

# Pengembangan Modul Pembelajaran Proses Kontrol Dengan Menggunakan Metode Genetik Algoritma Berbasis Open Source

Nanta Fakhri<sup>1</sup>, Wahjoe Tjatur Sesulihatien<sup>2</sup>, Taufiqurrahman<sup>2</sup>, Rusminto Tjatur Widodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Penulis, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektronika PENS - ITS

<sup>2</sup>Dosen Pembimbing, Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektronika PENS - ITS

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Electronics Engineering Polytechnic Institute of Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, INDONESIA

Tel: +62 (31) 594 7280; Fax: +62 (31) 594 6114

email : [nanta@student.eepis-its.edu](mailto:nanta@student.eepis-its.edu)

[wajoe@eepis-its.edu](mailto:wajoe@eepis-its.edu)

[taufiqurrahman@eepis-its.edu](mailto:taufiqurrahman@eepis-its.edu)

[rusminto@eepis-its.edu](mailto:rusminto@eepis-its.edu)

**Abstrak** — Kontrol otomatis merupakan bidang teknik yang perkembangannya begitu pesat terutama dengan komputer sebagai sarana pengontrolnya [11]. Modul Kontrol Proses DL 2314 menjadi referensi dalam pengembangan keilmuan teknik kontrol secara praktis. Modul ini menggunakan PID sebagai metode kontrolnya. Modul ini menjadi miniatur dalam proses kontrol, seperti boiler. Modul DL 2314 menggunakan PID sebagai kontrolernya. Dengan dikembangkannya modul ini menggunakan metode kontrol yang lebih variatif akan bisa memberikan nilai pembandingan untuk pengembangan metode kontrol berikutnya. PID merupakan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan proses industri. Berdasarkan survey, 97% industri yang bergerak dalam bidang proses menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya[7]. Namun terdapat satu kekurangan dalam kehandalan PID tersebut yakni metode tuning. Hal ini pulalah yang muncul dalam modul DL 2314. Pencarian parameter PID dengan *trial and error* . Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan metode autotuning dengan optimasi nilai. Dalam kasus ini metode alternatif yang digunakan adalah Algoritma Genetika. Algoritma Genetika diimplementasikan untuk mendapatkan kombinasi parameter PID untuk pengaturan ketinggian level air, kecepatan aliran, dan besar temperatur pada plant.

**Kata Kunci** : Algoritma genetika, autotuning PID

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan PID sebagai kontroler memang telah banyak diaplikasikan diberbagai permasalahan sistem kontrol. Namun ada kekurangan dari penggunaan PID ini yaitu pada metode tuning. Metode tuning ini merupakan cara untuk mencari konstanta parameter PID yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  yang prosedur pencariannya masih secara manual yaitu coba-coba.

Algoritma genetik sebagai cabang dari algoritma evolusi merupakan metode adaptif yang digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. Dalam rancangan sistem aplikasi yang digunakan adalah Open Source. Hal ini dimaksudkan untuk proses pengembangan rancangan program jangka panjang.

Proyek akhir ini memiliki kelebihan yaitu mengendalikan 3(tiga) objek dalam satu pengendali.

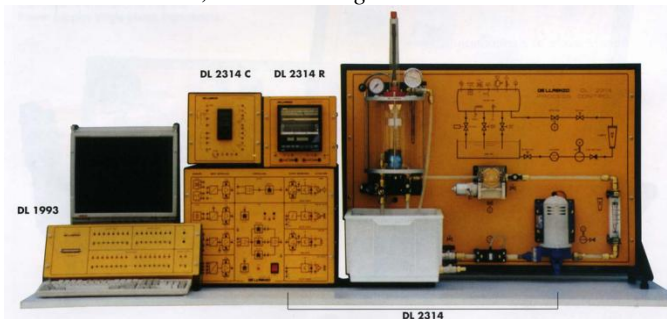
Proyek akhir ini menggunakan komunikasi serial dalam proses interface antara PC dan Modul Pengaturan Proses DL2314. Metode genetik algoritma sangat sesuai untuk pencarian nilai optimasi. Pendekatan yang dilakukan adalah secara heuristic[6]. Heuristic merupakan suatu metoda pendekatan yang untuk memecahkan suatu masalah dan tidak peduli apakah solusinya bisa dibuktikan benar atau tidak[6]. Tetapi secara umum bisa menghasilkan solusi yang baik atau menyelesaikan masalah yang lebih sederhana yang mengandung atau berhubungan dengan masalah yang lebih kompleks[6]. Hal ini akan sangat tepat ketika melihat masalah pada penaturan parameter PID. Pencarian parameter yang tepat akan memberikan hasil yang optimal dalam kontrol sistem PID

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. DL 2314 Process Control

Modul De Lorenzo DL 2314 memiliki 4 sensor. Sensor-sensor yang digunakan pada modul De Lorenzo DL 2314 adalah sebagai berikut:

- a. *Temperature Sensor*
  - *Platinum Thermo-resistance Pt 100*
  - *Bi-metallic direct reading thermometer*
- b. *Level Sensor*
  - *Linear variable – differential transformer (LVDT)*
  - *On-reed ON/OFF sensor*
- c. *Flow Sensor*
  - *Flow meter 8000 pulses/liter*
  - *Flow meter, direct reading*
- d. *Pressure sensors*
  - *Strain gauge*
  - *Manometer, direct reading*



**Gambar 2.1.** De Lorenzo DL 2314

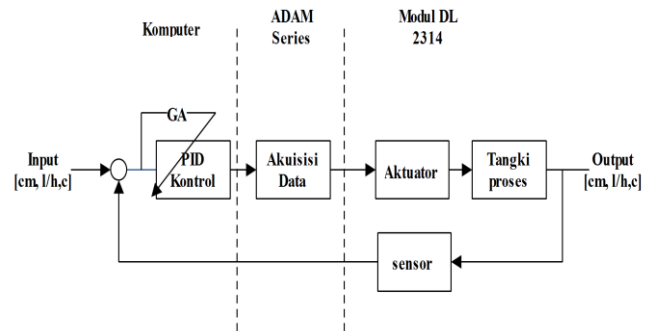
Selain sensor – sensor di atas, modul De Lorenzo ini memiliki:

- a. *Pressurized vessel capacity = 5 liters approx.*
- b. *Water tank capacity = 20 liters approx.*
- c. *Recirculation pump = 6 liters/minute, 12 V, 1.5 A.*
- d. *Motor driven vale = 4 manual valve*
- e. *Water heating resistance = 48V, 200W*
- f. *Safety valve set at 2.4 bar Safety thermostat Piping = brass*

Modul De Lorenzo telah dilengkapi oleh kontroler PID yang bisa digunakan sewaktu – waktu. Pada modul ini, kontrol PID digunakan untuk On – Off close loop kontrol level, close loop kontrol Flow, close loop kontrol On – Off temperatur

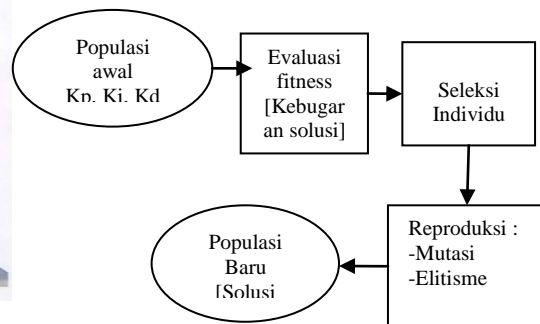
### B. Sistem Kontrol PID

Umumnya mekanisme pengendalian dapat dilihat pada gambar 2.1 adalah adanya obyek yang dikendalikan dan adanya metode atau model kendali yang digunakan, dengan tujuan agar keluaran proses sesuai dengan referensi yang telah ditentukan. Baik tidaknya sebuah sistem kendali ditentukan oleh stabilitas sistem itu sendiri, yaitu yang dapat memberikan reaksi dengan cepat terhadap variabel masukan untuk mencapai keseimbangan kembali.



**Gambar 2.2.** Proses sistem secara umum

### C. Algoritma Genetika



**Gambar 2.3.** Skema Algoritma Genetika

Proses kerja GA diawali dengan inisialisasi satu rangkaian nilai random yang disebut populasi. Setiap individu di dalam populasi disebut kromosom. Sebuah kromosom dapat direpresentasikan dalam bentuk simbol-simbol string biner, floating point, integer, abjad. Kromosom-kromosom ini berkembang melalui beberapa iterasi yang disebut generasi. Setiap generasi, kromosom-kromosom ini dievaluasi dengan menggunakan ukuran fitness melalui fungsi tujuan (objective function) dan atasan-batasan fungsi yang merupakan permasalahan sehingga individu dengan solusi yang terbaik yang terpilih. Untuk menghasilkan generasi selanjutnya ( $t+1$ ) sebagai kromosom baru yang disebut offspring, dibentuk melalui penggabungan dua kromosom generasi saat ini ( $t$ ) dengan menggunakan operator crossover dan memodifikasikan sebuah kromosom menggunakan operator mutasi. Satu generasi baru dibentuk melalui proses seleksi sesuai dengan fitness value kromosom orang tua dan kromosom yang fit yang akan diturunkan. Kromosom dengan fitness terbesar memiliki probabilitas tertinggi untuk dipilih.

Untuk menginisialisasi GA ini, populasi awal dibentuk dari 20 individu yang diambil secara acak dengan memperhatikan batas atas dan batas bawah kromosom dimana tiap individu terdiri atas 3 kromosom bernilai real yang merepresentasikan nilai parameter

kontroler PID. Langkah awal dalam proses GA adalah mengevaluasi tiap kromosom dan memberi nilai fitness. Tiap individu dievaluasi untuk mendapatkan variabel untuk parameter-parameter kontroler PID. Setelah variabel parameter PID didapatkan, variabel-variabel tersebut kemudian dimasukkan dalam model Simulink yang mencerminkan model sebenarnya dari sistem yang digunakan. Setelah simulasi selesai, variabel tersebut dikembalikan lagi kedalam GA agar respons simulasi dievaluasi dan individu tersebut diberi nilai fitness. Individu yang terpilih untuk generasi berikutnya ditentukan secara probabilistik berdasarkan nilai fitness individu tersebut. Dari individu yang terpilih diatas, generasi berikutnya diperoleh dari proses mutasi dan single-point

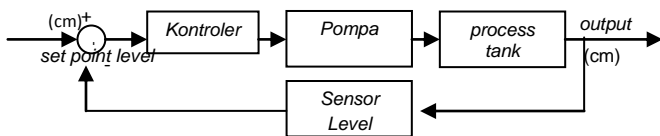
### III. PERANCANGAN SISTEM

#### A. Observasi Plant

##### Level Air

Air yang berada didalam dalam tangki proses akan naik ketika ada air yang masuk. Ketinggian air ini diukur dengan menggunakan LVDT. LVDT yang bekerja dengan memanfaatkan pergerakan inti yang ada pada kumparan. Hal ini menyebabkan adanya daerah kerja dari sensor.

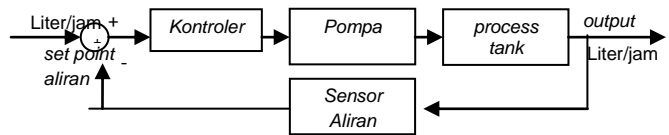
Pengendalian pada level dilakukan dengan mengatur suplai tegangan yang diberikan pada pompa. Katup solenoid valve akan dibiarkan terbuka untuk membuang air keluar. Pengendalian level dilakukan dalam kondisi solenoid valve terbuka, yaitu air akan senantiasa masuk. Pengendalian level dalam hal ini yakni mempertahankan nilai level pada kondisi set point yang diinginkan.



Gambar 3.1. Skema Pengendalian Level Air

##### Aliran Air

Set point akan diberikan dalam bentuk nilai aliran yakni liter per jam. Besaran ini akan dikonversi menjadi tegangan. Nilai tegangan ini akan menjadi masukan menuju aktuator yakni motor valve. Motor valve akan memberikan reaksi untuk merapatkan atau melebarkan celah aliran air sehingga aliran air akan dapat di atur besar kecilnya. Besar nilai aliran ini akan dideteksi oleh IR Opflow sebagai sensor aliran. Keluaran dari sensor yang berupa tegangan akan dikembalikan untuk mendapatkan error.



Gambar 3.2. Skema Pengendalian Aliran Air

##### Suhu Air

Pengendalian suhu yakni menjaga kondisi suhu air di dalam tangki proses sesuai dengan set point yang diinginkan. Untuk melakukan hal tersebut dapat digambarkan dalam skema sebagai berikut :

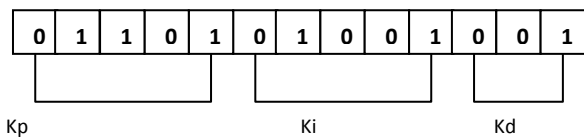
Aktuator pada plant ini yaitu heater (pemanas). Heater akan bekerja sesuai dengan tegangan yang masuk. Semakin besar tegangan yang masuk, maka semakin besar pula kalori yang dihasilkan. Keluaran berupa panas akan dideteksi dengan sensor panas yakni PTC.

#### 1. Pengujian sensor panas

Sensor level diuji dengan mencari hubungan antara level air sebagai masukan dan nilai tegangan sebagai keluaran.

#### B. Perancangan Algoritma Genetika

Representasi kromosom dalam proyek akhir ini adalah solusi untuk besarnya nilai parameter PID, yakni Kp, Ki, dan Kd. Berikut ini adalah satu buah susunan kromosom atau individu. Dalam satu individu berikut ada tiga buah alel yang merepresentasikan tiga variabel solusi yang dicari. Dan dalam satu populasi terdapat beberapa buah kromosom. Dan satu periode produksi populasi adalah satu generasi.



Gambar 3.3. Ilustrasi representasi kromosom

Untuk menentukan seberapa panjang kromosom yang harus dibuat, dapat menggunakan persamaan berikut

$$L = \lceil \log_2 [(b-a)10^n + 1] \rceil$$

Dimana :

L= panjang kromosom

a= batas bawah solusi

b = batas atas solusi

n = tingkat kepresisian (n angka dibelakang koma)

Dalam buku ini dimisalkan user menggunakan spesifikasi variabel algoritma genetika sebagai berikut pada plan level:

**Tabel 1.** Spesifikasi parameter genetik algoritma

LEVEL			
	KP	KI	KD
a (batas bawah)	0	0.001	0.001
b (batas atas)	5	1	1
n (presisi)	2	2	2
L	9	7	7
Jumlah	Panjang kromosom = 23		

### 1) Pembangkitan populasi awal

Populasi awal dibangkitkan secara acak dengan fungsi random. Dalam proyek ini inisialisasi dilakukan secara random dengan jumlah alel yang tetap yakni tiga, dengan panjang kromosom dan jumlah populasi yang dapat diatur oleh user.

Nilai desimal hasil random lalu dikonversi ke dalam biner. Dari nilai biner yang telah didapatkan maka dipotong sesuai dengan panjang alel masing-masing. Ketika sudah didapatkan nilai alel dalam biner, nilai ini dikonversi kembali ke dalam bentuk biner. Untuk menghitung besar nilai alel dapat menggunakan persamaan alel di atas. Hal ini dilakukan sampai batas populasi yang ditentukan.

Algoritma pembangkitan populasi awal :

1. bil = 0, selama bil < maksimal populasi kerjakan baris 2
2. bil krom = 0, selama bil krom < maksimal kromosom kerjakan baris 3
3. Dapatkan nilai 0 dan 1 secara random
4. Simpan kedalam array kromosom

**Tabel 2.** Random biner pada 1 populasi

Populasi	kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	1 0010 1011	101 0110	110 0011
Kromosom 2	1 1011 1101	101 0111	110 1101
Kromosom 3	1 1000 1010	110 1110	111 0100
Kromosom 4	0 0101 0111	011 1101	101 0111
Kromosom 5	1 0111 0100	110 0011	011 1101
Kromosom 6	1 0100 1010	100 1001	100 0010

Dari hasil data random di atas lalu dikonversi ke nilai desimal untuk setiap nilai alel pada tiap kromosom. Berikut adalah tampilan hasil konversi dari data random kromosom di atas :

**Tabel 3.** Random biner pada 1 populasi

Populasi	Kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	299	86	99
Kromosom 2	445	87	109
Kromosom 3	394	110	116
Kromosom 4	87	61	87
Kromosom 5	372	99	61
Kromosom 6	330	73	66

Dari spesifikasi di atas, selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan nilai alel dan fitness.

Perhitungan nilai alel (x) :

$$x = a + [(b-a)/2^L - 1] * v$$

dimana :

L = panjang kromosom

v = nilai konversi dari biner ke desimal alel

**Tabel 4.** Random biner pada 1 populasi

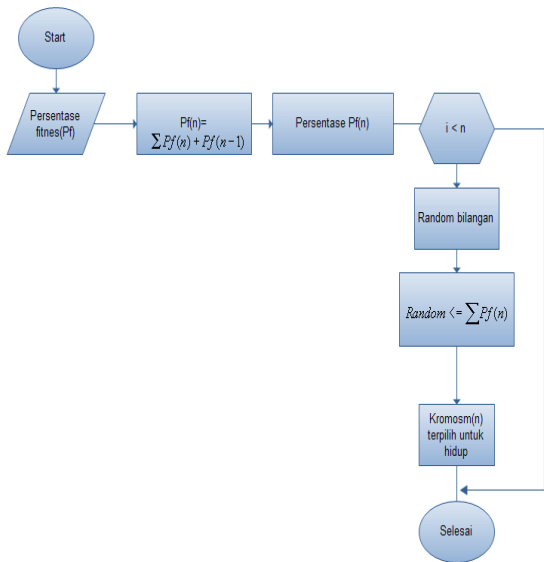
Populasi	Kromosom		
	Kp	Ki	Kd
Kromosom 1	2.92	0.67	0.77
Kromosom 2	4.35	0.68	0.68
Kromosom 3	3.85	0.86	0.86
Kromosom 4	0.85	0.47	0.47
Kromosom 5	3.63	0.77	0.77
Kromosom 6	3.22	0.57	0.57

### 2) Fungsi Fitness dan evaluasi

Fungsi fitness digunakan untuk melihat kromosom mana yang paling bugar. Kromosom yang bugar akan memiliki peluang bertahan untuk proses regenerasi berikutnya. Nilai fitness dicari berdasarkan karakteristik sistem dari plant. Model tersebut akan menjadi jalan atau aturan bagi algoritma genetika untuk mencari optimasi nilai parameter P, I, dan D.

### 3) Seleksi roda roulette

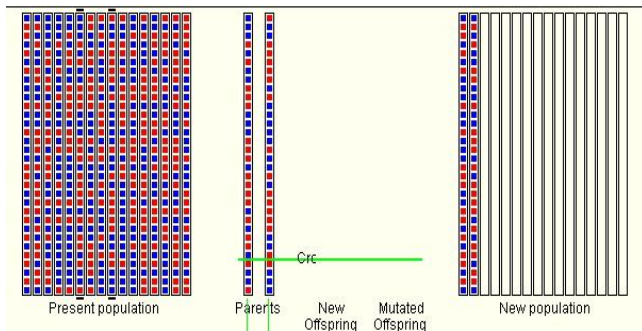
Roda roulette dibuat seperti membuat kue pie dimana persentase wilayahnya berdasarkan tingkat kebugaran suatu kromosom. Semakin tinggi nilai kebugaran satu kromosom, kromosom tersebut akan memiliki wilayah yang luas.



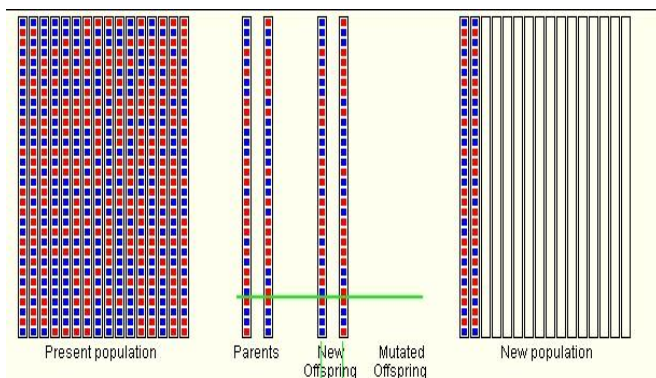
**Gambar 3.4.** Flow chart seleksi roda roulette

4. Cross over

Pindah silang dilakukan pada kromosom yang lolos seleksi roda roulette. Diambil dua buah kromosom yang berurutan untuk dilakukan proses kawing silang. Untuk itu jumlah kromosom yang diproduksi adalah genap, untuk proses kawin silang. Nilai konstanta pindah silang yang digunakan adalah tinggi, lebih dari 70.



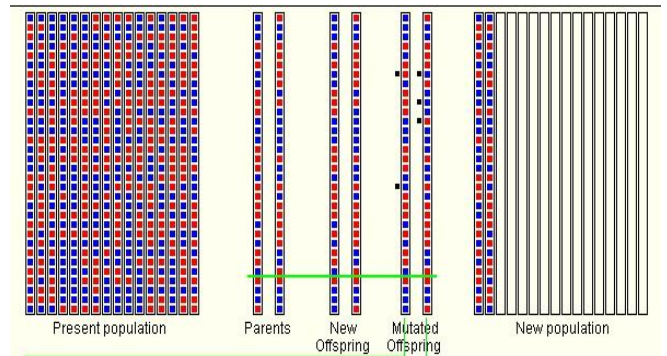
**Gambar 3.5.** Ilustrasi terjadinya proses cross over (Garis hijau menunjukkan titik perpotongan)



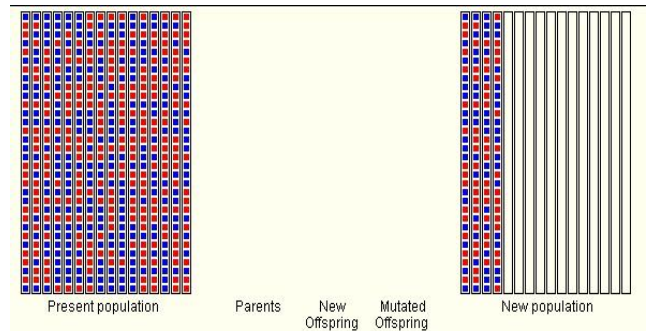
**Gambar 3.6.** Ilustrasi hasil cross over

5. Mutasi

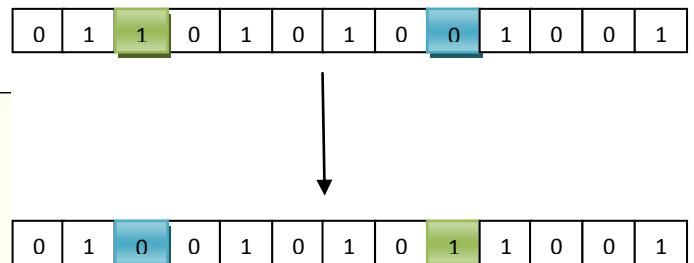
Mutasi dilakukan dengan membalik nilai dari gen (bit) yang ada pada kromosom. Terjadinya mutasi ini sangat kecil kemungkinannya. Mutasi ini dilakukan pada kromosom sebelumnya yang telah melalui proses cross over.



**Gambar 3.7.** Ilustrasi terjadinya mutasi pada kromosom yang telah melalui cross over



**Gambar 3.8.** Ilustrasi hasil dari proses cross over dan mutasi



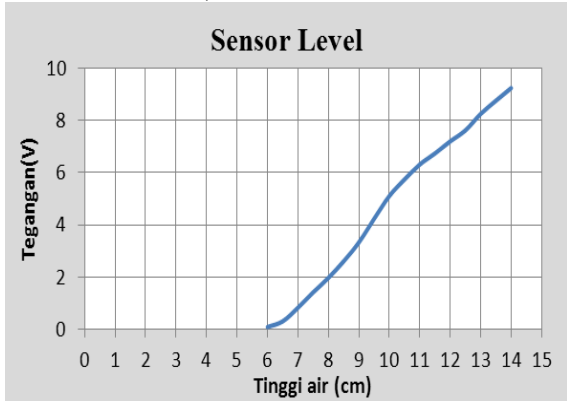
**Gambar 3.9.** Ilustrasi terjadinya mutasi dalam kromosom

6. Elitisme

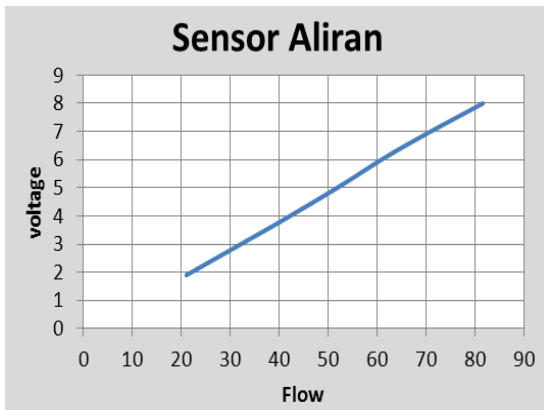
Elitisme digunakan untuk mengikutsertakan individu – individu terbaik ke populasi baru dengan cara menggantikan individu yang jelek.

3. DATA HASIL PENGUJIAN

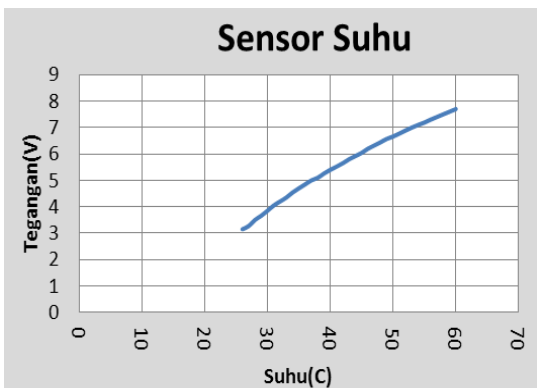
4.1 PLANT (Modul Kontrol Proses DL 2314)



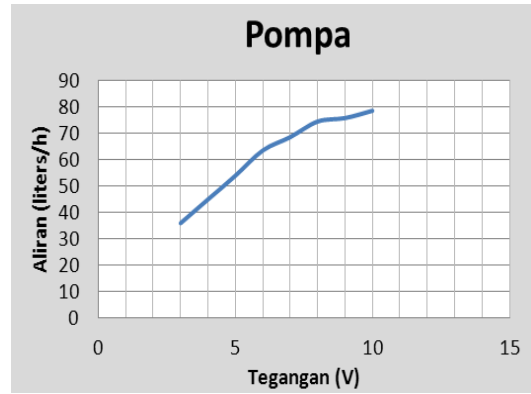
Gambar 4.1. Hasil pengujian sensor level



Gambar 4.2. Hasil pengujian sensor aliran



Gambar 4.3. Hasil pengujian sensor suhu



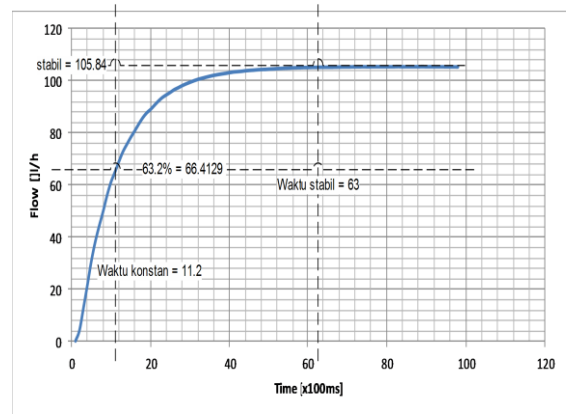
Gambar 4.4. Hasil pengujian pompa

Pengujian sensor di atas dilakukan pada awal perancangan. Dari persamaan yang didapatkan dari sensor tersebut nantinya akan digunakan sebagai penerjemah kondisi fisik di plant agar dapat dimengerti oleh piranti lain. Hal ini karena variabel yang masuk pada setiap piranti adalah level tegangan.

Untuk pengujian aktuator dilakukan untuk dapat memahami karakteristiknya. Dari spesifikasi yang diijinkan sebenarnya bisa mencapai 12 volt. Namun ketika dilakukan pengujian pada aktuator terdapat perbedaan kondisi, yakni pompa yang sudah cukup lama digunakan memiliki sifat yang berbeda. Pompa yang mulai bekerja pada tegangan 3 volt dan mencapai aliran tertinggi pada tegangan 5 volt. Hal ini akan berdampak pada kinerja plant yakni level air dan aliran.

4.2 Pemodelan matematis

Aliran air



Gambar 4.5 Grafik reaksi plant

$$G(s) = \frac{23.3519}{(6.3s + 1)}$$

## Level air

$$\text{Luas area} \frac{d\text{Level}}{dt} = F_{in} - F_{out}$$

Karena besar aliran air yang keluar dipengaruhi oleh ketinggian air h dapat ditulis menjadi :

$$F_{out} = \text{Luas area output} \times \sqrt{2 * g * \text{Level}}$$

Dengan pengujian terhadap keluaran dari solenoid valve didapatkan data sebagai berikut Volume tangki 1202 cm<sup>3</sup> dengan waktu keluar selama 2 menit. Jadi volume dalam satuan SI adalah 36 liter per jam.

Dengan menggunakan pendekatan Taylor, didapatkan suatu pendekatan sebagai berikut :

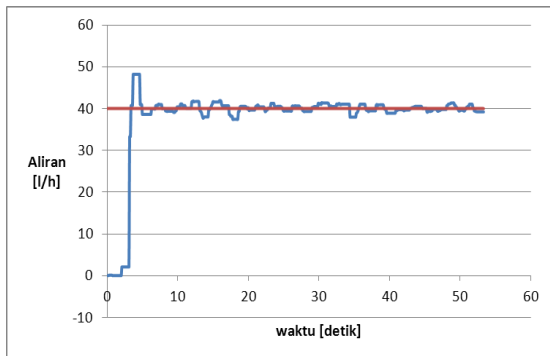
$$A * \Delta L = \Delta F_{in} - A_{out} \sqrt{\frac{g}{2L_0}} \Delta L$$

Sehingga didapatkan persamaan dalam domain laplace sebagai berikut :

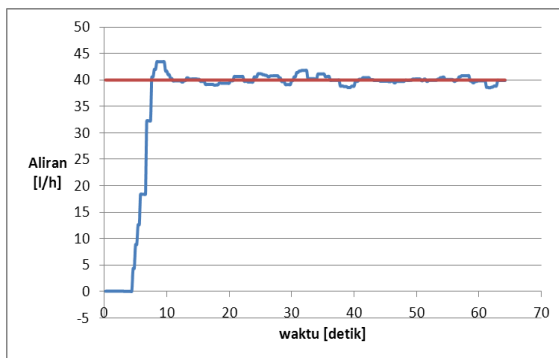
$$L(s) = \frac{1}{0.024 s + 0.00256}$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa fungsi transfer dari level air adalah dalam orde 1.

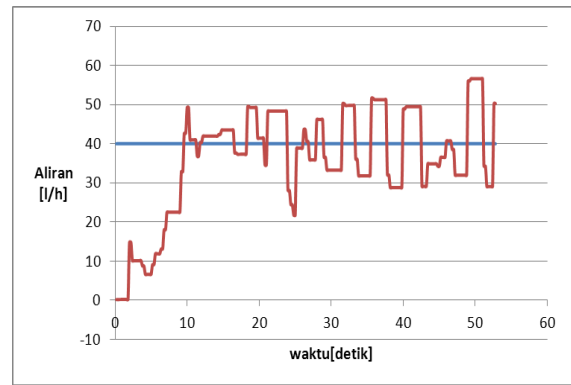
Kendali PID



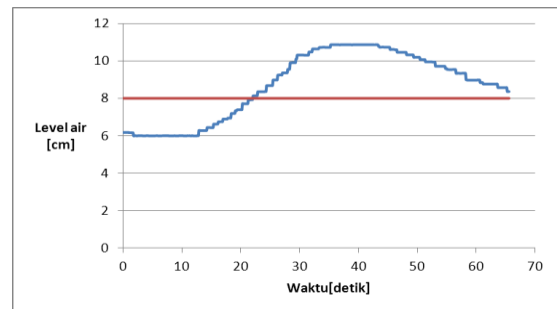
Gambar 4.6 Kp=0.5, Ki=0.01, Kd=0.001



Gambar 4.7 Kp=0.5, Ki=0.095, Kd=0.001

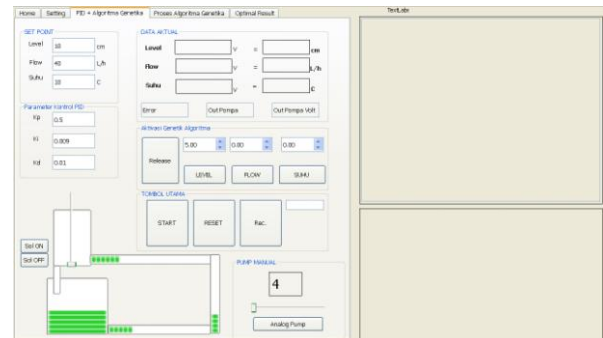


Gambar 4.8. Kp=0.5, Ki=0.01, Kd=5

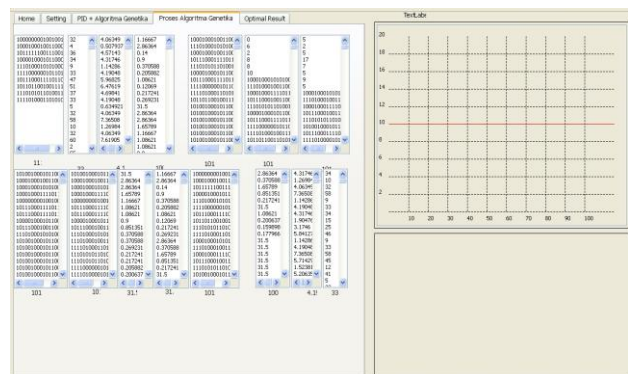


Gambar 4.9. Kp=1, Ki=0.5 Kd=0.05

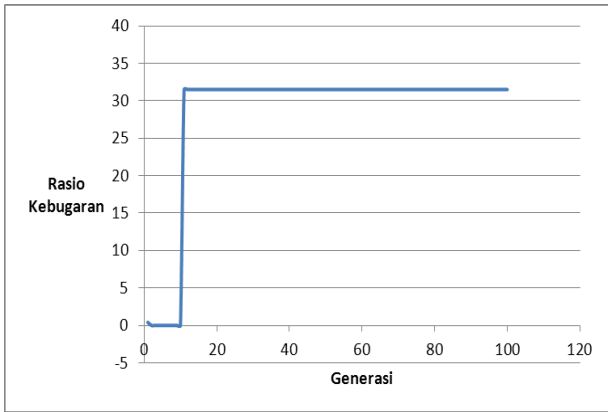
## Algoritma Genetika



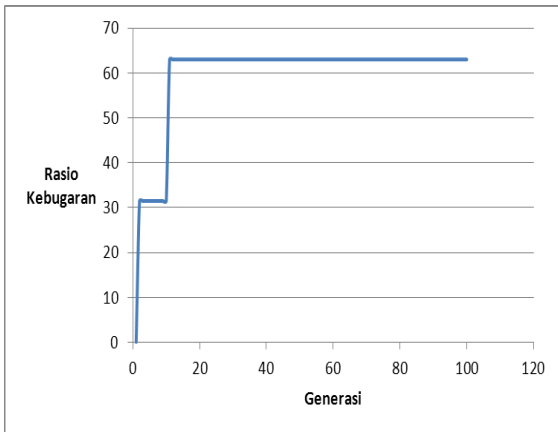
Gambar 4.10. Tampilan Algoritma Genetika



Gambar 4.11. Tampilan Proses Algoritma Genetika



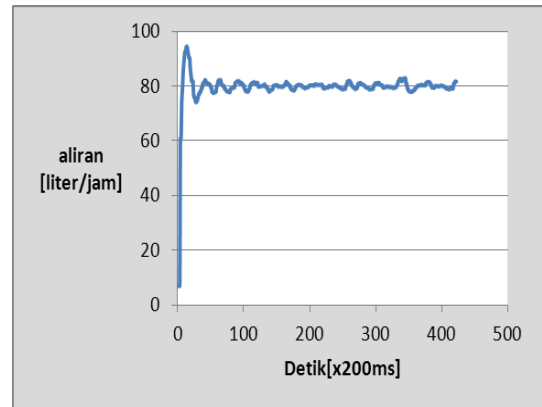
**Gambar 4.12.** Grafik tingkat kebugaran kromosom dengan rasio 31



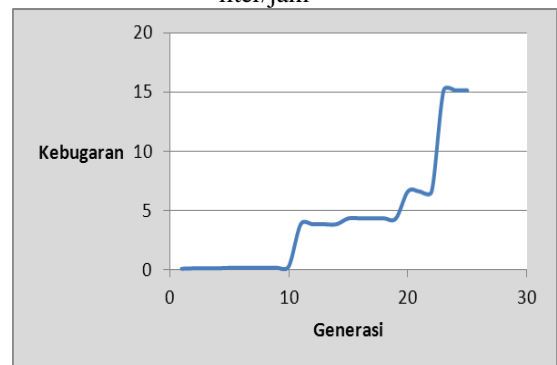
**Gambar 4.13.** Grafik tingkat kebugaran kromosom dengan rasio 64

Algoritma genetika bekerja secara offline. Hasil yang diberikan dapat dianggap *acceptable* bila telah memenuhi kondisi yang stabil pada nilai kebugaran. Grafik diatas adalah solusi dari permasalahan  $y=Kp+Ki+Kd$ . Dimana  $y$  yang diminta adalah 7. Dan solusi  $Kp$ ,  $Ki$ ,  $Kd$  yang dianggap terbaik selama proses algoritma genetika adalah 6.60, 0.12,dan 0.12. Jika hal ini dijumlahkan maka akan mendekati nilai  $y$  yang diinginkan yakni 7.

### 4.3 Pengujian Aliran dengan PID dan GA

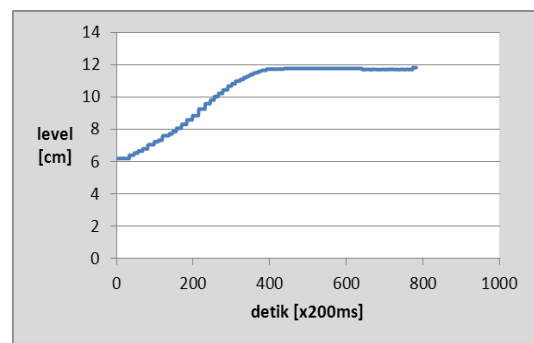


**Gambar 4.1.** Grafik pengujian aliran set point 60 liter/jam



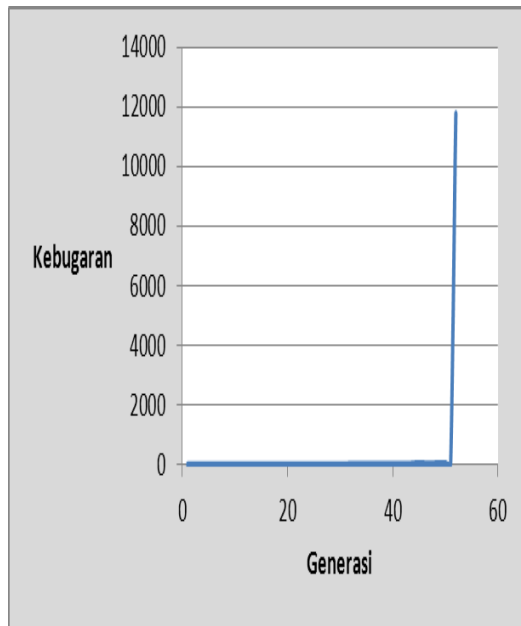
**Gambar 4.152.** Grafik kebugaran aliran set point 60 liter/jam

### 4.4 Pengujian Level dengan PID dan GA



**Gambar 4.16.** Grafik pengujian level set point 12 cm





**Gambar 4.17.** Grafik kebugaran level set point 12 cm

Pengujian aliran keenam pada kondisi pertama dengan referensi 80 liter per jam.  $K_p= 0.3285$ ,  $K_i= 0.082$ , dan  $K_d= 0.182$ . Capaian generasi yang didapatkan keluar dengan kondisi generasi yang ke-14.

**Tabel 4.1.** Hasil pengujian kontrol aliran.

No	Set Point (L/h)	Rise time (detik)	Overshoot (L/h)
1	40	2.8	3.0872
2	50	1.8	5.67
3	60	2.6	4.48
4	70	2.4	5.23
5	80	1.4	14.3897
6	90	2	4.5641

Dengan nilai rentang pencarian yang tetap yakni dari 1 dan 0 untuk segala nilai parameter PID, didapatkan solusi nilai parameter PID yang rata-rata menghasilkan proses kendali yang diinginkan. Yakni dengan nilai *rise time* yang cepat, sedikit osilasi dan stabil pada nilai yang diinginkan.

Nilai aliran secara umum memiliki *rise time* yang cepat. Nilai *overshoot* tertinggi pada saat set point 80. Hal ini dikarenakan faktor parameter  $K_p$  yang lebih dominan dengan nilai  $K_d$  yang kecil. Hasil parameter yang diberikan berdasarkan *input* dari kendali PID yakni nilai *error*. Hal ini lah yang menentukan kinerja algoritma genetik dalam melakukan proses optimasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Advantech Co, Ltd, September 2001, Datasheet ADAM 5000, 26 Juni 2006, www.eepis-its.edu.
- [2] Kuswadi S, 2000, Kendali Cerdas, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia.
- [3] Kusumadewi S., 2003, Artificial Intelligence, Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- [4] Suyanto, 2005, Algoritma Genetik dalam Matlab, Andi, Yogyakarta, Indonesia.
- [5] Ogata K., 1997, Teknik Kontrol Automatik, Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- [6] Rogmana VL., 1992, Manual Book, Process Control DL 2314 Transducer, De Lorenzo, Italia.
- [7] Setiawan I., 2008, Kontrol PID untuk Proses Industri, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, Indonesia
- [8] Mirzal, Andri, PID Parameters Optimization by Using Generic Algorithm, Hokkaido University, Japan.
- [9] Sulasno, Prayitno T. Agus, 2006, Teknik Sistem Kontrol, Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- [10] Czarkowski D., 2002, Identification and Optimization PID Parameters using Matlab, Gydinia Maritime University, Poland.
- [11] Pakpahan S., 1988, Kontrol Otomatik Teori dan Penerapan, Erlangga, Jakarta, Indonesia.