

Desain Kontroler PID-*Genetic Algorithm* untuk Sistem Pengaturan Level Air *Steam Drum* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Mohamad Yusuf, Ali Fatoni, dan Mohamad Abdul Hady
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: fatoni@ee.its.ac.id, hady@bme.its.ac.id

Abstrak—Perubahan laju aliran uap menimbulkan gangguan pada sistem pengaturan level air *steam drum*. Level air dijaga pada titik tengah ketinggian drum atau disebut *Normally Water Level* (NWL), agar uap yang dihasilkan memenuhi spesifikasi serta tidak merusak peralatan pada pembangkit. Pada umumnya, sistem pengaturan level menggunakan kontroler PID konvensional. Namun, adanya gangguan dapat menyebabkan performa sistem dengan kontroler PID konvensional tidak mampu memenuhi spesifikasi. Kontroler PID-*Genetic Algorithm* (PID-GA) diterapkan untuk mengatur level air *steam drum* agar berada pada titik NWL ketika terdapat gangguan. Sistem pengaturan menggunakan kontroler PID-GA mampu meredam gangguan berupa beban minimal, nominal, dan maksimal, yaitu dengan *perturbation peak* masing-masing sebesar 0,18 m; 0,22 m; dan 0,26 m.

Kata Kunci—*Genetic Algorithm*, PID, PLTU, *Steam Drum*

I. PENDAHULUAN

PEMBANGKIT Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis instalasi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga potensial uap untuk memutar turbin sebagai penggerak utama (*prime mover*). Uap berasal dari air yang dipanaskan pada boiler. *Steam drum* merupakan bagian dari boiler yang berfungsi untuk menampung dan memisah campuran antara air dan uap. Laju aliran uap yang keluar dari *steam drum* dapat menimbulkan gangguan berupa naik atau turunnya level air dari kondisi normal atau sering disebut sebagai titik *Normally Water Level* (NWL) [1].

Level air berlebih dapat merusak sudu-sudu turbin. Level air terlalu rendah dapat merusak pipa boiler. Level air harus diatur sesuai dengan ketentuan agar mampu menghasilkan uap sesuai spesifikasi [2].

Pada tahun 2003, T.K. Teng, J.S. Chieh dan C.S. Chen melakukan penelitian tentang penerapan *genetic algorithm* (GA) pada kontroler PID untuk sistem pengaturan level cairan agar memenuhi spesifikasi. Metode yang diusulkan mampu menentukan parameter kontroler secara otomatis serta memenuhi spesifikasi yang diinginkan [3].

Spesifikasi respon sistem dapat tidak terpenuhi ketika terjadi gangguan berupa laju aliran uap keluar dari drum yang berbeda setiap waktu. Sistem pengaturan level air *steam drum* diharapkan mampu mengatasi efek gangguan tersebut selama pembangkit beroperasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan desain kontroler PID-GA untuk mengatur level air *steam drum* agar mampu menjaga level air pada nilai *setpoint* ketika terdapat gangguan. Sistematika penulisan paper ini terdiri dari BAB 2 yang membahas tentang pemodelan komponen sistem pengaturan *steam drum*. Desain kontroler PID-GA dibahas pada BAB 3. Hasil simulasi berupa respon

an spesifikasi sistem dibahas pada BAB 4, serta kesimpulan dari penelitian ini dibahas pada BAB 5.

II. PEMODELAN KOMPONEN SISTEM PENGATURAN LEVEL *STEAM DRUM*

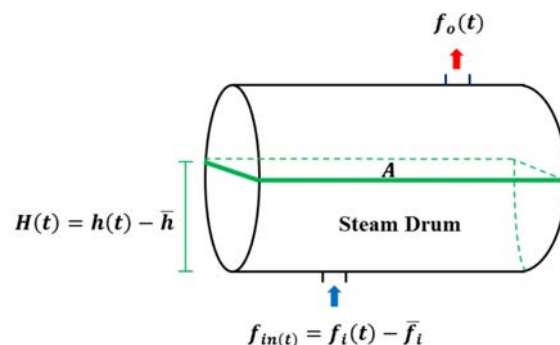
Air pada boiler bercampur dengan uap, sehingga membutuhkan *steam drum* untuk memisahkannya, tampilan fisik dan skema pemodelan peralatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Level air *steam drum* dijaga pada titik NWL, jika level air terlalu rendah, maka boiler akan berhenti beroperasi (*trip*) untuk mencegah kerusakan pipa yang terhubung dengan *steam drum* [2]. Komponen yang terlibat dalam sistem pengaturan tersebut, yaitu *steam drum*, *fluid coupling*, pompa boiler, pipa, dan level transmitter.



Gambar 1. Tampilan Fisik dari *Steam Drum* [4]

A. Pemodelan *Steam Drum*

Kesetimbangan massa pada *steam drum* [5], dapat dinyatakan seperti pada (1) atau (2). Variabel model sistem pengaturan level air *steam drum* dapat dilihat pada Tabel 1 dengan parameter seperti pada Tabel 2.



Gambar 2. Representasi Skema Pemodelan *Steam Drum*

Tabel 1.
Variabel pada Model Matematis *Steam Drum*

Simbol	Keterangan	Satuan
$\frac{dM}{dt}$	Laju aliran massa akumulasi	kg/s
$f_i(t)$	Laju aliran masuk ke sistem	m ³ /s
$f_o(t)$	Laju aliran keluar dari sistem	m ³ /s
\bar{f}_i	Laju aliran air konstan ke <i>steam drum</i>	m ³ /s
\bar{f}_o	Laju aliran uap keluar dari <i>steam drum</i>	m ³ /s
\bar{h}	Level air konstan didalam <i>steam drum</i>	m
$h(t)$	Level air <i>steam drum</i> saat <i>steady state</i>	m
$H(t)$	Level air didalam <i>steam drum</i>	m
$f_{in}(t)$	Laju masukan air kedalam <i>steam drum</i>	m ³ /s

Tabel 2.
Parameter pada Model Matematis *Steam Drum*

Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
ρ	Massa jenis cairan	833,69	kg/m ³
A	Luas penampang melintang <i>steam drum</i>	22,79	m ²
V	Volume <i>steam drum</i>	20,46	m ³

$$\text{Laju akumulasi massa} = \text{Laju massa masuk} - \text{Laju massa keluar} \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = \rho[f_i(t) - f_o(t)] \quad (2)$$

Asumsi bahwa laju aliran air dari pompa boiler adalah konstan, maka diperoleh Persamaan (3).

$$A \frac{dH(t)}{dt} = f_i(t) - \bar{f}_o \quad (3)$$

Pada saat *steady state*, laju aliran masuk dan keluar *steam drum* adalah konstan yang menyebabkan level didalamnya konstan. Variabel deviasi level air dan laju aliran *feedwater* dapat dinyatakan seperti pada Persamaan (4) dan (5).

$$H(t) = h(t) - \bar{h} \quad (4)$$

$$f_{in}(t) = f_i(t) - \bar{f}_i \quad (5)$$

Substitusi Persamaan (4) dan (5) ke Persamaan (3), sehingga persamaan level air *steam drum* dapat dituliskan menjadi Persamaan (6)

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{f_{in}(t)}{A} \quad (6)$$

Fungsi alih sistem tersebut dapat diperoleh dengan melakukan transformasi Laplace pada Persamaan (6), sehingga diperoleh fungsi alih pada Persamaan (7).

$$G_d(s) = \frac{H(s)}{F_{in}(s)} = \frac{1}{As} = \frac{1}{22,79s} \quad (7)$$

B. Pemodelan Fluid Coupling

Fluid coupling adalah peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan gerak rotasi atau torsi [6]. Pada umumnya, pembangkit menggunakan *fluid coupling* untuk mengatur kecepatan pompa boiler. Pemodelan *fluid coupling* bertujuan untuk memperoleh nilai penguatan dari peralatan tersebut yang disimbolkan dengan K_v . Nilai penguatan *fluid coupling* dapat diperoleh melalui Persamaan (8).

$$K_v = \frac{\text{Rentang daya mekanik (kW)}}{\text{Rentang tegangan masukan (V)}} \quad (8)$$

$$K_v = \frac{7100-0}{10-0} = 710 \text{ kW/V} \quad (9)$$

C. Pemodelan Pompa Boiler

Kecepatan aliran pompa boiler bergantung pada daya mekanik motor yang diterima *fluid coupling* yang menghubungkan antara poros motor dengan poros pompa boiler. Pemodelan pompa boiler diperlukan untuk mencari besarnya nilai penguatan peralatan tersebut. Nilai penguatan pompa boiler dihitung menggunakan Persamaan (10) [7].

$$K_p = \frac{\text{Rentang laju aliran feedwater (m}^3/\text{s)}}{\text{Rentang daya mekanik (kW)}} \quad (10)$$

$$K_p = \frac{0,2186 - 0}{7100 - 0} = 3,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ kW/s} \quad (11)$$

D. Pemodelan Pipa

Aliran air pada pipa boiler mengalami waktu tunda akibat panjang pipa yang dilewati. Pemodelan pipa boiler bertujuan untuk memperoleh fungsi alih komponen tersebut yang dihitung menggunakan Persamaan (12) [1].

$$G_p(s) = e^{-Ls} \quad (12)$$

Waktu tunda dapat dinyatakan dalam fungsi alih melalui pendekatan padè orde pertama seperti Persamaan (13).

$$G_p(s) = e^{-Ls} \cong \frac{1 - \frac{L}{2}s}{1 + \frac{L}{2}s} \quad (13)$$

$$G_p(s) = \frac{1 - 15s}{1 + 15s} \quad (14)$$

E. Pemodelan Level Transmitter

Level transmitter merupakan suatu transduser yang berfungsi untuk mengukur besaran melalui perangkat ukur dan mengubahnya menjadi sinyal standar transmisi [8]. Pemodelan *level transmitter* bertujuan untuk memperoleh nilai penguatan peralatan tersebut yang disimbolkan dengan K_L . Penguatan *level transmitter* dapat dihitung melalui Persamaan (15).

$$K_L = \frac{\text{Rentang tegangan keluaran (V)}}{\text{Rentang level air (m)}} \quad (15)$$

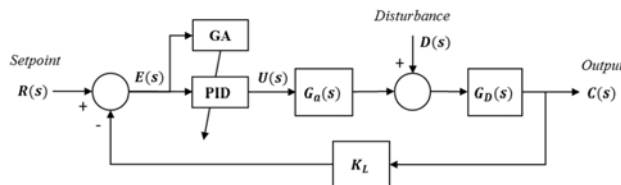
$$K_L = \frac{10 - 0}{1,27 - 0} = 7,874 \text{ V/m} \quad (16)$$

III. DESAIN KONTROLER PID-GENETIC ALGORITHM

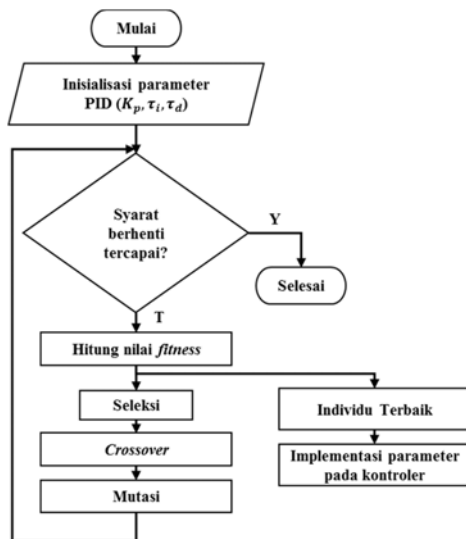
Kontroler PID-*Genetic Algorithm* (PID-GA) merupakan kontroler PID dengan mekanisme *tuning* parameter menggunakan GA dengan diagram blok seperti pada Gambar 3. Algoritma tersebut digunakan sebagai metode optimisasi untuk mencari nilai parameter optimal berdasarkan fungsi objektif yang ditentukan. Pada kasus ini, fungsi objektifnya adalah meminimalkan kesalahan antara nilai *setpoint* dengan keluaran aktual. Nilai parameter kontroler pada kondisi awal ditentukan secara acak, lalu digunakan sebagai parameter awal kontroler PID [9].

Sistem dioperasikan menggunakan parameter awal dan dilakukan evaluasi terhadap fungsi *fitness* untuk setiap pasangan parameter. Pasangan dengan nilai *fitness* yang

tinggi akan terpilih pada proses reproduksi yang meliputi seleksi, *crossover*, dan mutasi. Keseluruhan mekanisme kontroler PID-GA dapat diilustrasikan oleh diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pengaturan Level Steam Drum dengan Kontroler PID-GA



Gambar 4. Diagram Alir Online Tuning Kontroler PID-GA

Spesifikasi respon yang diinginkan

A. Parameter Genetic Algorithm (GA)

Parameter GA yang digunakan pada kontroler PID-GA dalam penelitian ini seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter GA yang digunakan

Parameter	Tipe/Nilai
Tipe GA	Simple GA
Tipe Seleksi	Tournament
Tipe Crossover	Single point
Tipe Mutasi	Flip
Generasi maksimum	40 generasi
Ukuran populasi	30 individu
Ukuran kromosom	30 bit
Probabilitas crossover	0,6
Probabilitas mutasi	0,02

B. Representasi Individu

Parameter kontroler PID pada penelitian ini direpresentasikan dalam bentuk bilangan biner. Ukuran individu yang digunakan adalah sebesar 30 bit, dengan setiap parameter memiliki ukuran 10 bit. Satu buah calon solusi optimal terdiri dari tiga pasang nilai yaitu K_p , τ_i , dan τ_d , sehingga satu buah individu pada GA dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Representasi Individu GA

C. Fungsi Objektif dan Fungsi Fitness

Fungsi objektif yang digunakan pada penelitian ini merupakan kombinasi dari tiga jenis indeks performansi kesalahan, yaitu ISE, IAE, dan ITAE. Tingkat peranan indeks performansi tersebut diwakili oleh faktor pembobot w . Keterlibatan efek indeks performansi ISE, IAE, dan ITAE dinotasikan sebagai $w_1 = 0,5$, $w_2 = 0,2$, dan $w_3 = 0,3$.

Fungsi *fitness*, $f = g(J)$, pada umumnya digunakan untuk merubah nilai fungsi objektif untuk mengukur nilai ketahanan relatif individu. Tujuan dari fungsi objektif ini adalah meminimalkan kesalahan sistem, sehingga diperoleh nilai *fitness* individu semakin besar ketika solusi semakin sesuai dengan persoalan. Pada penelitian ini, fungsi objektif dan fungsi *fitness* yang digunakan secara berurutan dinyatakan pada Persamaan (17) dan (18) [9].

$$J = w_1(ISE) + w_2(IAE) + w_3(ITAE) \tag{17}$$

$$f = \frac{1}{1 + J} \tag{18}$$

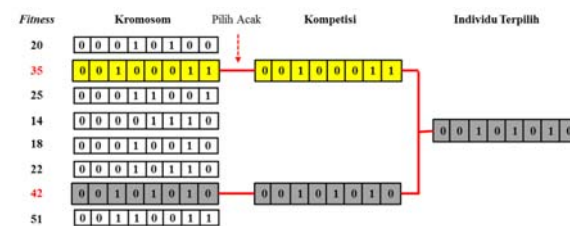
Representasi parameter kontroler yang digunakan yaitu bilangan biner, sehingga membutuhkan proses untuk mengubah representasi biner menjadi riil agar dapat diimplementasikan pada sistem. Persamaan yang digunakan untuk merubah representasi biner menjadi riil dapat dilihat pada Persamaan (19) [10].

$$x_i = x_{min} + \frac{x_{max} - x_{min}}{2^L - 1} y_i \quad (i = 1,2,3) \tag{19}$$

D. Operator Seleksi

Seleksi berfungsi untuk menentukan individu yang akan berperan untuk membentuk populasi baru. Tujuan dari seleksi adalah memastikan bahwa individu yang terpilih mengikuti proses reproduksi memiliki nilai *fitness* yang tinggi. Tipe operator seleksi yang populer, yaitu *roulette*, *tournament* yang digunakan pada penelitian ini, dan *ranking*.

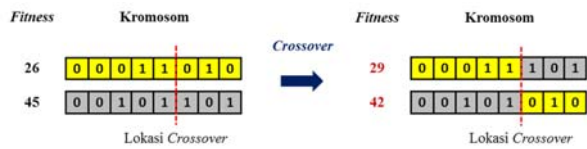
Prinsip *tournament* adalah memilih individu secara acak dari populasi, kemudian kompetisi dilakukan berupa perbandingan nilai *fitness* misalnya seperti ilustrasi pada Gambar 6. Individu dengan nilai *fitness* lebih tinggi akan terpilih untuk mengikuti proses reproduksi.



Gambar 6. Mekanisme Seleksi Tournament

E. Operator Crossover

Prinsip dari *crossover* adalah menukar sebagian informasi dari individu dengan individu pasangannya. Operator *crossover* memiliki beberapa tipe diantaranya adalah *single-point* yang digunakan pada penelitian ini, *multipoint*, *uniform*, *intermediate recombination*, dan *line recombination*. *Single crossover* merupakan mekanisme *crossover* sederhana dengan melakukan pemilihan individu secara acak dari populasi hasil seleksi untuk menghasilkan individu baru dengan mekanisme seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme Single-point Crossover

F. Operator Mutasi

Mutasi berperan untuk menjaga keberagaman dalam populasi dengan cara mengubah informasi pada suatu individu. Tipe operator mutasi pada GA ada beberapa macam, seperti *insert mutation*, *uniform mutation*, dan *flip mutation* [11]. Penelitian ini menggunakan tipe *flip* dengan mekanisme mutasi seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Mekanisme Flip Mutation

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Kriteria Beban Pengujian

Beban yang menjadi gangguan pada sistem pengaturan level air *steam drum* berupa laju aliran uap yang keluar dari drum. Beban yang digunakan dalam pengujian dan analisis dituliskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Beban dan Laju Aliran Uap

Beban	Daya Pembangkit (MW)	Laju aliran uap keluar (m ³ /s)
Minimal	297,48	2,21
Nominal	349,42	2,63
Maksimal	399,16	3,10

B. Pengujian Sistem secara Closed Loop

Penambahan umpan balik, dapat meningkatkan kestabilan sistem. Perbedaan nilai pada level aktual dan *setpoint* menghasilkan sinyal kesalahan yang akan terus diperbaiki hingga beda kedua nilai mendekati nol. Berdasarkan Persamaan (7), (9), (11), (14), dan (16) diperoleh fungsi alih *closed loop* pada sistem pengaturan level air seperti pada Persamaan (20).

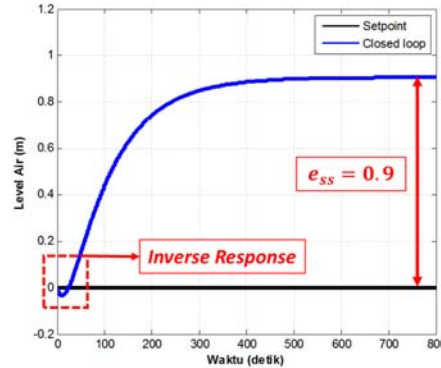
$$G_d(s) = \frac{-0,33s + 0,022}{341,85s^2 + 20,192s + 0,173} \quad (20)$$

Fungsi alih *closed loop* pada Persamaan (20), memiliki masukan berupa besaran tegangan. Masukan pada sistem *closed loop* tersebut dapat diubah menjadi tegangan dengan memberikan faktor pengali berupa gain sebesar 7,874 V/m, sehingga diperoleh fungsi alih dengan masukan berupa level seperti Persamaan (21).

$$G_d(s) = \frac{-2,598s + 0,1732}{341,85s^2 + 20,192s + 0,173} \quad (21)$$

Pengujian sistem *closed loop* dilakukan dengan menambahkan gangguan *D(s)* berupa beban minimal yaitu laju aliran uap yang keluar dari *steam drum*. Laju aliran uap direpresentasikan oleh sinyal *unit step* dengan nilai awal 0 dan nilai akhir 2.21. Respon sistem dengan gangguan pada

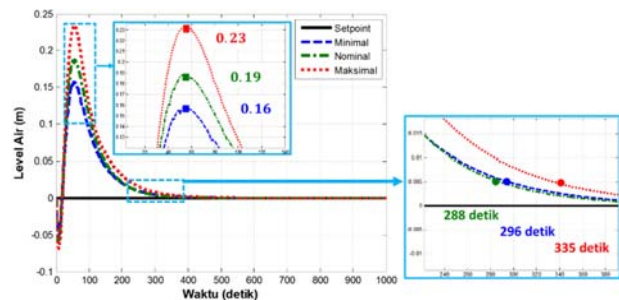
saat beban minimal dapat dilihat pada Gambar 9. Respon level air *steam drum* awalnya menuju arah berlawanan dari kondisi tunaknya, sehingga disebut sistem dengan *inverse response*. Sistem pengaturan level air *steam drum* memiliki dua buah *pole* dan *zero* yang terletak pada sumbu riil. Masing-masing *pole* terletak disebelah kiri sumbu imajiner, yaitu -0,0487 dan -0,0104, sedangkan *zero* disebelah kanan sumbu imajiner, yaitu pada 0,0667.



Gambar 9. Respon Closed Loop Level Air Steam Drum dengan $K_p = 1$, $R(s) = 0$, dan $D(s) = 2,12$

C. Pengujian Kontroler PID-GA dengan Beban Tetap

Sistem pengaturan level air *steam drum* memiliki gangguan berupa efek beban yang diberikan oleh laju aliran uap keluar dari drum. Gangguan tersebut dapat berubah secara tiba-tiba ketika *dispatcher* atau Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) melakukan perubahan permintaan daya pada pembangkit. Perubahan beban tetap, direpresentasikan oleh sinyal *unit step*. Respon level air *steam drum* menggunakan kontroler PID-GA, memiliki *perturbation peak* lebih kecil daripada kontroler PID konvensional dapat dilihat pada Gambar 10. Spesifikasi respon sistem dengan kontroler tersebut seperti pada Tabel 5.



Gambar 10. Respon Level Air Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Beban Tetap

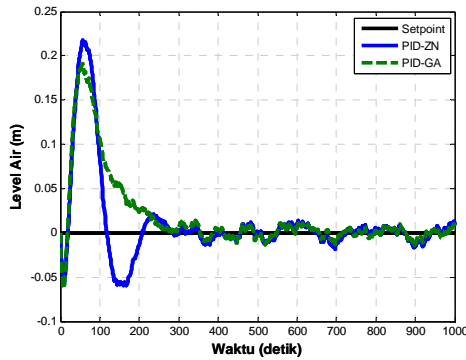
Tabel 5. Indeks Performansi dan Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Beban Tetap

Beban	ISE	IAE	ITAE	ρ (m)	t_{rs} (detik)
Minimal	96,9	129,2	$1,3 \times 10^4$	0,16	296
Nominal	136,7	149,7	$1,4 \times 10^4$	0,19	288
Maksimal	200,4	186,2	$1,9 \times 10^4$	0,23	335

D. Pengujian Kontroler PID-GA dengan Beban Acak

Pengujian sistem ini bertujuan untuk menganalisis performa sistem apabila diberi gangguan berupa beban acak. Penambahan mekanisme *tuning* parameter dengan fungsi objektif meminimalkan indeks performansi memiliki performa sistem lebih baik dibandingkan dengan kontroler PID konvensional. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengujian sistem pengaturan level air *steam drum*

menggunakan kontroler PID-GA dengan hasil seperti pada Gambar 11 dan Tabel 6.



Gambar 11. Respon Level Menggunakan Kontroler PID dan PID-GA dengan Beban Acak

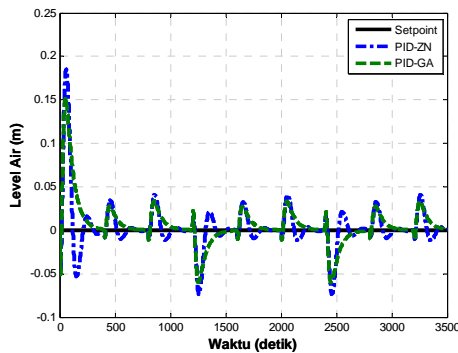
Tabel 6.

Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dan PID dengan Beban Berubah

Kontroler	ISE	IAE	ITAE	$\rho (m)$	$t_{rs} (detik)$
PID-GA	147.2	373	$4,9 \times 10^5$	0,16	283
PID	169.7	378.4	$4,9 \times 10^5$	0,185	340

E. Pengujian Kontroler PID-GA dengan Perubahan Kriteria Beban

Pengujian dengan memberikan perubahan kriteria beban dilakukan untuk menganalisis performa sistem menggunakan kontroler PID-GA, apabila menerima gangguan berupa beban yang berubah dari minimal ke nominal, nominal ke maksimal, atau maksimal ke nominal. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh respon seperti pada Gambar 12 dengan spesifikasi respon pada Tabel 7.



Gambar 12. Respon Level Menggunakan Kontroler PID dan PID-GA dengan Perubahan Kriteria Beban

Tabel 7.

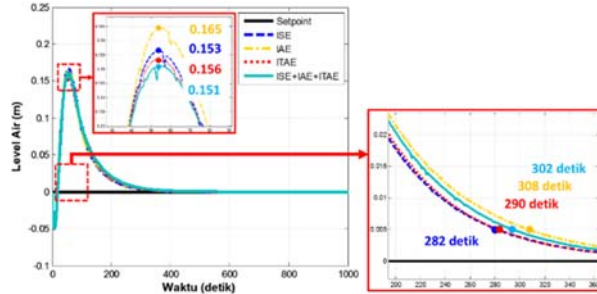
Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dan PID dengan Perubahan Kriteria Beban

Kontroler	ISE	IAE	ITAE	$\rho (m)$	$t_{rs} (detik)$
PID-GA	137,5	174,4	$3,1 \times 10^4$	0.19	250
PID-ZN	154,1	176,8	$3,1 \times 10^4$	0.22	296

F. Pengujian dengan Variasi Fungsi Objektif

Pengujian dengan variasi fungsi objektif pada kontroler PID-GA dilakukan untuk menganalisis performa sistem terhadap perubahan fungsi objektif. Fungsi objektif yang digunakan pada penelitian ini adalah meminimalkan indeks performansi kesalahan. Hasil respon level air pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 8. Hasil simulasi pada penelitian ini, menunjukkan bahwa fungsi objektif dengan kombinasi indeks performansi kesalahan sesuai faktor pembobot yang ditentukan memiliki *perturbation peak*

sebesar 0,151; sehingga lebih mampu meredam gangguan dari fungsi objektif lain yang telah diuji.



Gambar 13. Respon Level Air Steam Drum Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Fungsi Objektif

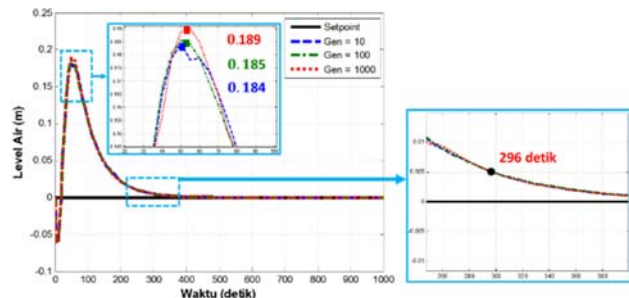
Tabel 8.

Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Fungsi Objektif

F. Objektif	ISE	IAE	ITAE	$\rho (m)$	$t_{rs} (detik)$
ISE	99,2	122,9	$1,2 \times 10^4$	0,153	282
IAE	99,4	130,7	$1,3 \times 10^4$	0,165	308
ITAE	92,9	124,5	$1,2 \times 10^4$	0,156	290
Kombinasi	93,2	127,6	$1,2 \times 10^4$	0,151	302

G. Pengujian dengan Variasi Jumlah Generasi

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis performa sistem menggunakan kontroler PID-GA terhadap variasi jumlah generasi. Berdasarkan simulasi, jumlah generasi tidak memberikan pengaruh signifikan pada spesifikasi respon sistem dapat dilihat dari respon sistem pada Gambar 14 dan spesifikasinya pada Tabel 9. Namun, jumlah generasi tersebut berpengaruh pada lamanya waktu komputasi. Waktu simulasi untuk 10 generasi adalah 71 detik, 100 generasi adalah 600 detik, dan 1000 generasi adalah 5839 detik.



Gambar 14. Respon Level Air Steam Drum Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Jumlah Generasi

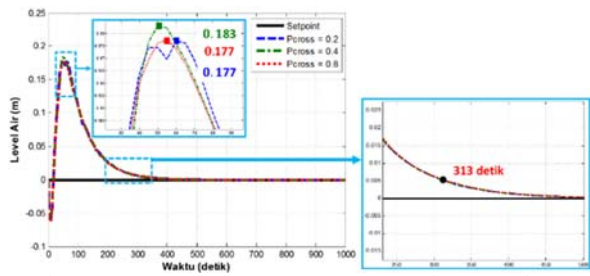
Tabel 9.

Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Jumlah Generasi

Parameter GA	ISE	IAE	ITAE	$\rho (m)$	$t_{rs} (detik)$
Gen = 10	26,3	29,7	2865	0,184	296
Gen = 100	26,2	29,6	2859	0,185	296
Gen = 1000	26,7	29,8	2858	0,189	296

H. Pengujian dengan Variasi Probabilitas Crossover

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis respon sistem ketika probabilitas *crossover* yang digunakan pada kontroler PID-GA memiliki nilai berbeda-beda. Berdasarkan simulasi, spesifikasi respon level air *steam drum* tidak berubah secara signifikan, ketika probabilitas *crossover* pada kontroler PID-GA divariasikan. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 15 dengan spesifikasinya pada Tabel 10, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda pada *perturbation peak* dan *recovery time*-nya.



Gambar 15. Respon Level *Steam Drum* Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Probabilitas *Crossover*

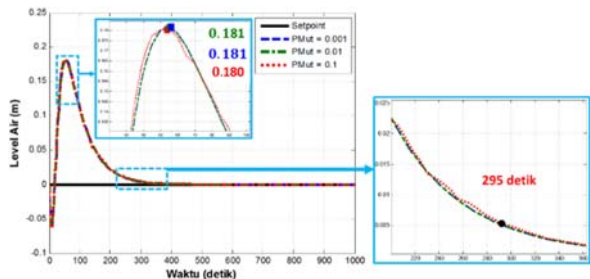
Tabel 10.

Spesifikasi Respon Sistem Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Probabilitas *Crossover*

Parameter GA	ISE	IAE	ITAE	ρ (m)	t_{rs} (detik)
PCross = 0.2	26,4	30,59	3079	0,179	313
PCross = 0.4	26,3	30,56	3082	0,181	313
PCross = 0.8	26,6	20,66	3081	0,183	313

I. Pengujian dengan Variasi Probabilitas Mutasi

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap variasi probabilitas mutasi yang digunakan pada kontroler PID-GA. Berdasarkan simulasi pada penelitian ini, diperoleh bahwa probabilitas berpengaruh pada *update* parameter kontroler, dan tidak berpengaruh signifikan pada respon sistem. Ketika probabilitas mutasi semakin besar, maka semakin sering pula parameter kontroler berubah yang dinyatakan oleh standar deviasi pada Gambar 17. Hal ini sesuai dengan mekanisme yang ada pada operator tersebut, yaitu merubah informasi pada calon solusi optimalnya. Respon sistem dan spesifikasinya untuk nilai probabilitas mutasi berbeda dapat dilihat pada Gambar 16 dan Tabel 11.

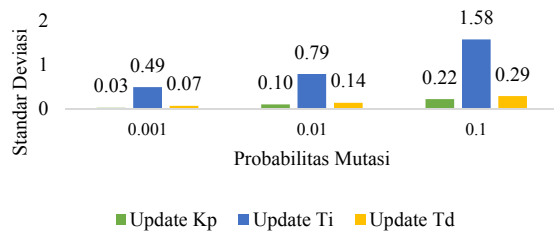


Gambar 16. Respon Level *Steam Drum* Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Probabilitas Mutasi

Tabel 11.

Spesifikasi Respon Menggunakan Kontroler PID-GA dengan Variasi Probabilitas Mutasi

Parameter GA	ISE	IAE	ITAE	ρ (m)	t_{rs} (detik)
PMut = 0.001	25,79	28,68	2662	0,188	285,9
PMut = 0.01	25,83	28,76	2681	0,188	286,3
PMut = 0.1	27,29	29,56	2770	0,187	290,2



Gambar 17. *Update* Parameter Kontroler PID-GA dengan Variasi Probabilitas Mutasi

V. KESIMPULAN

Kontroler PID-GA mampu memenuhi spesifikasi level air *steam drum* yang diinginkan, yaitu memiliki *perturbation peak* kurang dari 0,25 m dan *recovery time* kurang dari 350 detik, ketika terdapat laju aliran uap keluar dari drum. Kontroler PID-GA mampu meredam gangguan pada sistem. Ketika sistem diberi beban minimal, nominal, dan maksimal, maka diperoleh *perturbation peak* masing-masing sebesar 0,16 m; 0,19 m; dan 0,23 m. *Recovery time* dari masing-masing beban adalah sebesar 296 detik, 288 detik, dan 335 detik. Semakin besar beban pada sistem, maka *perturbation peak* akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Ogunnaike and W. H. Ray, "Process Dynamics, Modeling, and Control", New York: Oxford University Press, 1994.
- [2] G. Gilman, "Boiler Control Systems Engineering", United States of America: International Society of Automation, 2010.
- [3] T. Teng, J. Shieh and C. Chen, "Genetic Algorithms Applied in Online Autotuning PID Parameters of a Liquid-level Control System," *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 25, no. 5, pp. 433-450, 2003.
- [4] --, "Boilers", [Online]. Available: <http://pudeb.com/heavy-lifting-using-hydraulic-jacks-installing-a-boiler-drum/>. [19 December 2016].
- [5] A. A. A. Emhemed, R. B. Mamat and D. Hanafi, "Comparison of Boiler Plant Model and Real Plant Responses Based on Proportional Integral Controller," in *IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT)*, Kuala Lumpur, 2012.
- [6] N. Jain and A. Tiwari, "Comparative Study of Fluid Coupling for Oil and Water as Working Fluid," *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 9, no. 6, pp. 56-65, 2013.
- [7] R. M. Felder, R. W. Rousseau and L. G. Bullard, "Elementary Principles of Chemical Process", 4 ed., America: John Willey & Sons, 2015, p. 93.
- [8] B. G. Liptak, "Process Control and Optimization", US: CRC Press, 2006.
- [9] A. Jayachitra and R. Vinodha, "Genetic Algorithm Based PID Controller Tuning Approach for Continuous Stirred Tank Reactor," *Advances in Artificial Intelligence*, pp. 1-8, 2014.
- [10] Y. Chen and Y.-J. Y. W.-x. Ma, "Application of Improved Genetic Algorithm in PID Controller Parameters Optimization," *Telkommika*, pp. 1524-1530, 2013.
- [11] T. Point, "Genetic Algorithms", Madhapur, 2016.