

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
LEMBAR MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvii
INTISARI.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.2.1. Batasan Masalah	4
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1. Isi Tinjauan Pustaka	6
II.2. Penulisan Acuan	24
BAB III DASAR TEORI	27
III.1. Fundamental Fluida.....	27
III.1.1. Pengertian Fluida	27
III.1.2. Tegangan dan Tekanan	27
III.1.3. Sifat Fluida	28
III.1.4. Densitas	29
III.1.5. Viskositas	30
III.2. Mekanika Fluida dan Penggolongan Jenis Aliran.....	30
III.2.1. Kondisi <i>No-Slip</i> dan <i>Boundary Layer</i>	31
III.2.2. Sistem, Control Mass, dan Control Volume	32
III.2.3. Laju Aliran Massa	33



III.2.4. Streamline, Pathline, dan Streakline	34
III.2.5. Laminar dan Turbulen.....	35
III.2.6. Bilangan Reynolds	36
III.2.7. Aliran Internal dan Eksternal	37
III.2.8. Daerah <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	37
III.2.9. Tingkat Kompresibilitas.....	38
III.2.10. Aliran Alami dan Aliran Paksaan	38
III.2.11. Aliran Satu, Dua, dan Tiga Dimensi	39
III.2.12. Steady dan Unsteady	39
III.2.13. Aliran Seragam dan Tidak Seragam	40
III.3. Persamaan Penyusun Aliran Fluida	40
III.3.1. Konservasi Massa.....	40
III.3.2. Konservasi Momentum	41
III.3.3. Kontinuitas	42
III.3.4. Navier-Stokes.....	43
III.4. Combining <i>Manifold</i> Sebagai Objek yang Diteliti.....	44
III.4.1. Arti Penting Keseragaman	46
III.4.2. Standar ASME untuk Pipa	46
III.5. Udara Hasil Pembakaran.....	47
III.6. <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	48
III.6.1. Tahap Pembuatan Geometri	50
III.6.2. Tahap Pembentukan <i>Mesh</i>	51
III.6.3. Kriteria Pembentukan <i>Mesh</i>	51
III.6.4. Tahap Penggunaan <i>Solver</i>	55
III.6.5. Model Turbulensi	62
III.6.6. Validasi Model	65
III.6.7. Validasi Penggunaan Jumlah Elemen <i>Mesh</i>	65
III.7. <i>Extent of Non-Uniformity</i>	65
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	67
IV.1. Metode Penelitian	67
IV.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	68
IV.3. Tata Laksana Penelitian	68



IV.4. Studi Literatur	69
IV.5. Objek Permasalahan dan Tuntutan Rancangan.....	70
IV.6. Skema Sistem Prototipe dan Lokasi dari Objek yang Diteliti	71
IV.7. Validasi Model dan Tes Independensi <i>Mesh</i>	73
IV.7.1. Validasi Model.....	74
IV.7.2. Tes Independensi <i>Mesh</i>	83
IV.7.3. Simulasi Objek Penelitian yang Terpasang	89
IV.7.4. Optimasi Desain Objek Penelitian	93
IV.7.5. Analisis Hasil	98
IV.7.6. Penulisan Laporan.....	98
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	100
V.1. Hasil Penelitian	100
V.1.1. Hasil Simulasi Objek Terpasang	100
V.1.2. Hasil Simulasi Konfigurasi Alternatif.....	103
V.1.3. Hasil Tekanan pada Seluruh Konfigurasi.....	106
V.2. Pembahasan.....	107
V.3. Desain Alternatif Rekomendasi	113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	115
VI.1. Kesimpulan	115
VI.2. Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN.....	119
LAMPIRAN A	119
LAMPIRAN B	122
LAMPIRAN C	123
LAMPIRAN D.....	124



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi Udara Hasil Pembakaran dari Desain	47
Tabel 4.1. Alat Penelitian.....	68
Tabel 4.2. Detail Geometri Eksperimen Referensi	76
Tabel 4.3. Hasil Simulasi Menggunakan $k-\omega$ SST	81
Tabel 4.4. Hasil Simulasi Menggunakan $k-\epsilon$ <i>Realizable</i>	82
Tabel 4.5. Kualitas <i>Mesh</i> yang Dihasilkan Seluruh Variasi <i>Mesh</i>	86
Tabel 4.6. Laju Massa Aliran untuk Setiap Variasi Elemen <i>Mesh</i>	87
Tabel 4.7. Perbandingan Nilai <i>ENU</i> antar Varasi Elemen <i>Mesh</i>	89
Tabel 4.8. Detail Geometri Desain Alternatif yang Dianalisis	95
Tabel 4.9. Nilai Parameter Kualitas <i>Mesh</i> pada Seluruh Konfigurasi Desain	97
Tabel 5.1. Nilai Laju Massa Aliran Hasil Simulasi Objek Terpasang	101
Tabel 5.2. Nilai Laju Massa Aliran Hasil Simulasi Optimasi Desain.....	104
Tabel 5.3. Nilai <i>ENU</i> Individual dan Global untuk Seluruh Konfigurasi Desain Alternatif	105
Tabel 5.4. Hasil Penurunan Tekanan (ΔP) pada Seluruh Konfigurasi.....	106
Tabel 5.5. Rangkuman Nilai <i>ENU</i> Global (<i>ENU</i>) untuk Seluruh Konfigurasi berserta <i>Area Ratio</i>	108
Tabel 5.6. Persentase Peningkatan Keseragaman Distribusi Aliran untuk Seluruh Desain Alternatif.....	111
Tabel D.1. Data Laju Aliran Massa dari Simulasi Objek Validasi dengan Tekanan <i>Inlet</i> Sebesar 1100 Pa.	124
Tabel D.2. Nilai <i>ENU</i> pada Objek Terpasang.....	129



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Variasi tipe <i>manifold</i> : (a) <i>dividing</i> , (b) <i>combining</i> , (c) <i>reverse</i> , and (d) <i>parallel</i> [2].	6
Gambar 2.2. Diagram skematis untuk eksperimen aliran pembagi [6].	9
Gambar 2.3. Efek rasio area penampang <i>header</i> dengan area penampang pipa cabang satuan (m) terhadap rasio jatah distribusi aliran (q/Q_0) [6].	10
Gambar 2.4. Distribusi laju aliran pada pipa cabang (g/G_0) dan variasi tekanan sepanjang <i>header</i> (Δh mmAg) [13].	11
Gambar 2.5. Ilustrasi desain <i>header</i> dua tahap pada <i>plate heat exchanger</i> [7].	12
Gambar 2.6. Desain sebuah <i>pipeline distributor</i> [16].	14
Gambar 2.7. Hasil <i>meshing</i> geometri <i>manifold</i> yang dipotong pada bidang simetrinya [8].	16
Gambar 2.8. Rangkaian <i>manifold</i> konvensional dengan sepuluh cabang [4].	18
Gambar 2.9. Ilustrasi pelat berlubang pada <i>header</i> sebuah <i>manifold</i> yang berperan sebagai penyeragam distribusi aliran [4].	20
Gambar 2.10. Geometri <i>manifold</i> (<i>header tube assembly</i>) lengkap dengan rangkaian pembagi dan penyatu [18].	21
Gambar 2.11. Pelat distributor pada <i>header</i> , di mana l_1 menunjukkan jarak antara lubang pelat dan l_2 menunjukkan jarak antara lubang pelat dengan lubang cabang <i>manifold</i> terdekat [18].	23
Gambar 3.1. Ilustrasi komponen tegangan pada permukaan fluida.	28
Gambar 3.2. Ilustrasi profil aliran fluida melalui sebuah bidang rata [21].	32
Gambar 3.3. Ilustrasi komponen kecepatan aliran melalui <i>control surface</i> [19].	33
Gambar 3.4. Visualisasi dari (a) <i>streamline</i> , (b) <i>pathline</i> , dan (c) <i>streakline</i> pada sebuah aliran [19]. Sepanjang garis <i>streamline</i> , vektor kecepatan yang bersinggungan pada setiap titiknya selalu tangensial dengan arah <i>streamline</i> .	35



Gambar 3.5. Aliran (a) laminar, (b) transisi, dan (c) turbulen yang mengalir di atas sebuah permukaan datar [19].	36
Gambar 3.6. Skema dari sebuah <i>manifold</i> (a) pembagi, (b) penyatu, (c) pembalik, dan (d) paralel [2].	45
Gambar 3.7. Gambaran suatu sisi pada <i>grid (mesh)</i> di mana θ merupakan sudut yang terbentuk antara dua rusuk bangun ruang [24].	52
Gambar 3.8. Contoh segitiga dan segiempat ideal (kiri) dan yang terdistorsi (kanan) [26].	53
Gambar 3.9. Ilustrasi dari kumpulan sel 2D dengan bentuk <i>mesh</i> segitiga [26].	54
Gambar 3.10. Spektrum kriteria kualitas <i>mesh</i> subjektif yang didasarkan temuan kebanyakan kasus [27].	55
Gambar 3.11. Diagram alir pada tahap <i>solver</i> dari CFD [24].	56
Gambar 3.12. Alur kerja untuk algoritma <i>segregated</i> dan <i>coupled</i> pada <i>pressure-based solver</i> [29].	59
Gambar 3.13. Alur kerja algoritma <i>density-based solver</i> [29].	60
Gambar 4.1. Diagram alir pelaksanaan penelitian.	69
Gambar 4.2. Tampak isometris belakang kanan <i>assembly boiler</i> dengan komponen yang ditandai biru sebagai objek penelitian. (a) adalah tampak keseluruhan sistem dan (b) adalah gambar yang diperbesar pada objek penelitian.	72
Gambar 4.3. Penamaan bagian dari <i>combining manifold</i> yang diteliti.	73
Gambar 4.4. Dimensi dari domain aliran <i>combining manifold</i> yang diteliti.	73
Gambar 4.5. Diagram alir alur pelaksanaan validasi model dan tes independensi <i>mesh</i> .	74
Gambar 4.6. Susunan <i>combining manifold</i> yang menjadi objek validasi [13].	77
Gambar 4.7. (a) Geometri 3D domain fluida dari <i>manifold</i> validasi dan (b) dimensi dari <i>manifold</i> validasi.	78
Gambar 4.8. <i>Mesh</i> objek bahan validasi yang dibentuk.	79



Gambar 4.9. Grafik profil distribusi aliran pada <i>combining manifold</i> hasil simulasi validasi model dengan data eksperimen jurnal referensi.....	83
Gambar 4.10. Masukan dan keluaran dari <i>combining manifold</i>	85
Gambar 4.11. Perbandingan resolusi <i>mesh</i> untuk ukuran sel maksimal dalam meter (a) 0,04, (b) 0,0125, (c) 0,01, (d) 0,0075, dan (e) 0,006.	86
Gambar 4.12. Grafik perbedaan hasil laju massa aliran pada seluruh variasi <i>mesh</i> yang digunakan.	88
Gambar 4.13. Geometri dari <i>manifold outlet</i> yang diteliti.	90
Gambar 4.14. Diagram alir rangkaian simulasi objek terpasang yang dilaksanakan.	91
Gambar 4.15. Diagram alir rangkaian simulasi optimasi desain yang akan dilaksanakan.	96
Gambar 4.16. Geometri domain fluida dari desain alternatif yang akan diuji. Masing-masing memiliki ukuran <i>header</i> (a) 6 inci (b) 8 inci (c) 10 inci (d) 12 inci.....	97
Gambar 5.1. Kontur kecepatan aliran melalui <i>manifold outlet</i> terpasang.	102
Gambar 5.2. Grafik ENU objek penelitian yang terpasang.	103
Gambar 5.3. Kontur kecepatan aliran untuk konfigurasi <i>header</i> (a) 6 inci, (b) 8 inci, (c) 10 inci, dan (d) 12 inci.	104
Gambar 5.4. Grafik perbandingan nilai ENU individual pada seluruh desain alternatif yang dianalisis.	106
Gambar 5.5. Tayangan persentase jatah massa aliran yang didapat masing-masing <i>inlet</i> pada seluruh konfigurasi <i>manifold</i> yang dianalisis.	109
Gambar 5.6. Gambar detail desain alternatif dengan <i>header</i> 10 inci.....	113
Gambar 5.7. Gambar detail desain alternatif dengan <i>header</i> 12 inci.....	113
Gambar A.1. <i>Heat mass balance</i> PLTBm 10 kW.....	119
Gambar A.2. Spesifikasi aliran air di dalam tabung <i>economizer</i> dan gas buang yang melalui komponen tersebut di dalam <i>assembly boiler</i>	119



Gambar A.3. Potongan gambar detail <i>assembly boiler</i> dan <i>furnace</i> tampak belakang isometris. Bagian (a) menunjukkan geometri dari <i>assembly</i> dan (b) adalah keterangan komponen sesuai nomor yang tertera.....	120
Gambar A.4. Potongan gambar detail susunan dalam <i>assembly boiler</i> dan <i>furnace</i> . Bagian (a) menunjukkan geometri dari <i>assembly</i> dan (b) adalah keterangan komponen sesuai nomor yang tertera.	120
Gambar A.5. Desain selter PLTBm 10 kW pada (a) tampak kiri dan (b) tampak depan dan bagian masuk selter.	121
Gambar A.6. Gambar detail tampak atas rangkaian pipa dari <i>assembly boiler</i> menuju <i>air preheater</i>	121
Gambar B.1. Tampak rangkaian pipa <i>manifold outlet</i> dari (a) sisi kanan belakang dan (b) sisi kiri belakang <i>assembly boiler</i>	122
Gambar B.2. Kegiatan pengukuran yang dilakukan penulis di lokasi prototipe PLTBm 10 kW di Hutan Wisata Wanagama, Gunungkidul, DIY. Bagian (a) menunjukkan kegiatan pengukuran penulis dan (b) menunjukkan tampak prototipe dari sisi kiri.	122
Gambar D.1. Penggunaan <i>web open source</i> WebPlotDigitizer untuk mencocokkan data eksperimen berbentuk grafik menjadi bentuk tabel melalui pencocokan piksel.	124
Gambar D.2. Gambar detail geometri objek terpasang.....	125
Gambar D.3. Pengaturan pembentukan <i>mesh</i> untuk seluruh simulasi. Bagian (a) menunjukkan pengaturan <i>mesh</i> permukaan; (b) menunjukkan pengaturan <i>boundary layer</i> ; dan (c) menunjukkan pengaturan <i>mesh</i> volume.....	125
Gambar D.4. Pengaturan sifat fluida dan laju aliran massa pada <i>outlet</i> untuk seluruh simulasi yang dilaksanakan.	126
Gambar D.5. Hasil simulasi objek terpasang di mana (a) menunjukkan grafik residual setiap iterasi hingga menuju konvergensi dan (b) nilai laju aliran massa pada setiap masukan dan keluaran setiap iterasi yang terlihat tunak.	126
Gambar D.6. Data <i>post-processing</i> setelah simulasi pada objek terpasang di mana (a) kontur tekanan fluida pada penampang <i>manifold</i> dan (b) kontur 3D	



untuk parameter perhitungan numerik Y^+ beserta nilai rata-rata areanya.	127
Gambar D.7. Grafik residual setiap iterasi hingga menuju konvergensi untuk desain alternatif untuk optimasi pada desain <i>header</i> (a) 6 inci, (b) 8 inci, (c), 10 inci, dan (d) 12 inci.	127
Gambar D.8. Nilai laju aliran massa pada setiap masukan dan keluaran setiap iterasi yang terlihat tunak pada simulasi desain alternatif dengan ukuran <i>header</i> (a) 6 inci, (b) 8 inci, (c) 10 inci, dan (d) 12 inci.....	128
Gambar D.9. Kontur tekanan pada penampang <i>manifold outlet</i> hasil simulasi desain alternatif dengan ukuran <i>header</i> (a) 6 inci, (b) 8 inci, (c) 10 inci, dan (d) 12 inci.	128
Gambar D.10. Kontur 3D parameter perhitungan numerik Y^+ beserta nilai rata-rata areanya pada hasil simulasi desain alternatif dengan ukuran <i>header</i> (a) 6 inci, (b) 8 inci, (c) 10 inci, dan (d) 12 inci.	129

