

PERANCANGAN *PLANT* MESIN *MIXER* PELEMBUT DAN PEWANGI PAKAIAN OTOMATIS MENGGUNAKAN *TUNING* PARAMETER PID DENGAN *FUZZY LOGIC* UNTUK PENGATURAN *LEVEL* CAIRAN BERBASIS ATMEGA16

Selamat Marylin Manroe Sinaga^{*)}, Budi Setiyono, and Sumardi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{*)}*Email: manroesinaga@gmail.com*

Abstrak

Pelembut dan pewangi pakaian sangat dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia. Beragam wangi dari berbagai jenis parfum telah tersedia di pasaran. Namun, kesenjangan antara pelaku industri pelembut dan pewangi pakaian masih terjadi, disaat industri modern telah memanfaatkan alat canggih dalam proses produksinya, industri rumah tangga masih memanfaatkan cara manual mulai dari pembuatan, takaran hingga pengadukan, sehingga tidak mampu menyangi produksi dari industri modern. Pada penelitian ini, dibuat prototype alat mixer pelembut dan pewangi pakaian otomatis untuk skala home industry. Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, dan pengadukan bahan dengan dua variasi kualitas. Metode kontrol yang digunakan dalam pengendalian level takaran bahan adalah tuning parameter PID dengan fuzzy logic. Settling point takaran yang digunakan pada proses penakaran kualitas 1 (satu) adalah 1500 ml pada masing-masing tangki takaran dan untuk kualitas 2 (dua) settling point pada tangki takaran 1 (satu) adalah 1100 ml dan pada tangki takaran 2 (dua) adalah 1800 ml. Hasil pengujian diperoleh bahwa pengendalian level takaran bahan menggunakan teknik tuning parameter PID dengan fuzzy logic pada alat mixer pelembut dan pewangi pakaian otomatis menghasilkan respon sistem dengan rise time dan settling time yang kecil serta tidak terdapat nilai overshoot dengan batas toleransi yakni 3%.

Kata kunci: Mixer, kontrol fuzzy logic, PID

Abstract

Softener and fragrance clothes is needed by Indonesian people. Various kind and fragrance of perfume are available on the market. However, discrepancy amongst softener and fragrance clothes industries is still exist. Modern industries are capable of using sophisticated machine for production process while home industries are still using manual process, started from producing, measuring, until packaging. Therefore, home industries cannot compete with the modern one. At this research, a prototype of mixer system for plant of softener and fragrance clothing is made for household industrial scale. Automation systems in this final project include of the main ingredient dosing and mixing ingredients with two variation quality. PID parameter tuning with fuzzy logic is applied in the controlling of dose level. Settling point temperature that is desired in the process of ingredient dosing in quality one is 1500 ml in each tank and for quality two settling point needed 1100 ml and 1800 ml in each tank. The test results obtained that the level control dosing material using PID parameter tuning with fuzzy logic techniques in the mixer and farpuming clothes softener outomatically geneate the system's response that have small rise time and settling time and the maximum overshoot value is still within the tolerance limit of 3%.

Keywords : Mixer, fuzzy logic control, PID

1. Pendahuluan

Teknologi Industri semakin berkembang pesat, pelaku industri fokus menghasilkan produk dengan kualitas bagus dan produksi yang cepat^[1]. Visi pembangunan industri sebagaimana diatur didalam Perpres No. 28 tahun

2008 tentang Kebijakan Industri Nasional (KIN) adalah menjadikan Indonesia sebagai negara industri tangguh di dunia pada 2025.

Salah satu dari jenis produk industri kebutuhan rumah tangga yang mengalami persaingan cukup tinggi yaitu

produk pewangi dan pelembut pakaian. Berdasarkan ICSA (Indeks Customer Satisfaction Award) industri pewangi dan pelembut pakaian berada di posisi ketiga memperoleh nilai QSS (Quality Satisfaction Score) sebesar 4,050, VSS (Value Satisfaction Score) sebesar 3,930, untuk perolehan PBS (Perceived Best Score) sebesar 4,077, ES (Expectation Score) sebesar 3,654 dan terakhir untuk perolehan TSS (Total Satisfaction Score) sebesar 3,910^[2]. Kesenjangan antara pelaku industri masih terjadi, disaat industri modern telah memanfaatkan alat-alat canggih dalam proses produksinya, industri rumah tangga masih memanfaatkan cara manual mulai dari pembuatan, takaran hingga pengepakan, sehingga tidak mampu menyaingi produksi dari industri modern. Ditambah lagi, alat produksi otomatis berharga mahal dipasaran, sehingga sulit untuk industri rumah tangga yang sebagian bermodal kecil.

Berdasarkan alasan di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan alat mixer pelembut dan pewangi pakaian otomatis untuk skala *home industry*. Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, sistem pewaktuan (*timer*) pada masing-masing tahapan proses. Diharapkan, dengan diterapkannya sistem otomatisasi ini, maka dapat meningkatkan produktivitas kerja pada proses pembuatan pelembut dan pewangi pakaian. Selanjutnya, dengan diaplikasikannya metode kontrol yang tepat saat proses penakaran, yang merupakan proses terpenting dalam pembuatan pelembut dan pewangi pakaian, maka kestabilan level cairan dapat tercapai dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

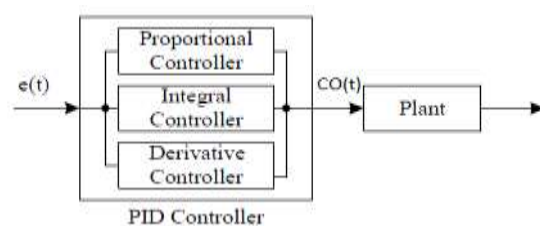
Keakurasian pengukuran level cairan merupakan aspek terpenting dalam beberapa proses aplikasi, seperti industri minyak, insdutri kimia dan insdutri meteorological. Beberapa cara digunakan untuk mengukur ketinggian level seperti menggunakan mekanik, elektrik, elektronika, elektromagnetik dan metode ultrasonik. Beberapa metode ini mencapai tujuan tertentu dalam perkembangan pengukuran level cairan. Metode ultrasonic adalah metode yang banyak digunakan dalam pendeteksian level cairan karena mempunyai kinerja yang tinggi^[3]. Dalam penelitian ini digunakan sensor ultrasonic HCSR-04 sebagai pendeteksi level cairan.

Pada penelitian ini akan dibuat implementasi menggunakan *Tuning Parameter* PID dengan *fuzzy Logic* pada pengaturan level cairan pada tangki takaran *plant* alat mixer pelembut dan pewangi pakaian otomatis. Mikrokontroler ATmega16 digunakan sebagai perangkat keras pengendali utama. Masukan dari kendali *fuzzy* ini adalah *error* dan perubahan nilai *error* atau biasa disebut dengan *delta error* sistem. Keluaran dari kendali *fuzzy* yang dihasilkan akan digunakan sebagai nilai parameter K_p , K_i , dan K_d . Pada Kendali PID ini diharapkan dapat menghasilkan respon sistem yang ideal dengan *rise time*

dan *settling time* yang kecil serta nilai *maksimum overshoot* yang masih dalam batas toleransi.

2. Metode

Kendali PID merupakan gabungan dari tiga macam pengendali, yaitu kendali proporsional (*Proportional Controller*), kendali integral (*Integral Controller*), dan kendali turunan (*Derivative Controller*). Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem dimana masing-masing kendali akan saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing.



Gambar 1. Struktur kendali PID ideal^[6]

Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan pada persamaan 1^[6].

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Dimana,

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PID

K_p = konstanta proporsional

T_i = waktu integral

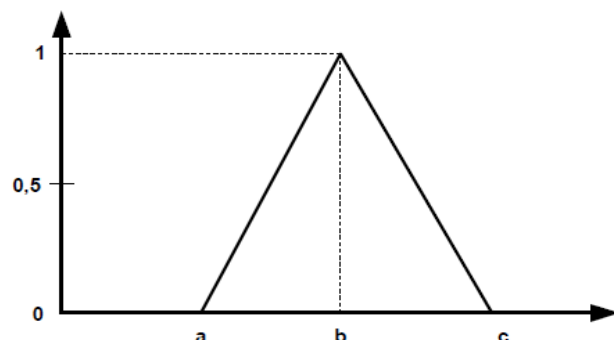
T_d = waktu turunan

K_i = konstanta integral

K_d = konstanta turunan

$e(t)$ = sinyal kesalahan ($e(t) = \text{referensi} - \text{keluaran plant}$)

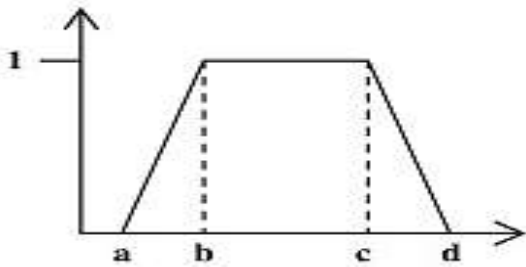
Terdapat beberapa fungsi keanggotaan yang sering digunakan dalam aplikasi logika *fuzzy* yaitu fungsi keanggotaan segitiga dan fungsi keanggotaan trapezium.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan segitiga^[7]

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai persamaan matematis yang ditunjukkan pada persamaan 2^[7].

$$\mu_f(u) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & a \leq u < b \\ \frac{(c-u)}{(c-b)} & b \leq u < c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (2)$$



Gambar 3. Fungsi keanggotaan trapesium^[6]

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai persamaan matematis yang ditunjukkan pada persamaan 3^[7].

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & a \leq u < b \\ \frac{(c-u)}{(c-d)} & c \leq u < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

Mekanisme kendali logika fuzzy kalang tertutup ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem loop tertutup dengan pengendali fuzzy

Pada gambar 4. terdapat dua masukan berbentuk *crisp* (tegas), yaitu masukan *error* dan perubahan *error* yang diperoleh dari nilai referensi, keluaran *plant*, dan *error* sebelumnya. Dua masukan tersebut akan diolah oleh pengendali logika fuzzy. Nilai keluaran yang dihasilkan pengendali logika fuzzy berupa *crisp*. Struktur dasar sebuah pengendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 5., yang meliputi empat bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan (*knowledge base*), logika pengambilan keputusan (*inference engine*), dan defuzzifikasi.

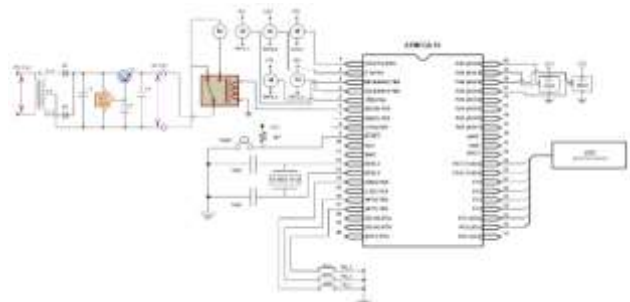


Gambar 5. Struktur dasar pengendali fuzzy^[9]

Perancangan plant terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya adalah sebagai berikut :

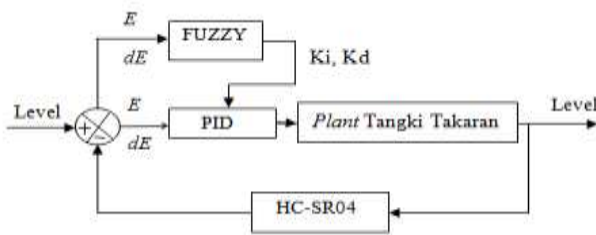
1. Mikrokontroler ATmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengaturan level cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C embedded.
2. Push Button berfungsi sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (Lyquid Crystal Display) digunakan sebagai media tampilan (display) selama proses pengendalian berlangsung
4. Sensor jarak HC-SR04 difungsikan sebagai sensor level yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan pada tangki takaran.
5. Motor servo sebagai aktuator yang digunakan untu membuka dan menutup ball valve.
6. Relay berguna sebagai kendali on-off pada motor listrik yang difungsikan sebagai pengaduk.
7. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.

Adapun alokasi penggunaan port pada mikrokontroller atmega 16 dapat dilihat pada gambar berikut



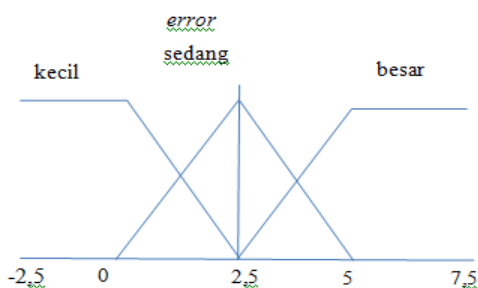
Gambar 6. Skematik Perancangan Hardware

Pada penelitian ini sistem kendali utama yang digunakan adalah kendali fuzzy tuning PID. Nilai *membership function* dari controller fuzzy diperoleh dari data sensor HC-SR04. *Membership function* inilah yang nantinya akan menjadi parameter penentuan konstanta pada controller PID. Diagram blok Controller fuzzy logic - PID dapat dilihat seperti Gambar 7. dibawah ini.

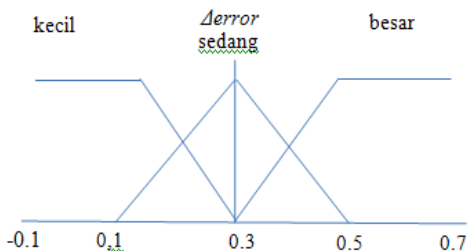


Gambar 7. Diagram blok sistem pengendalian level cairan pada plant mesin mixer pelembut dan pewangi otomatis

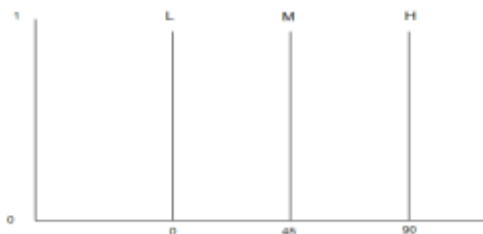
Kontroller fuzzy mendapat masukan dari data sensor HC-SR04 berupa jarak. Masukan yang digunakan sebagai membership function digambarkan dalam gambar himpunan keanggotaan sebagai berikut :



Gambar 8. Himpunan keanggotaan masukan error



Gambar 9. Himpunan keanggotaan masukan Δ error



Gambar 10. perancangan keanggotaan himpunan keluaran fuzzy

Basis aturan dibuat sesuai dengan keluaran yang diinginkan sebagai masukan parameter PID. Basis aturan dibagi menjadi 3 yaitu basis aturan untuk nilai Kp, basis aturan untuk nilai Ki dan basis aturan untuk nilai Kd.

Berikut aturan yang digunakan dalam perancangan model fuzzy ini :

1. Jika Error adalah Kecil dan Delta Error adalah Kecil maka $K_p = 100, K_i=0, K_d=20$.
2. Jika Error adalah Sedang dan Delta Error adalah Sedang maka $K_p= 100, K_i=0, K_d=0$.
3. Jika Error adalah Besar dan Delta Error adalah Besar maka $K_p = 100, K_i=10, K_d=20$.
4. Jika Error adalah Kecil dan Delta Error adalah Sedang maka $K_p = 100, K_i=0, K_d=20$.
5. Jika Error adalah Kecil dan Delta Error adalah Besar maka $K_p = 100, K_i=0, K_d=20$.
6. Jika Error adalah Sedang dan Delta Error adalah Kecil maka $K_p = 100, K_i=0, K_d=0$.
7. Jika Error adalah Sedang dan Delta Error adalah Besar maka $K_p= 100, K_i=0, K_d=0$.
8. Jika Error adalah Besar dan Delta Error adalah Kecil maka $K_p = 100, K_i=10, K_d=20$.
9. Jika Error adalah Besar dan Delta Error adalah Sedang maka $K_p= 100, K_i=10, K_d=20$.

Hasil Rule base (basis pengetahuan) diperoleh dengan menerapkan metode try and error. Dari percobaan try and error tersebut maka diperoleh bentuk yang sederhana 9 aturan fuzzy dapat dilihat pada tabel 1.

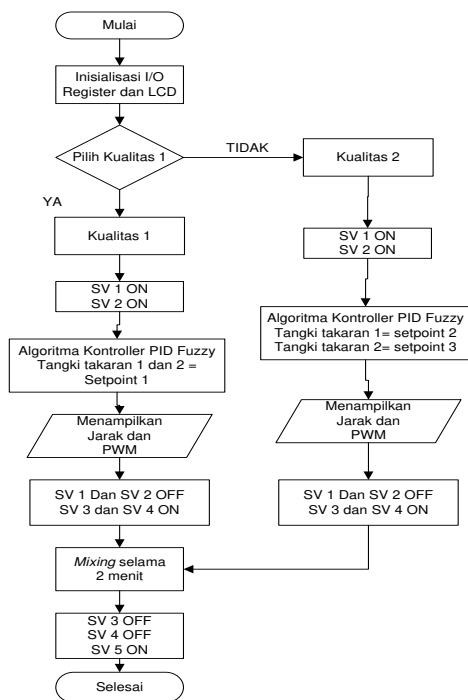
Tabel 1. Basis aturan fuzzy tuning Kp, Ki, dan Kd

Error	Kecil	Sedang	Besar
Kecil	$K_p=100, K_i=0, K_d=20$	$K_p=100, K_i=0, K_d=0$	$K_p=100, K_i=10, K_d=20$
Sedang	$K_p=100, K_i=0, K_d=20$	$K_p=100, K_i=0, K_d=0$	$K_p=100, K_i=10, K_d=20$
Besar	$K_p=100, K_i=0, K_d=20$	$K_p=100, K_i=0, K_d=0$	$K_p=100, K_i=10, K_d=20$

Pemrograman mikrokontroler ATmega16 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan software pada penelitian ini juga menggunakan bahasa C dengan kompilator Code Vision AVR versi 2.04.4a Flowchart sistem dapat dilihat pada gambar 11.

Secara umum perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler ATmega16 ini terdiri atas :

1. Perancangan Program Utama
2. Program Inisialisasi I/O dan Variabel
3. Program Pengambilan Data ADC (sensor jarak HC-SR04)
4. Program Tampilan LCD 16x2
5. Program Pengendali tuning parameter PID dengan fuzzy logic



Gambar 11. Diagram alir *plant mixer* pelembut dan pewangi pakaian otomatis

3. Hasil dan Analisis

Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan jarak sensor HCSR-04 dengan pembacaan dengan mistar. Pengujian HC-SR04 dilakukan dengan mengkonversikan jarak ke level dengan *listing* program berikut:

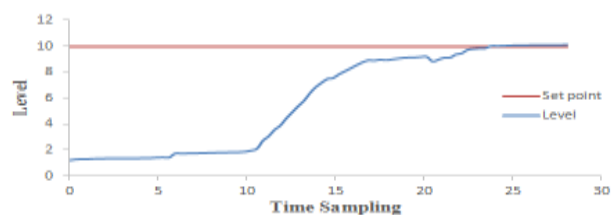
```
tinggi[i] = (jarak[i]>23) ? 0 : (23 - jarak[i]);
```

Tabel 2. Hasil Pengujian sensor HCSR-04

No.	Level Uji (cm)	Level Terdeteksi HCSR-04		Error	
		Tangki Takaran I (cm)	Tangki Takaran II (cm)	Tangki Takaran I (cm)	Tangki Takaran II (cm)
1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0
3	2	2,1	2,2	0,1	0,2
4	3	2,9	3,2	0,1	0,2
5	4	4,2	4,2	0,2	0,2
6	5	4,9	5,2	0,1	0,2
7	6	6	6	0	0
8	7	7	7,1	0	0,1
9	8	7,8	8,2	0,2	0,2
10	9	8,7	9,3	0,3	0,3
11	10	10	10,3	0	0,3
12	11	10,8	11,5	0,2	0,5
13	12	11,7	12,3	0,3	0,3
14	13	13	13,5	0	0,5
15	14	13,6	14,4	0,4	0,4
16	15	15,1	15,6	0,1	0,6
ΣError				1,96	4
Error Rata-Rata				0,1225	0,25

Dari Tabel 2. terlihat perbedaan hasil antara *level* sebenarnya dengan *level* hasil pembacaan sensor jarak HC-SR04. Rata-rata kesalahan (*error*) yang didapatkan untuk sensor HC-SR04 pada tangki 1 adalah 0,1225 cm dan rata-rata error pada tangki 2 adalah 0,25 cm.

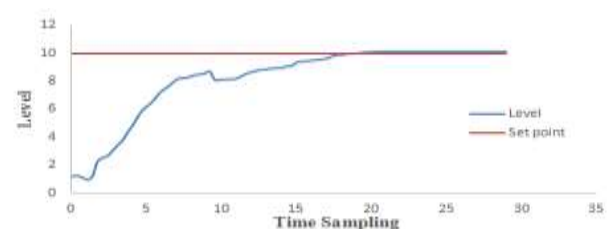
Pada pengujian ini dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Hal ini dilakukan untuk menganalisa, apakah sistem sudah bekerja dengan baik atau belum. Dalam pengujian ini dilakukan dengan menganalisa respon hasil pengontrolan dengan *gain* PID yang diberikan terhadap *plant*. Dari hasil analisa ini, akan menghasilkan *tuning* parameter *gain* PID yang terbaik untuk sistem yang telah dirancang.



Gambar 12. Respon sistem dengan Nilai $K_p = 100$

Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai $K_p = 100$ atau yang memberikan sinyal *co* merupakan *error* yang terjadi antara *pv* dengan *set point*. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan parameter *gain* $K_p = 100$ terhadap sistem. Sehingga perbaikan sistem masih dilakukan dari *error* yang terjadi pada saat pengujian berlangsung. Pengujian dilakukan dengan memberikan *set point* sebesar 10 cm. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 12.

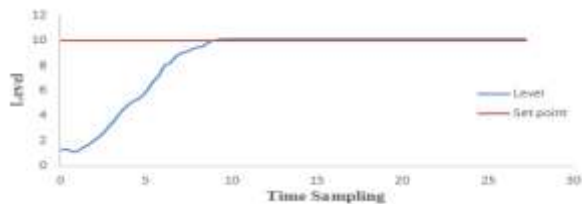
Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai $K_p = 100$, dan $K_d = 20$ atau yang memberikan sinyal *co* merupakan *error* yang terjadi antara *pv* dengan *set point*. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan parameter *gain* $K_p = 100$, dan menambahkan nilai $K_d = 20$ terhadap sistem. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Respon sistem dengan Nilai $K_p = 100$ dan $K_d = 20$

Dari Gambar 13. dapat dilihat bahwa sistem yang dihasilkan dengan menambahkan nilai $K_d = 20$ dapat dikatakan masih buruk. Karena dari respon sistem

tersebut nilai aktual / pv masih terdapat *error* dari *set point* yang diberikan. Dengan demikian, dibutuhkan penalaan *gain* PID untuk memperbaiki respon sistem dari Gambar 13.



Gambar 14. Respon sistem dengan Nilai $K_p = 100$, $K_i = 10$, dan $K_d = 20$

Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 10$, dan $K_d = 20$ atau yang memberikan sinyal *co* merupakan *error* yang terjadi antara pv dengan *set point*. Dari hasil sebelumnya, maka dilakukan pengujian dengan parameter *gain* $K_p = 100$, $K_i = 10$, dan $K_d = 20$ terhadap sistem. Pengujian dilakukan dengan memberikan *set point* sebesar 10 cm. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 14.

Dari Gambar 14. dapat dilihat bahwa sistem yang dihasilkan dengan menambahkan parameter *gain* nilai $K_p = 100$, $K_i = 10$, dan $K_d = 20$ dapat dikatakan sudah mendekati *set point*. Karena respon dari sistem tersebut sudah mendekati *set point*. Dengan demikian, maka dihasilkan table hasil pengujian pengaruh nilai K_p , K_i , dan K_d sebagai berikut.

Tabel 3. Respon Sistem dengan parameter gain PID

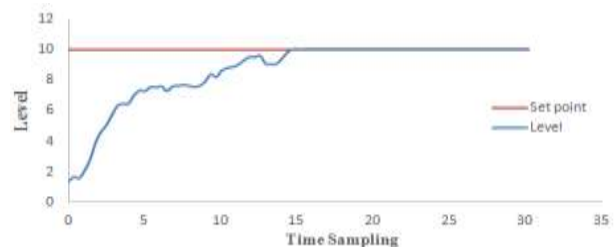
No.	K_p	K_i	K_d
1	100	0	0
2	100	0	20
3	100	10	20

Berdasarkan hasil respon yang telah ditampilkan dalam Gambar 12. – Gambar 14. Diperoleh kesimpulan hasil terbaik ada pada gain PID dengan parameter $K_p = 100$, $K_i = 10$, dan $K_d = 20$. Respon yang diperoleh adalah sistem respon *overshoot* kecil dan tanpa *error steady state* serta jarak sesuai dengan *set point* sehingga sistem dapat berjalan lebih stabil.

Pengujian perangkat lunak pada penelitian ini adalah pengujian pengendali terhadap kerja sistem pengendalian *level* cairan pada alat *mixer* pelembut dan pewangi pakaian otomatis. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon keluaran pengendalian dalam proses pengendalian *level* cairan pada *plant*. Pengujian ini terdiri dari lima percobaan pada setiap tangki takaran. Pengujian yang dilakukan akan menghasilkan grafik respon yang nantinya akan digunakan untuk menganalisa kestabilan sistem. Parameter kestabilan sistem tersebut dapat dilihat dari besarnya *dead time*, T_s (*settling time*),

T_r (*Rise Time*) dan *overshoot* yang dihasilkan. Dari hasil pengujian yang dilakukan berulang-ulang, diharapkan adanya respon sistem terbaik, yaitu respon yang memiliki T_r dan T_s yang terkecil serta tidak adanya *overshoot* yang masih dalam batas toleransi yaitu $\pm 3\%$.

Pengujian sistem pengendalian *level* cairan ini menggunakan referensi tetap dengan gangguan. Pengujian referensi tetap terhadap gangguan adalah pengujian yang menggunakan *set point* tetap yaitu 10 cm dengan gangguan berupa gelombang air/ riak. Jarak awal cairan yang terbaca pada tangki takaran 1 kualitas 1 adalah 1,3 cm. Respon sistem yang diharapkan adalah sistem dapat menuju *set point* 10 cm dan dapat stabil pada jarak tersebut dalam waktu yang relatif cepat serta tidak adanya *overshoot*.

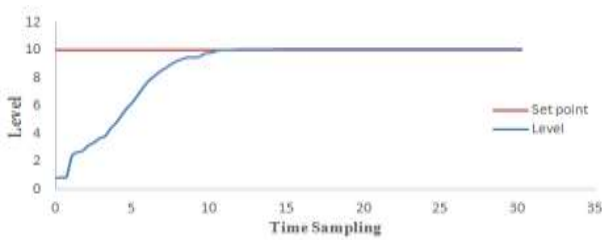


Gambar 15. Respon sistem metode *Fuzzy Tuning-PID* pada tangki takaran 1 kualitas 1 dengan referensi tetap terhadap gangguan

Gambar 15. menunjukkan respon sistem pengendalian *level* cairan tangki takaran dengan metode kontrol *fuzzy tuning-PID*. Sumbu x menunjukkan besaran waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu y menunjukkan jarak dalam satuan centimeter (cm). Respon ini merupakan respon sistem dengan jarak awal sebesar 1,3 cm dan *set point* tetap sebesar 10 cm. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 30 detik.

Pengujian dengan referensi tetap terhadap gangguan menggunakan kendali *fuzzy tuning-PID* ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 6,48 detik, waktu tempuh T_s sebesar 14,76 detik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kontrol *fuzzy tuning-PID* dapat merespon gangguan yang diberikan dengan sangat baik. Pada respon sistem ini terdapat *dead time* 0,72 detik dan tidak terdapat *overshoot*.

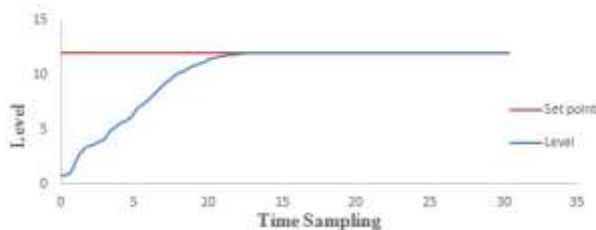
Pada pengujian ini sama halnya seperti pada pengujian sistem yang pertama yaitu referensi tetap terhadap gangguan menggunakan *set point* tetap yaitu 10 cm dengan gangguan juga berupa gelombang air/ riak. Jarak awal cairan yang terbaca pada tangki takaran 2 kualitas 1 adalah 0,78 cm. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 30 detik.



Gambar 16. Respon sistem metode *Fuzzy Tuning-PID* pada tangki takaran 2 kualitas 1 dengan referensi tetap terhadap gangguan

Pengujian dengan referensi tetap terhadap gangguan menggunakan kendali *fuzzy tuning-PID* ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Berbeda dengan tangki takaran 1, respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 8,64 detik dan T_s sebesar 10,8 detik. Lebih cepat dari tangki takaran 1 dikarenakan terdapat gangguan yang berbeda pada tangki takaran 1 dan 2, Pada respon sistem ini terdapat *dead time* 0,72 detik dan tidak terdapat *overshoot*.

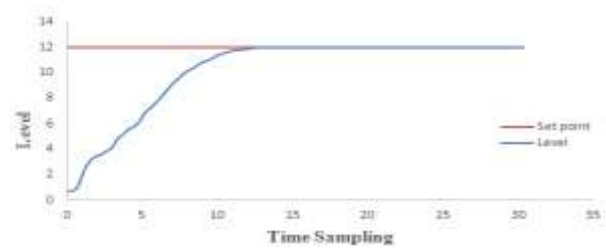
Pada pengujian ini *set point* tetap yaitu 7 cm dengan gangguan juga berupa gelombang air/ riak pada tangki takaran 1 kualitas 2. Jarak awal cairan yang terbaca pada tangki takaran 1 kualitas 2 adalah 0,88 cm. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 30 detik.



Gambar 17. Respon sistem metode *Fuzzy Tuning-PID* pada tangki takaran 1 kualitas 2 dengan referensi tetap terhadap gangguan

Pengujian tangki takaran 1 kualitas 2 dengan referensi tetap terhadap gangguan menggunakan kendali *fuzzy tuning-PID* ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 7,77 detik, waktu tempuh T_s sebesar 11,84 detik. Pada respon sistem ini terdapat *dead time* 1,48 detik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kontrol *fuzzy tuning-PID* dapat merespon gangguan yang diberikan dengan sangat baik.

Pada pengujian *set point* tetap yaitu 12 cm dengan gangguan juga berupa gelombang air/ riak pada tangki takaran 2 kualitas 2. Jarak awal cairan yang terbaca pada tangki takaran 2 kualitas 2 adalah 0,85 cm. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 30 detik.



Gambar 18. Respon sistem metode *Fuzzy Tuning-PID* pada tangki takaran 2 kualitas 2 dengan referensi tetap terhadap gangguan

Pengujian dengan referensi tetap terhadap gangguan menggunakan kendali *fuzzy tuning-PID* ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Berbeda dengan tangki takaran 1, respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 9,62 detik dan T_s sebesar 12,58 detik. Lebih cepat dari tangki takaran 1 dikarenakan terdapat gangguan yang berbeda pada tangki takaran 1 dan 2, pada respon sistem ini terdapat *dead time* sebesar 0,37 detik dan tidak terdapat *overshoot*.

Setelah melakukan proses pengadukan, bahan-bahan yang sudah tercampur dengan baik akan dialirkan ke dalam tangki hasil. Pengisian ke dalam tangki hasil dilakukan oleh *ball valve* 5 setelah *mixer* mengaduk bahan setelah 2 menit maka *valve* 5 akan otomatis membuka untuk mengalirkan bahan ke tangki hasil. Pada saat pengujian dilakukan lima kali percobaan dan didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Hasil Pengujian pada tangki takaran kualitas 1

Tabel 4. Hasil pengujian pada tangki takaran 1

Pengujian	Set Point (cm)	Hasil Pengujian (cm)	Error (cm)
Ke-1	10	10,25	0,25
Ke-2	10	10,1	0,1
Ke-3	10	10,2	0,2
Ke-4	10	10,1	0,1
Ke-5	10	10,2	0,2
	Σ	50,85	0,85
	Rata-Rata	10,17	0,17

Tabel 4. menunjukkan perbandingan volume tangki takaran dengan *set point* pada tangki takaran 1 kualitas 1. *Set point* pada tangki takaran 1 yaitu cm sedangkan hasil pengujian tangki takaran 1 rata-ratanya yaitu 10,17 cm. Maka, didapat *error* rata-rata sebesar 0,17 cm dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*. Hal ini disebabkan adanya *error* saat penakaran, dimana *error* tersebut terjadi karena sensor *HC-SR04* mendeteksi adanya riak air pada saat pengujian.

Tabel 5. Hasil pengujian pada tangki takaran 2

Pengujian	Set Point (cm)	Hasil Pengujian (cm)	Error (cm)
Ke-1	10	10,1	0,1
Ke-2	10	10,1	0,1
Ke-3	10	10,1	0,1
Ke-4	10	10,1	0,1
Ke-5	10	10,9	0,09
Σ		50,49	0,49
Rata-Rata		10,098	0,098

Tabel 5. menunjukkan perbandingan volume tangki takaran dengan *set point* pada tangki takaran 2 pada kualitas 1. *Set point* pada tangki takaran 2 yaitu 10 cm sedangkan hasil pengujian tangki takaran rata-rata yaitu 10,098. Maka, didapat *error* rata-rata sebesar 0,098 cm dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*. Hal ini disebabkan adanya *error* saat penakaran, *error* tersebut terjadi karena sensor *HC-SR04* mendeteksi adanya riak air pada saat pengujian.

b. Hasil Pengujian Pada Tangki Takaran Kualitas 2

Tabel 6. Hasil pengujian pada tangki takaran 1

Pengujian	Set Point (cm)	Hasil Pengujian (cm)	Error (cm)
Ke-1	7	6,96	0,04
Ke-2	7	6,96	0,04
Ke-3	7	6,96	0,04
Ke-4	7	6,96	0,04
Ke-5	7	6,96	0,04
Σ		34,8	0,2
Rata-Rata		6,96	0,04

Tabel 6. menunjukkan perbandingan volume tangki takaran dengan *set point* pada tangki takaran 1 pada kualitas 2. *Set point* pada tangki takaran 1 yaitu 7 cm sedangkan hasil pengujian tangki takaran rata-rata yaitu 6,96 cm. Maka, didapat *error* rata-rata sebesar 0,04 cm dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*. Hal ini disebabkan adanya *error* saat penakaran, *error* tersebut terjadi karena sensor *HC-SR04* mendeteksi riak air.

Tabel 7. Hasil pengujian tangki takaran 2

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error (cm)
Ke-1	12	12,1	0,1
Ke-2	12	12	0
Ke-3	12	12	0
Ke-4	12	12	0
Ke-5	12	12,1	0,1
Σ		60,2	0,2
Rata-Rata		12,04	0,04

Set point pada tangki takaran 2 yaitu 12 cm sedangkan hasil pengujian tangki takaran rata-rata yaitu 12,04. Maka, didapat *error* rata-rata sebesar 0,04 cm dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*.

Dari keseluruhan dapat dilihat bahwa hasil volume yang didapat mendekati nilai *set point* yang diinginkan meskipun terdapat *error* rata-rata sebesar 0,08 cm dikarenakan sensor jarak *HC-SR04* mendeteksi adanya gelombang riak pada saat pengujian dengan jarak yang diinginkan tidak sesuai tetapi masih dalam batas toleransi $\pm 1\%$, sehingga dapat disimpulkan metode kontrol *fuzzy tuning-PID* mempunyai peranan penting dalam proses penakaran.

c. Hasil Pengujian pada tangki takaran kualitas 1

Tabel 8. Hasil pengujian hasil akhir cairan pelembut dan pewangi kualitas 1

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error
Ke-1	3000	3240	240
Ke-2	3000	3170	170
Ke-3	3000	3210	210
Ke-4	3000	3170	170
Ke-5	3000	3180	180
Σ		15970	970
Rata-Rata		3194	194

Hasil pengujian didapatkan hasil takaran rata-rata yaitu 3194 ml. *Set point* pada tangki hasil yaitu 3000 ml, dan didapat *error* rata-rata sebesar 194 ml dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*. Perbedaan hasil antara *set point* dengan hasil pengujian dikarenakan masih ada hasil dari proses pengisian pada tangki takaran. Begitu juga pada pengisian tangki hasil masih terdapat *error* dengan toleransi yaitu $\pm 7\%$ dikarenakan masih tertinggal sisa pelembut dan pewangi pakaian di dalam tangki pengaduk.

d. Pengujian Hasil Akhir Cairan Pelembut dan Pewangi Kualitas 2

Tabel 9. Hasil pengujian hasil akhir cairan pelembut dan pewangi kualitas 2

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error
Ke-1	2900	2970	70
Ke-2	2900	2910	10
Ke-3	2900	2910	10
Ke-4	2900	2910	10
Ke-5	2900	2970	70
Σ		14670	170
Rata-Rata		2934	34

Hasil pengujian didapatkan hasil takaran rata-rata yaitu 2934 ml. *Set point* pada tangki hasil yaitu 2900 ml, dan didapat *error* rata-rata sebesar 34 ml dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian sedikit berbeda dengan *set point*. Perbedaan hasil antara *set point* dengan hasil pengujian dikarenakan masih ada hasil dari proses pengisian pada tangki takaran. Begitu pula pada pengisian tangki hasil masih terdapat *error* dengan toleransi yaitu $\pm 2\%$ dikarenakan masih tertinggal sisa pelembut dan pewangi pakaian di dalam tangki pengaduk.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, pembuatan pelembut dan pewangi otomatis berbasis *tuning* parameter PID dengan *fuzzy logic* atmega16 dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya sensor HCSR-04 pada sistem ini berjalan dengan baik dimana error rata-rata sebesar 0,125 cm pada tangki 1 dan 0,25 cm pada tangki 2. Pada penalaan kontroller PID dengan metode trial and error diperoleh gain terbaik dengan gain tersebut adalah $K_p=100$ $K_i=10$ dan $K_d=20$, respon tersebut dapat dilihat pada gambar 14. Hasil pengujian pada proses pengisian takaran dengan lima kali percobaan menggunakan *tuning* parameter PID dengan *fuzzy logic* didapat *error* pada tangki takaran 1 kualitas 1 memiliki *error* sebesar 0,17 cm, tangki takaran 2 kualitas 1 memiliki *error* sebesar 0,098 cm, tangki takaran 2 kualitas 1 memiliki *error* sebesar 0,04 cm, dan tangki takaran 2 kualitas 2 memiliki *error* sebesar 0,04 cm. Didapat rata-rata *error* sebesar 0,087 cm dari hasil yang diinginkan, dengan demikian hasil pengujian melebihi *set point*, hal ini dikarenakan adanya gangguan berupa gelombang air atau riak, menyebabkan *level* yang diinginkan tidak sesuai tetapi masih dalam batas toleransi $\pm 1\%$.

Referensi

- [1]. ---, <http://irmadevita.com/2009/usaha-home-industry-makanan-minuman-dan-obat-obatan/>, Mei 2015.
- [2]. ---, <http://swa.co.id/event/indonesian-customer-satisfaction-award-icsa-2014>, Mei 2015.
- [3]. P. Li, Y. Cai, and J. Li, "An Accurate Detection for Dynamic Liquid Level Based on MIMO Ultrasonic Transducer Array", *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, vol. 64, no. 3, hal. 582, Maret. 2015.
- [4]. -----, Motor Servo, <http://achyarnur.blogspot.com/2013/07/servo-motor-bagian-1-pengenalan-dan.html>, Juli 2015.
- [5]. ---, <http://www.mataharicourse.com/tag/pelembut-pakaian>, Juli 2015.
- [6]. Setiawan, Iwan, *Kontrol PID Untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [7]. Sutojo, T, dkk, "*Kecerdasan Buatan*", ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [8]. Setiawan, Iwan, "*Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot*", <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Juni 2009.
- [9]. Gang Feng, "*Analysis and Synthesis of Fuzzy Control Systems: A Model-Based Approach*", CRC Press, USA, 2010.
- [10]. Jun Yan, Michael Ryan and James Power, "*Using Fuzzy Logic*", Prentice Hall, New York, 1994.
- [11]. Ogata, Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*", diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [12]. -----, *ATmega16 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>, Juli 2015.
- [13]. -----, Sensor Ultrasonic HC-SR04, <http://christianto.tjahyadi.com/belajar-mikrokontroler/sensor-ultrasonik-hc-sr04.html>, Mei 2015.
- [14]. -----, *Relay*, <http://www.oddwires.com/>, Juli 2015.
- [15]. Wicaksono, Hendry, "*Catatan Kuliah Automasi 1*", Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2012.
- [16]. -----, *Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual*, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [17]. Huaguang Zhang, Derong Liu, "*Fuzzy Modelling and Fuzzy Control*", Birkhauser, Boston, USA, 2006
- [18]. Ogata, Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*", diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.