pp. 592–603, May 2023, doi: 10.1016/j.psep.2023.03.061.
- [38] A. Dhahak, G. Hild, M. Rouaud, G. Mauviel, and V. Burkle-Vitzthum, “Slow pyrolysis of polyethylene terephthalate: Online monitoring of gas production and quantitative analysis of waxy products,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 142, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jaap.2019.104664.
- [39] A. Korotkov, A. Kozelkov, A. Kurkin, R. Giniyatullin, and S. Lashkin, “Numerical Simulation of the Conjugate Heat Transfer of a ‘Fluid–Solid Body’ System on an Unmatched Grid Interface,” *Fluids*, vol. 8, no. 10, Oct. 2023, doi: 10.3390/fluids8100266.
- [40] Y. Huang and X. Liu, “Charging and discharging enhancement of a vertical latent heat storage unit by fractal tree-shaped fins,” *Renew. Energy*, vol. 174, pp. 199–217, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.04.066.
- [41] S. S. M. Ajarostaghi, M. Zaboli, H. Javadi, B. Badenes, and J. F. Urchueguia, “A Review of Recent Passive Heat Transfer Enhancement Methods,” Feb. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/en15030986.
- [42] Y. Sun *et al.*, “Recent Advancements in Alumina-Based High-Temperature Insulating Materials: Properties, Applications, and Future Perspectives,” *High-Temperature Materials*, vol. 2, no. 1, pp. 10001–10001, 2025, doi: 10.70322/htm.2025.10001.
- [43] A. Lawrence, P. Thollander, M. Andrei, and M. Karlsson, “Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences,” *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 2, Jan. 2019, doi: 10.3390/en12020247.
- [44] A. Safavi, C. Richter, and R. Unnthorsson, “Energy Efficiency Optimization in Plastic Pyrolysis: A Data-Driven Modeling Study,” in *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2026, pp. 230–236. doi: 10.1007/978-3-032-03101-3_16.



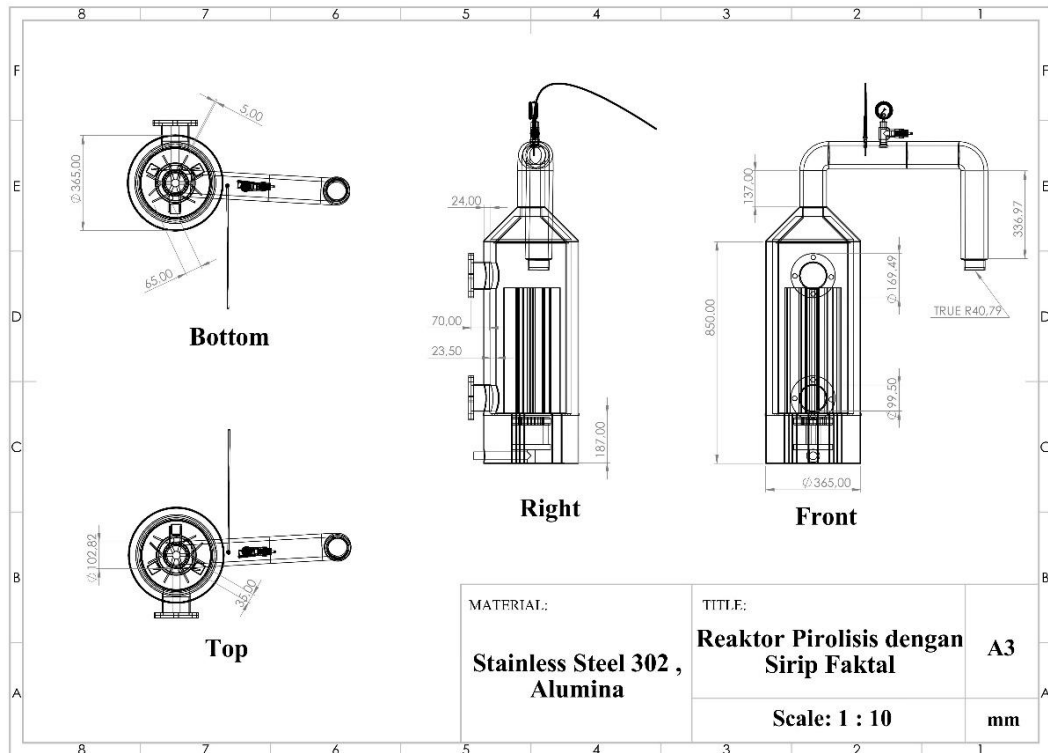
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [45] John. Scheirs and W. . Kaminsky, *Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics : converting waste plastics into diesel and other fuels*. J. Wiley & Sons, 2016.
- [46] J. R. J. Strien, H. C. Genuino, M. C. P. van Eijk, P. J. Deuss, and H. J. Heeres, “Pyrolysis of Polyolefin-Enriched Mixed Plastic Waste Streams: Effects of Pretreatments and Presence of Hydrogen during Pyrolysis,” *Energy and Fuels*, vol. 39, no. 1, pp. 686–698, Jan. 2025, doi: 10.1021/acs.energyfuels.4c04745.
- [47] Plastics Europe, “Nilai Densitas Polipropilena,” <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/polyolefins/>.
- [48] M. A. Pashkevich, A. V. Alekseenko, and T. A. Petrova, “Application of polymeric materials for abating the environmental impact of mine wastes,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1384/1/012039.
- [49] United States Patent, “SYSTEMS AND METHODS FOR MAKING HYDROCARBON COMPOSITIONS DERIVED FROM PYROLYSYS OF POST-CONSUMER AND/OR POST-INDUSTRIAL PLASTICS,” 2025.
- [50] P. Thieleke and C. Bonten, “Enhanced processing of regrind as recycling material in single-screw extruders,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 10, May 2021, doi: 10.3390/polym13101540.
- [51] L. A. De la Flor-Barriga and U. F. Rodríguez-Zúñiga, “Numerical analysis on a catalytic pyrolysis reactor design for plastic waste upcycling using CFD modelling,” *RSC Adv.*, vol. 12, no. 20, pp. 12436–12445, Apr. 2022, doi: 10.1039/d2ra01407f.
- [52] M. M. Harussani, S. M. Sapuan, U. Rashid, A. Khalina, and R. A. Ilyas, “Pyrolysis of polypropylene plastic waste into carbonaceous char: Priority of plastic waste management amidst COVID-19 pandemic,” Jan. 10, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149911.
- [53] CEPCI, “Chemical Engineering Plant Cost Index,” <https://www.training.itservices.manchester.ac.uk/public/gced/CEPCI.html?reactors/CEPCI/index.html>.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Teknik 2D Reaktor Pirolisis dengan Sirip Fraktal



Lampiran 2. Mesh Result Summary 1600 W, 7 Jam

Model	: Reactor pirolisis.SLDASM
Project Directory	: D:\Pirolisis Solidworks\2
Project Name	: Reactor flow
Configuration	: Default
Results File	: D: \Pirolisis Solidworks\2\2.cpt
Version	: Flow Simulation 2025 / 6475
File Type	: CPT
Physical time	: 25200 s
CPU time	: 31320 s
Total cells	: 116998
Fluid cells	: 55612
Solid cells	: 61386



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Fluid cells contacting solids	: 40732
Trimmed Cells	: 0
Maximum refinement level	: 3
X min	: 0.423 m
X max	: 1.280 m
Y min	: 0.627 m
Y max	: 2.094 m
Z min	: 1.269 m
Z max	: 1.993 m
X size	: 0.857 m
Y size	: 1.467 m
Z size	: 0.724 m
High Mach number flow	: No
Time-dependent	: Yes
Heat Conduction in Solids	: Yes
Radiation	: No
Porous Media	: No
Internal	: Yes
Gravity	: Yes
Basic Mesh Dimensions	: Nx = 14, Ny = 24, Nz = 12
Calculation warnings:	: No warnings

Lampiran 3. Perhitungan Laju Rugi Kalor (*Heat Loss* / $\dot{Q}_{\text{loss}}$)

a) Variabel Kontrol Baseline (1600 W – 9 jam)

Langkah 1 - Komponen Konvektif:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = \bar{q}_{\text{conv}} \times A_{\text{conv}}$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = 172,3567 \text{ W/m}^2 \times 0,73137 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = 126,056 \text{ W}$$

Langkah 2 – Komponen Konduktif:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \bar{q}_{\text{cond}} \times A_{\text{cond}}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\dot{Q}_{cond} = -4.174,8284 \text{ W/m}^2 \times 0,020545 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{cond} = -85,770 \text{ W}$$

Langkah 3 – Total Heat Loss:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 126,056 + (-85,770)$$

$$\dot{Q}_{loss} = 40,286 \text{ W}$$

Verifikasi:

$$\dot{Q}_{loss} = \bar{q}_{total} \times A_{total} = 53,5774 \times 0,75191 = 40,286 \text{ W}$$

b) Skenario A (1400 W – 8 jam)

Langkah 1 - Komponen Konvektif:

$$\dot{Q}_{conv} = \bar{q}_{conv} \times A_{conv}$$

$$\dot{Q}_{conv} = 131,4195514 \text{ W/m}^2 \times 0,731366315 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = 96,116 \text{ W}$$

Langkah 2 – Komponen Konduktif:

$$\dot{Q}_{cond} = \bar{q}_{cond} \times A_{cond}$$

$$\dot{Q}_{cond} = -2.903,31409 \text{ W/m}^2 \times 0,020544658 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{cond} = -59,648 \text{ W}$$

Langkah 3 – Total Heat Loss:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 96,116 + (-59,648)$$

$$\dot{Q}_{loss} = 36,468 \text{ W}$$

Verifikasi:

$$\dot{Q}_{loss} = \bar{q}_{total} \times A_{total} = 48,5007 \times 0,75191 = 36,468 \text{ W}$$

c) Skenario B (1600 W – 7 jam)

Langkah 1 - Komponen Konvektif:

$$\dot{Q}_{conv} = \bar{q}_{conv} \times A_{conv}$$

$$\dot{Q}_{conv} = 134,0551776 \text{ W/m}^2 \times 0,731366315 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = 98,043 \text{ W}$$

Langkah 2 – Komponen Konduktif:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\dot{Q}_{cond} = \bar{q}_{cond} \times A_{cond}$$

$$\dot{Q}_{cond} = -3.247,08874 \text{ W/m}^2 \times 0,020544658 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{cond} = -66,710 \text{ W}$$

Langkah 3 – Total Heat Loss:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 98,043 + (-66,710)$$

$$\dot{Q}_{loss} = 31,333 \text{ W}$$

Verifikasi:

$$\dot{Q}_{loss} = \bar{q}_{total} \times A_{total} = 41,6713 \times 0,75191 = 31,333 \text{ W}$$

d) Skenario C (1800 W – 6 jam)

Langkah 1 - Komponen Konvektif:

$$\dot{Q}_{conv} = \bar{q}_{conv} \times A_{conv}$$

$$\dot{Q}_{conv} = 126,3281564 \text{ W/m}^2 \times 0,731366315 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = 92,392 \text{ W}$$

Langkah 2 – Komponen Konduktif:

$$\dot{Q}_{cond} = \bar{q}_{cond} \times A_{cond}$$

$$\dot{Q}_{cond} = -3.747,65904 \text{ W/m}^2 \times 0,020544658 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{cond} = -76,994 \text{ W}$$

Langkah 3 – Total Heat Loss:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond}$$

$$\dot{Q}_{loss} = 92,392 + (-76,994)$$

$$\dot{Q}_{loss} = 15,398 \text{ W}$$

Verifikasi:

$$\dot{Q}_{loss} = \bar{q}_{total} \times A_{total} = 20,4782 \times 0,75191 = 15,398 \text{ W}$$

e) Skenario D (2000 W - 6 jam)

Langkah 1 - Komponen Konvektif:

$$\dot{Q}_{conv} = \bar{q}_{conv} \times A_{conv}$$

$$\dot{Q}_{conv} = 137,2591765 \text{ W/m}^2 \times 0,731366315 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = 100,387 \text{ W}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Langkah 2 – Komponen Konduktif:

$$\dot{Q}_{cond} = \bar{q}_{cond} \times A_{cond}$$

$$\dot{Q}_{cond} = -3.950,59945 \text{ W/m}^2 \times 0,020544658 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{cond} = -81,164 \text{ W}$$

Langkah 3 – Total Heat Loss:

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond}$$

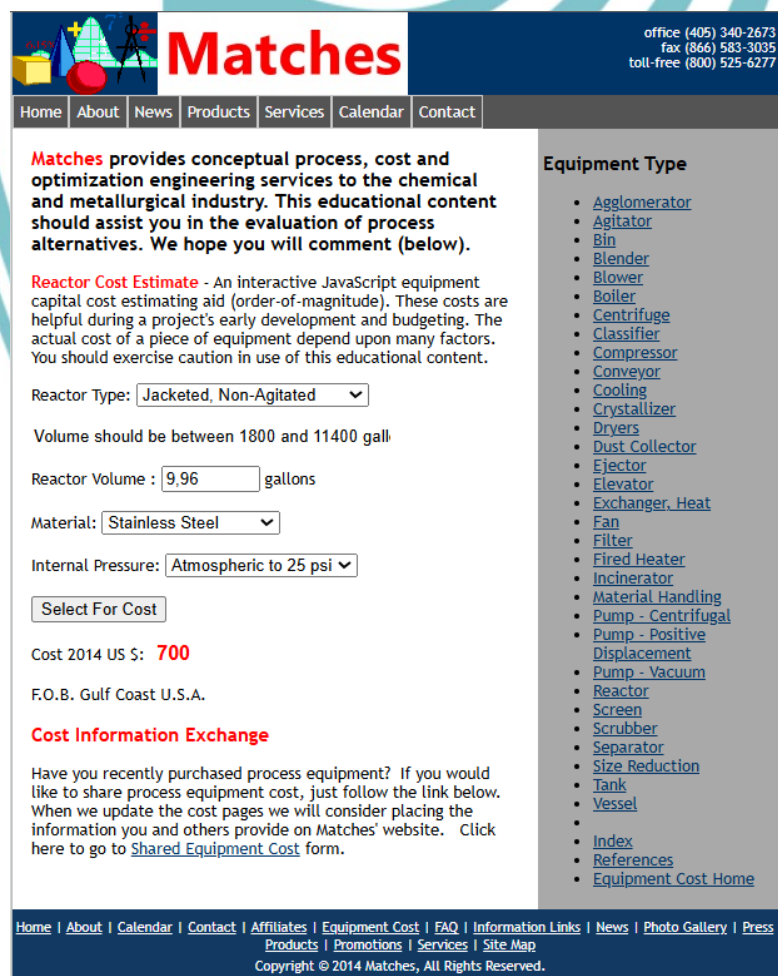
$$\dot{Q}_{loss} = 100,387 + (-81,164)$$

$$\dot{Q}_{loss} = 19,223 \text{ W}$$

Verifikasi:

$$\dot{Q}_{loss} = \bar{q}_{total} \times A_{total} = 25,5656 \times 0,75191 = 19,223 \text{ W}$$

Lampiran 4. Estimasi Biaya Peralatan Proses Matches Reaktor



Matches provides conceptual process, cost and optimization engineering services to the chemical and metallurgical industry. This educational content should assist you in the evaluation of process alternatives. We hope you will comment (below).

Reactor Cost Estimate - An interactive JavaScript equipment capital cost estimating aid (order-of-magnitude). These costs are helpful during a project's early development and budgeting. The actual cost of a piece of equipment depend upon many factors. You should exercise caution in use of this educational content.

Reactor Type:

Volume should be between 1800 and 11400 gall

Reactor Volume : gallons

Material:

Internal Pressure:

Cost 2014 US \$: **700**

F.O.B. Gulf Coast U.S.A.

Cost Information Exchange

Have you recently purchased process equipment? If you would like to share process equipment cost, just follow the link below. When we update the cost pages we will consider placing the information you and others provide on Matches' website. Click here to go to [Shared Equipment Cost](#) form.

Equipment Type

- [Agglomerator](#)
- [Agitator](#)
- [Bin](#)
- [Blender](#)
- [Blower](#)
- [Boiler](#)
- [Centrifuge](#)
- [Classifier](#)
- [Compressor](#)
- [Conveyor](#)
- [Cooling](#)
- [Crystallizer](#)
- [Dryers](#)
- [Dust Collector](#)
- [Ejector](#)
- [Elevator](#)
- [Exchanger, Heat](#)
- [Fan](#)
- [Filter](#)
- [Fired Heater](#)
- [Incinerator](#)
- [Material Handling](#)
- [Pump - Centrifugal](#)
- [Pump - Positive Displacement](#)
- [Pump - Vacuum](#)
- [Reactor](#)
- [Screen](#)
- [Scrubber](#)
- [Separator](#)
- [Size Reduction](#)
- [Tank](#)
- [Vessel](#)
- [Index](#)
- [References](#)
- [Equipment Cost Home](#)

Home | About | Calendar | Contact | Affiliates | Equipment Cost | FAQ | Information Links | News | Photo Gallery | Press | Products | Promotions | Services | Site Map

Copyright © 2014 Matches, All Rights Reserved.

Lampiran 5. Tabel pengolahan data *cost index* alat berdasarkan *Chemical Engineering Plant Cost Index*

Tahun	x	y	x ²	y ²	xy
2012	-5	583,6	25	340589	-2918
2013	-4	567,3	16	321829,3	-2269,2
2014	-3	576,1	9	331891,2	-1728,3
2015	-2	556,8	4	310026,2	-1113,6
2016	-1	541,7	1	293438,9	-541,7
2017	0	567,5	0	322056,3	0
2018	1	603,1	1	363729,6	603,1
2019	2	607,5	4	369056,3	1215
2020	3	596,2	9	355454,4	1788,6
2021	4	708,8	16	502397,4	2835,2
2022	5	816	25	665856	4080
Total	0	6724,6	110	4176325	1951,1

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Nama Lengkap : Muhammad Ammar Amanullah
2. NIM : 2202431044
3. Tempat, Tanggal Lahir : Depok, 13 Maret 2004
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Alamat : Perumahan Cenning Ampe Blok G/10
RT/RW 02/027 Kecamatan Cilodong, Kota Depok
6. Email : muhammad.ammar.amanullah.tm22@mhsw.pnj.ac.id
7. Pendidikan
 - a. SD : SDIT Rahmadiyah
 - b. SMP : SMPN 4 Depok
 - c. SMA : SMA Plus PGRI Cibinong
8. Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Reakayasa Konversi Energi
9. Bidang Peminatan : Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta