

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN TUGAS	iv
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
INTISARI.....	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.2.1. Batasan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III DASAR TEORI	21
III.1. Proses Penyerapan CO ₂ pada Kolom Distilasi <i>Regenerator</i> Metil Dietanolamin (MDEA)	21
III.2. Sistem Kendali Bertingkat	23
III.3. Instrumentasi Sistem Kontrol.....	24
III.3.1. Sensor, Transmitter, dan Transduser.....	24
III.3.2. Aktuator.....	25
III.4. Algoritme Proporsional, Integral, dan Derivatif	26
III.5. Metode Pengaturan Parameter PID.....	27
III.5.1. Metode <i>Relay Auto-Tuning</i>	27
III.5.2. Metode <i>Internal Model Control</i>	29
III.6. Respon Proses Terhadap Sinyal Step.....	32

III.7. Waktu Tunda.....	33
III.8. Aturan Mason.....	34
III.9. <i>Relative Gain Array</i>	35
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	37
IV.1. Alat dan Bahan Penelitian.....	37
IV.2. Tata Laksana Penelitian	39
IV.2.1. Studi Literatur	41
IV.2.2. Mengumpulkan Data <i>Plant</i>	41
IV.2.3. Pemodelan Proses Dinamis.....	42
IV.2.4. Menentukan Strategi Kendali	45
IV.2.5. Melakukan Perbandingan Data Simulasi	49
IV.2.6. Kesimpulan Analisis dari Sistem Kendali Bertingkat Sesuai dengan Aktual.....	50
IV.3. Tuntutan Kendali dari Operator	51
IV.4. Analisis Hasil Penelitian	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
V.1. Hasil Pemodelan Fungsi Transfer Proses.....	53
V.2. Hasil <i>Relative Gain Array</i>	58
V.3. Hasil Pemodelan <i>Function Block</i> Sistem Instrumentasi Kendali.....	58
V.3.1. Hasil Pemodelan <i>Function Block</i> Sensor, Transmitter, dan Transduser	60
V.3.2. Hasil Pemodelan <i>Function Block</i> Aktuator.....	61
V.3. Hasil Rancangan Sistem Kendali Bertingkat	64
V.4. Hasil Simulasi Sistem Kendali Bertingkat	65
V.4.1. Hasil Metode <i>Tuning</i> IMC	68
V.4.2. Hasil Metode <i>Auto-Tuning</i> PID <i>Tuner</i>	72
V.4.3. Hasil Metode <i>Relay Auto-Tuning</i>	76
V.5. Hasil Evaluasi Sistem Kendali Bertingkat	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	81
VI.1. Kesimpulan	81
VI.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rangkuman studi pustaka rancangan sistem kendali bertingkat.....	13
Tabel 2.2. Rangkuman studi pustaka rancangan sistem penangkapan CO ₂ pada kolom distilasi	20
Tabel 3.1. Spesifikasi batas konsentrasi gas CO ₂	21
Tabel 4.1. Perangkat lunak penelitian	37
Tabel 4.2. Perangkat keras penelitian	37
Tabel 4.3. Dokumen data <i>plant</i>	39
Tabel 4.4. Variabel terkontrol dan variabel termanipulasi dari dasar perancangan strategi kendali	44
Tabel 4.5. Hasil perhitungan <i>tuning</i> untuk FOPTD dan SOPTD.....	48
Tabel 4.6. Kombinasi parameter kontroler PID primer dan sekunder	49
Tabel 4.7. Tuntutan kendali dari operator	51
Tabel 5.1. Parameter profil sinyal fungsi transfer proses suhu <i>overhead</i> terhadap uji <i>step</i>	55
Tabel 5.2. Parameter profil sinyal fungsi transfer proses laju aliran <i>steam</i> terhadap uji <i>step</i>	58
Tabel 5.3. Kombinasi fungsi transfer proses antarvariabel	58
Tabel 5.4. Perhitungan RGA	59
Tabel 5.5. <i>Datasheet</i> sensor dan transmitter	60
Tabel 5.6. <i>Datasheet</i> transduser	61
Tabel 5.7. <i>Datasheet</i> aktuator	62
Tabel 5.8. Parameter rancangan <i>sizing</i>	63
Tabel 5.9. Parameter profil respon <i>step</i> dari sistem kontrol umpan balik tunggal dengan <i>relay auto-tuning</i>	67
Tabel 5.10. Parameter kontrol PID primer dan sekunder dengan <i>tuning</i> IMC	68
Tabel 5.11. Perbandingan profil sinyal respon sistem dengan <i>tuning</i> IMC	69
Tabel 5.12. Perbandingan waktu peluruhan gangguan dengan <i>tuning</i> IMC	71
Tabel 5.13. Parameter kontrol PID primer dan sekunder dengan <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i>	72
Tabel 5.14. Perbandingan profil sinyal respon sistem dengan <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i>	74

Tabel 5.15. Perbandingan waktu peluruhan gangguan dengan <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i>	76
Tabel 5.16. Perbandingan profil sinyal respon sistem dengan <i>relay auto-tuning</i> .	77
Tabel 5.17. Perbandingan waktu peluruhan gangguan dengan <i>relay auto-tuning</i>	78
Tabel 5.18. Perbandingan hasil simulasi dengan tuntutan kendali	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1. <i>Process & Flow Diagram</i> dari proses <i>plant</i> 1 PT. Badak NGL.	1
Gambar III.1. Skema proses penangkapan gas CO ₂	22
Gambar III.2. Sistem kendali bertingkat	23
Gambar III.3. <i>Function block</i> dan sinyal	24
Gambar III.4. Karakteristik katup kendali.....	25
Gambar III.5. Skema metode <i>relay auto-tuning</i>	28
Gambar III.6. Pemodelan <i>internal model control</i>	30
Gambar III.7. Grafik respon sistem kontrol terhadap masukan <i>step</i>	32
Gambar III.8. Perpindahan massa fluida pada pipa	33
Gambar III.9. Demonstrasi aturan Mason pada blok diagram <i>single-flow</i>	34
Gambar IV.1. Peta pemanfaatan perangkat lunak dan keras	38
Gambar IV.2. Alur pelaksanaan penelitian	40
Gambar IV.3. Spesifikasi variabel proses	42
Gambar IV.4. Skema uji <i>step</i>	43
Gambar IV.5. Simulasi proses dinamis Aspen HYSYS Plus V10.....	44
Gambar IV.6. <i>Operator training simulator</i>	45
Gambar IV.7. <i>Relative gain array</i> 5 × 5	46
Gambar IV.8. Penerapan pemodelan proses dengan sistem kendali.....	47
Gambar IV.9. Bentuk paralel <i>function block</i> kontroler PID	47
Gambar IV.10. Perubahan permintaan <i>set-point</i> suhu <i>overhead</i> 1C-5	51
Gambar V.1. Blok diagram sistem kendali bertingkat	53
Gambar V.2. Fungsi transfer proses dalam keadaan kalang terbuka	54
Gambar V.3. Grafik fungsi transfer proses suhu <i>overhead</i>	55
Gambar V.4. Tampilan fungsi transfer proses suhu <i>overhead</i> dengan Matlab R2014a	56
Gambar V.5. Grafik fungsi transfer proses laju aliran <i>steam</i>	57
Gambar V.6. Grafik <i>valve tuning</i> tidak dipasang.....	62
Gambar V.7. Grafik <i>valve tuning</i> terpasang.....	63
Gambar V.8. Penyederhanaan blok diagram sistem kendali bertingkat	64
Gambar V.9. Simulasi menggunakan SIMULINK pada keadaan <i>unity feedback</i>	66
Gambar V.10. Grafik respon <i>step</i> dari sistem kontrol umpan balik tunggal dengan <i>relay auto-tuning</i>	66
Gambar V.11. Grafik perbandingan respon <i>step</i> dengan <i>tuning</i> IMC	69
Gambar V.12. Grafik perbandingan peluruhan gangguan dengan <i>tuning</i> IMC....	71
Gambar V.13. Fitur <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i> pada SIMULINK	72
Gambar V.14. Grafik perbandingan respon <i>step</i> dengan <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i>	73
Gambar V.15. Grafik perbandingan peluruhan gangguan dengan <i>auto-tuning</i> PID <i>Tuner</i>	75

Gambar V.16. Grafik perbandingan respon <i>step</i> dengan <i>relay auto-tuning</i> dengan waktu tunda	77
Gambar V.17. Grafik perbandingan peluruhan gangguan dengan <i>relay auto-tuning</i> dengan waktu tunda.....	78
Gambar C.1. Laju aliran <i>steam</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk suhu <i>overhead</i> distilator.	91
Gambar C.2. Laju aliran <i>steam</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk tekanan distilator.....	92
Gambar C.3. Laju aliran <i>steam</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida distilator	93
Gambar C.4. Buka-katup laju aliran <i>steam</i> uji 1 satuan <i>step</i> (<i>manipulated variabel</i>) untuk laju aliran <i>steam</i> (<i>controlled variable</i>)	94
Gambar C.5. Laju aliran <i>steam</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida kondensor	95
Gambar C.6. Laju aliran <i>reflux</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk suhu <i>overhead</i> distilator.	96
Gambar C.7. Laju aliran <i>reflux</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk tekanan distilator.....	97
Gambar C.8. Laju aliran <i>reflux</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida distilator	98
Gambar C.9. Laju aliran <i>reflux</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk laju aliran <i>steam</i>	99
Gambar C.10. Laju aliran <i>reflux</i> uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida kondensor	100
Gambar C.11. Laju aliran <i>rich</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk suhu <i>overhead</i> distilator.....	101
Gambar C.12. Laju aliran <i>rich</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk tekanan distilator	102
Gambar C.13. Laju aliran <i>rich</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida distilator.....	103
Gambar C.14. Laju aliran <i>rich</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk laju aliran <i>steam</i>	104
Gambar C.15. Laju aliran <i>rich</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida kondensor	105
Gambar C.16. Laju aliran <i>lean</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk suhu <i>overhead</i> distilator.....	106
Gambar C.17. Laju aliran <i>lean</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk tekanan distilator	107
Gambar C.18. Laju aliran <i>lean</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida distilator.....	108
Gambar C.19. Laju aliran <i>lean</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk laju aliran <i>steam</i>	109
Gambar C.20. Laju aliran <i>lean</i> MDEA uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida kondensor	110
Gambar C.21. Laju aliran gas CO ₂ uji 1 satuan <i>step</i> untuk suhu <i>overhead</i> distilator	111

Gambar C.22. Laju aliran gas CO_2 uji 1 satuan <i>step</i> untuk tekanan distilator ...	112
Gambar C.23. Laju aliran gas CO_2 uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida distilator.....	113
Gambar C.24. Laju aliran gas CO_2 uji 1 satuan <i>step</i> untuk laju aliran <i>steam</i>	114
Gambar C.25. Laju aliran gas CO_2 uji 1 satuan <i>step</i> untuk ketinggian fluida kondensor	115

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang Romawi

Lambang	Kuantitas	Satuan
ℓ	Bukaan katup kendali	%

Lambang Yunani

Lambang	Kuantitas	Satuan
τ	Konstanta waktu	detik
θ	Waktu tunda	detik
λ	<i>Relative gain</i>	-
Λ	<i>Relative gain array</i>	-

Superskrip

Lambang	Deskripsi
1C-5	Kolom distilasi <i>regenerator</i> metil dietanolamin
1E-5	<i>Reboiler</i> metil dietanolamin
TI-191	Indikator suhu <i>overhead</i> kolom distilasi
FT-5	<i>Flow transmitter reboiler</i>
FV-5	Katup kendali laju aliran <i>steam</i>

Singkatan

PID	<i>Proportional-Integral-Derivative</i>
PI	<i>Proportional-Integral</i>
PD	<i>Proportional-Derivative</i>
MDEA	Metil Dietanolamin
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
FOPTD	<i>First Order Plus Time Delay</i>
SOPTD	<i>Second Order Plus Time Delay</i>
HHV	<i>High Heating Value</i>
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
OTS	<i>Operator Training Simulator</i>
RGA	<i>Relative Gain Array</i>