

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
INTISARI.....	xx
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	 4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Prinsip Pembakaran	6
2.2.1.1 Pembakaran Teoritis dan Aktual	7
2.2.1.2 Entalpi Pembentukan dan Entalpi Pembakaran	9
2.2.1.3 Temperatur Api Adiabatik	12

2.2.2 Proses Pembakaran Dalam Ruang Bakar Turbin Gas	12
2.2.3 Emisi NO _x	15
2.2.3.1 Persamaan Atur Untuk <i>Transport</i> NO _x	15
2.2.3.2 Pembentukan NO _x termal	16
2.2.3.3 Pembentukan NO _x Prompt	22
2.2.3.4 Pembentukan NO _x Bahan Bakar	26
2.2.3.5 Reduksi NO _x Melalui Mekanisme <i>Reburning</i>	27
2.2.4 Emisi Soot	28
2.2.4.1 <i>Single step model</i>	29
2.2.4.2 <i>Two step model</i>	30
2.2.5 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	33
2.2.5.1 Persamaan kekekalan massa	33
2.2.5.2 Persamaan kekekalan momentum	33
2.2.5.3 Persamaan energi	34
2.2.5.4 Persamaan <i>species transport</i>	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Rancangan Penelitian	37
3.2 Diagram Alir Simulasi	39
3.3 Alat dan Bahan	40
3.4 Permodelan Simulasi	40
3.5 Proses Simulasi	41
3.5.1 Persiapan Geometrid an Grid.....	42
3.5.2 Pendifisian <i>Solver</i> Dalam FLUENT	42
3.5.3 Pengaktifan Persamaan Energi	43
3.5.4 Permodelan Turbulensi	44
3.5.5 Permodelan <i>Species Transport</i> dan Reaksi Kimia	44
3.5.6 Pendefisian Material	45
3.5.7 Pendefisian Kondisi Batas	47
3.5.8 Penentuan Parameter Kontrol Solusi	49
3.5.9 Inisialisasi dan Iterasi	49

3.5.10 Pendefinisian Pembentukan NO dan Soot	50
3.5.11 <i>Post Processing</i>	51
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 Kondisi Referensi	52
4.2 Pengaruh Variasi Temperatur Udara <i>Inlet</i>	64
4.2.1 Temperatur.....	64
4.2.2 NO _x	67
4.2.3 Soot	71
4.2.4 Analisis	75
4.3 Pengaruh Variasi Tekanan Udara Masuk	79
4.3.1 Temperatur.....	79
4.3.2 NO _x	83
4.3.3 Soot	87
4.3.4 Analisis	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. NO _x ,CO,UHC sebagai fungsi dari temperatur gas	4
Gambar 2.2. Temperatur pada penampang radial dalam tiap jarak pengukuran ..	5
Gambar 2.3. Fraksi massa <i>soot</i> pada penampang radial dalam tiap jarak pengukuran	6
Gambar 2.4. Pembakaran	7
Gambar 2.5. Bentuk mikroskopik dari energi pada substansi	10
Gambar 2.6. Proses kerja jet engine	13
Gambar 2.7. Proses pembakaran dalam ruang bakar turbin gas	14
Gambar 2.8. Jumlah massa udara pada masing-masing zona dalam ruang bakar turbin gas	14
Gambar 2.9. Model pembentukan dan penguraian NO _x bahan bakar	17
Gambar 3.1. Grid <i>liner</i> kombustor	42
Gambar 3.2. Panel pemilihan formulasi solver	43
Gambar 3.3. Panel pengaktifan persamaan energi	43
Gambar 3.4. Panel permodelan untuk turbulensi	44
Gambar 3.5. Panel permodelan <i>species transport and reaction</i>	45
Gambar 3.6. Panel pendefinisian material	46
Gambar 3.7. Panel pendefinisian reaksi kimia	46
Gambar 3.8. Panel pendefinisian kondisi batas	47
Gambar 3.9. Panel pendefinisian kondisi batas <i>mass flow inlet</i>	48
Gambar 3.10. Panel pendefinisian kondisi batas pressure outlet	48
Gambar 3.11. Panel penentuan parameter kontrol solusi	49
Gambar 3.12. Panel inisialisasi	50
Gambar 3.13. Panel permodelan NO _x	51
Gambar 3.14. Panel permodelan <i>Soot</i>	51
Gambar 4.1. kontur kecepatan pada kondisi referensi	52
Gambar 4.2. vektor kecepatan pada kondisi referensi	53

Gambar 4.3. Perbesaran vektor kecepatan untuk daerah A pada kondisi referensi	54
Gambar 4.4. Perbesaran vektor kecepatan untuk daerah B pada kondisi referensi	54
Gambar 4.5. Perbesaran vektor kecepatan untuk daerah C pada kondisi referensi	55
Gambar 4.6. Perbesaran vektor kecepatan untuk daerah D pada kondisi referensi	55
Gambar 4.7. Perbesaran vektor kecepatan untuk daerah E pada kondisi referensi	56
Gambar 4.8. plot distribusi kecepatan pada <i>outlet</i>	56
Gambar 4.9. kontur temperatur statis pada kondisi referensi	57
Gambar 4.10. plot distribusi temperatur statis pada <i>outlet</i>	57
Gambar 4.11. kontur fraksi massa CO ₂	58
Gambar 4.12. kontur fraksi massa H ₂ O	58
Gambar 4.13. kontur fraksi massa NO	59
Gambar 4.14. plot distribusi NO _x pada <i>outlet</i>	59
Gambar 4.15. kontur fraksi massa soot.....	60
Gambar 4.16. plot distribusi soot pada <i>outlet</i>	60
Gambar 4.17. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 150°C	64
Gambar 4.18. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 175°C	64
Gambar 4.19. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 200°C	64
Gambar 4.20. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 225°C	65
Gambar 4.21. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 250°C	65
Gambar 4.22. kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 275°C	65
Gambar 4.23. Kontur temperatur statis untuk <i>Tinlet</i> = 300° C	66
Gambar 4.24. Kontur temperature static untuk <i>Tinlet</i> =325°C	66
Gambar 4.25. Kontur fraksi massa NO _x untuk <i>Tinlet</i> =150°C	67
Gambar 4.26. Kontur fraksi massa NO _x untuk <i>Tinlet</i> =175°C	68
Gambar 4.27. Kontur fraksi massa NO _x untuk <i>Tinlet</i> =200°C	68
Gambar 4.28. Kontur fraksi massa NO _x untuk <i>Tinlet</i> 225°C	68



Gambar 4.29. Kontur fraksi massa NOx untuk Tinlet =250°C	69
Gambar 4.30. Kontur fraksi massa NOx untuk Tinlet =275°C	69
Gambar 4.31. Kontur fraksi massa NOx untuk Tinlet =300°C	69
Gambar 4.32. Kontur fraksi massa NOx untuk Tinlet =325°C	70
Gambar 4.33. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =150°C	71
Gambar 4.34. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =175°C	71
Gambar 4.35. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =200°C	72
Gambar 4.36. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =225°C	72
Gambar 4.37. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =250°C	72
Gambar 4.38. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =275°C	73
Gambar 4.39. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =300°C	73
Gambar 4.40. Kontur fraksi massa soot untuk Tinlet =325°C	73
Gambar 4.41. Grafik Pengaruh Temperatur Udara inlet terhadap Fraksi Massa NOx	75
Gambar 4.42. Grafik Pengaruh Temperatur Udara inlet terhadap Tingkat Emisi NOx	76
Gambar 4.43. Grafik Pengaruh Temperatur Udara inlet terhadap Fraksi Massa Soot	76
Gambar 4.44. Grafik Pengaruh Temperatur Udara inlet terhadap Tingkat Emisi Soot	77
Gambar 4.45. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =2bar	79
Gambar 4.46. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =2,5 bar	79
Gambar 4.47. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =3bar	79
Gambar 4.48. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =5 bar	80
Gambar 4.49. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =7 bar	80
Gambar 4.50. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =9 bar	80
Gambar 4.51. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =11 bar	81
Gambar 4.52. Kontur temperatur statik untuk Pinlet =13 bar	81
Gambar 4.53. Kontur fraksi massa NOx untuk Pinlet =2 bar	83
Gambar 4.54. Kontur fraksi massa NOx untuk Pinlet =2,5 bar	83
Gambar 4.55. Kontur fraksi massa NOx untuk Pinlet =3 bar	83

Gambar 4.56. Kontur fraksi massa NOx untuk <i>Pinlet</i> =5 bar	84
Gambar 4.57. Kontur fraksi massa NOx untuk <i>Pinlet</i> =7 bar	84
Gambar 4.58. Kontur fraksi massa NOx untuk <i>Pinlet</i> =9 bar	84
Gambar 4.59. Kontur fraksi massa NOx untuk <i>Pinlet</i> =11 bar	85
Gambar 4.60. Kontur fraksi massa NOx untuk <i>Pinlet</i> =13 bar	85
Gambar 4.61. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =2 bar	87
Gambar 4.62. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =2,5 bar	87
Gambar 4.63. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =3 bar	87
Gambar 4.64. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =5 bar	88
Gambar 4.65. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =7 bar	88
Gambar 4.66. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =9 bar	88
Gambar 4.67. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =11 bar	89
Gambar 4.68. Kontur fraksi massa soot untuk <i>Pinlet</i> =13 bar	89
Gambar 4.69. Grafik Pengaruh Tekanan Udara <i>Inlet</i> Terhadap Fraksi Massa NOx	91
Gambar 4.70. Grafik Pengaruh Tekanan Udara <i>Inlet</i> Terhadap Tingkat Emisi NOx	92
Gambar 4.71. Grafik Pengaruh Tekanan Udara <i>Inlet</i> Terhadap Fraksi Massa Soot	92
Gambar 4.72. Grafik Pengaruh Tekanan Udara <i>Inlet</i> Terhadap Tingkat Emisi Soot	93

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel Variasi Temperatur dan Tekanan Udara <i>inlet</i>	45
Tabel 3.2. Tabel Dimensi geometri kombustor	53
Tabel 3.3. Tabel Kondisi referensi kombustor	53
Tabel 4.1. Tabel Tingkat Emisi NO _x dan Soot Untuk Variasi Temperatur Udara <i>Inlet</i>	54
Tabel 4.2. Tabel Tingkat Emisi NO _x dan Soot Untuk Variasi Tekanan Udara <i>Inlet</i>	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program CFD FLUENT untuk kondisi referensi

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CFD = *Computational Fluid Dynamic*

AFR = *Air to Fuel Ratio*

m_{air} = Massa udara

m_{fuel} = Massa bahan bakar

ΔE_{sys} = Perubahan energi sistem

ΔE_{state} = Perubahan energi karena keadaan

ΔE_{chem} = Perubahan energi karena komposisi kimia

STP = *Standard Temperature and Pressure*

h_f = Entalpi pembentukan

h_R = Entalpi reaksi

H_{prod} = Entalpi produk

H_{react} = Entalpi reaktan

$Q_{in,out}$ = kalor yang masuk dan keluar

$W_{in,out}$ = kerja yang masuk dan keluar

$\bar{h}_f^\circ$ = Entalpi pembentukan pada suhu dan tekanan standar (25 °C, 1 atm)

$\bar{h}$ = Entalpi zat pada suhu actual

$\bar{h}^\circ$ = Entalpi zat pada suhu dan tekanan standar

$N_{r,p}$ = Jumlah mol zat

ρ = densitas

Y = fraksi massa

$\mathcal{D}$ = koefisien difusi

k = konstanta kecepatan

T = temperatur

e = bilangan natural

$S_{thermal,NO}$ = sumber NO yang disebabkan oleh NO_x termal

$M_{w,NO}$ = berat molecular NO

a = orde reaksi oksigen

R = konstanta gas universal

p = tekanan

f = faktor koreksi

n = jumlah atom karbon yang terdapat dalam molekul bahan bakar hidrokarbon

$\emptyset$ = *equivalence ratio*

$S_{prompt,NO}$ = sumber NO yang disebabkan oleh NO_x prompt

$S_{reburning,NO}$ = sumber NO yang disebabkan oleh NO_x *reburning*

σ_{soot} = *Turbulen Prndtl number* untuk *transport soot*

$\mathcal{R}_{soot}$ = Laju netto *soot generation*

C_s = konstanta pembentukan *soot*

P_{fuel} = tekanan parsial bahan bakar

r = eksponen rasio ekivalen

E/R = temperatur aktivasi

A = konstanta dalam model Magnussen

Y_{OX} = fraksi massa oksidator

Y_{fuel} = fraksi massa bahan bakar

v_{soot} = stoikiometris massa *soot*

v_{fuel} = stoikiometris massa bahan bakar

b_{nuc}^* = konsentrasi nucleus radikal ternormalisasi

σ_{nuc} = *Turbulen Prndtl number* untuk *transport nucleus*

$\mathcal{R}_{nuc}^*$ = laju netto normalisasi pembangkitan nucleus

m_p = massa partikel *soot* rata-rata

N_{soot} = konsentrasi partikel *soot*

c_{nuc} = konsentrasi nukleus radikal

α = konstanta empiris

β = konstanta empiris

$\mathcal{R}_{nuc,form}^*$ = laju pembentukan nucleus

$\mathcal{R}_{nuc,comb}^*$ = laju pembakaran nucleus

c_{nuc}^* = konsentrasi nukleus ternormalisasi

α_0^* = $\alpha_0 / 10^{15}$

α_0 = konstanta laju pre-eksponensial

c_{fuel} = konsentrasi bahan bakar

$f - g$ = *linear branching – termination coefficient*

g_0 = *linear termination* pada partikel soot

S_m = massa yang ditambahkan karena fase yang berubah

p = tekanan static

$\bar{\tau}$ = tensor tegangan

$\rho \vec{g}$ = gaya gravitasi

$\vec{F}$ = gaya eksternal

μ = viskositas molecular

I = tensor satuan

k_{eff} = konduktivitas efektif

$\vec{J}_j$ = fluks difusi spesies j

S_h = energi karena reaksi kimia

T_{ref} = 298,15 K

R_i = laju netto produksi spesies i karena reaksi kimia]

S_i = laju penciptaan dikarenakan penambahan karena fase terdispersi

μ_t = viskositas turbulensi

D_t = difusivitas turbulensi