

APLIKASI FIS MODEL SUGENO PADA PENGENDALIAN VALVE UNTUK MANGATUR TINGGI LEVEL AIR

Wahyudi, Iwan Setiawan, dan Martina Nainggolan *)

Abstract

Fuzzy control is one of the controller alternative using expert system (human being logic) as controller so that do not need knowledge concerning parameter of systems. Fuzzy control also have ability of light computing. This paper goal is making a Fuzzy control and observe the response of the plant had been controlled. The experiment's purpose is to show the performance of Fuzzy control in control valve system in order to liquid level controlling on-linely. Water level controlled by opening the load valve in the hold tank. The project experiment's include examination conduct logic of Fuzzy program of Codevision AVR, examination of system at some references, examination the changing of liquid level reference, and examination of system with the influence of disturbance. From the test, it is known that Fuzzy control with AVR ATmega8535 can yield eliminate offset in arranging opening of valve. Offset in examination of system at some references are 0,4 cm , 0,02 cm , 0,17 cm, 0,11 cm, and 0,54 cm. Offset in examination the changing of liquid levels are 0,07 cm, 0,02 cm, and 0,04 cm.

Keywords : liquid level, valve, Fuzzy control, and ATmega8535

Pendahuluan

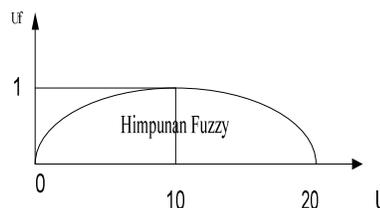
Perkembangan teknologi yang semakin pesat telah membawa banyak pengaruh dalam berbagai aspek kehidupan terutama dibidang industri. Di dalam industri, sangat dibutuhkan sistem kendali yang baik untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Masalah yang seringkali muncul adalah tidak diketahuinya tangki penampung cairan tersebut kosong atau sudah penuh. Kalau tangki tersebut sudah penuh seringkali cairan di dalamnya meluap karena *valve* (katup) pada pipa pengisian tidak ditutup sehingga akan mengisi tangki terus-menerus.

Sistem kendali Fuzzy merupakan salah satu alternatif sistem kendali yang sederhana, dimana pada sistem kendali Fuzzy tidak memerlukan pengetahuan tentang parameter-parameter dari sistem. Sinyal kontrol diperoleh dari *error* (kesalahan) yaitu perbedaan antara keluaran terharap dengan keluaran dari sistem, selain itu terdapat pula masukan yang berupa perubahan *error* sistem yang merupakan selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya.

Pearancangan suatu sistem pengendalian tinggi muka cairan dengan cara mengatur bukaan valve, memanfaatkan mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontroler, dan logika Fuzzy sebagai metode pengendali. Kendali Fuzzy yang digunakan adalah dengan model Sugeno. Keluaran dari kendali logika Fuzzy akan mengatur posisi membuka atau menutupnya *valve*, sehingga level cairan dalam tangki dapat dikendalikan.

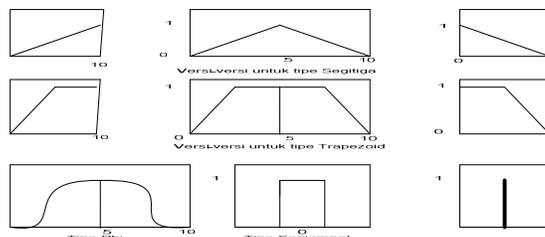
Sistem kendali logika Fuzzy

Logika Fuzzy dikenalkan oleh L.A. Zadeh pada tahun 1965, dengan mengembangkan teori himpunan logika biner. Logika biner hanya mengenal dua macam kondisi yaitu "1" dan "0", sehingga terdapat batasan yang tegas. L.A. Zadeh kemudian memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1 atau ditulis [0 1], seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1 Himpunan Fuzzy.

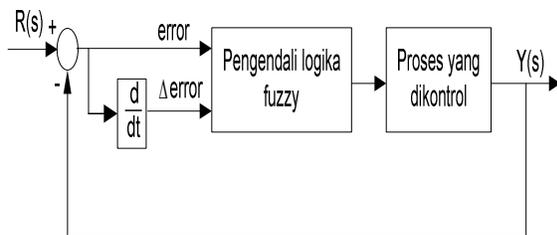
Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (atau sering disebut dengan derajat keanggotaan).



Gambar 2 Berbagai tipe fungsi keanggotaan.

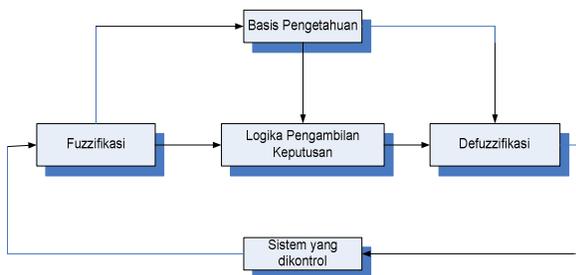
*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Ada beberapa macam bentuk kurva yang sering digunakan untuk menyatakan derajat keanggotaan pada suatu sistem Fuzzy, antara lain bentuk kurva S (*Shape*), segitiga, trapesium, dan sebagainya. Bentuk-bentuk kurva yang sering digunakan untuk menunjukkan fungsi keanggotaan antara lain terlihat pada Gambar 2. Pengendali Fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana masukan, keluaran, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia. Pengendali logika Fuzzy tidak memerlukan model matematis dari proses yang dikendalikan. Blok sistem loop tertutup dengan kendali logika Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem loop tertutup dengan kendali Fuzzy.

Gambar 3 menunjukkan dua masukan *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. Struktur dasar pengendali logika Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 4.

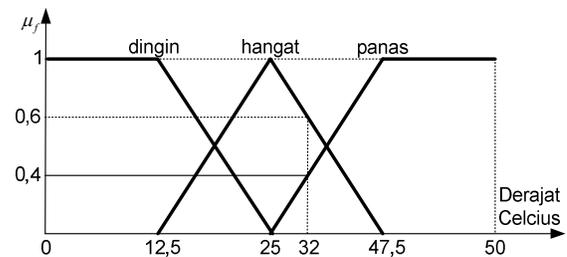


Gambar 4 Struktur dasar pengendali logika Fuzzy.

Struktur dasar pengendali logika Fuzzy meliputi empat bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan, dan defuzzifikasi.

Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah masukan *crisp* yang bersifat bukan Fuzzy ke dalam himpunan Fuzzy. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan Fuzzy.

Proses fuzzifikasi dapat diperlihatkan pada contoh berikut ini, jika suhu air merupakan suatu variabel linguistik, dengan nilai linguistik $T(\text{suhu}) = \{\text{dingin, hangat, panas}\}$, dimana semesta pembicaraannya terletak antara suhu 0°C sampai dengan suhu 50°C , dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga diperlihatkan pada Gambar 5.



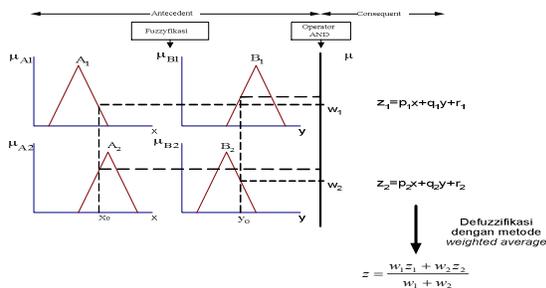
Gambar 5 Fuzzifikasi variabel masukan.

Jika masukan adalah suhu sebesar 32°C , maka fuzzifikasi menghasilkan nilai linguistik dingin dengan derajat keanggotaan 0, hangat dengan derajat keanggotaan 0,6, dan panas dengan derajat keanggotaan 0,4. Syarat jangkauan masukan untuk fuzzifikasi adalah berada dalam semesta pembicaraan Fuzzy.

Basis pengetahuan berisi pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan oleh perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan Fuzzy.

- Basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan dan keluaran, penentuan semesta pembicaraan dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran.
- Basis aturan kendali Fuzzy digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan Fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'JIKA-MAKA' atau 'IF-THEN' yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan Fuzzy.

Mekanisme proses pengambilan keputusan dengan metode Sugeno ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6 Proses pengambilan keputusan metode Sugeno.

Pengambilan keputusan dengan metode Sugeno dilakukan setelah proses fuzifikasi yang diolah berdasarkan basis aturan yang telah dibuat. Langkah selanjutnya, kedua masukan diproses dengan operator AND yang akan mengambil nilai paling minimal dari keduanya. Implikasi MIN akan memotong derajat keanggotaan variabel keluaran pada nilai keluaran setelah melalui operator AND. Setelah semua aturan Fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai maksimal dari masing-masing fungsi keanggotaan variabel keluaran.

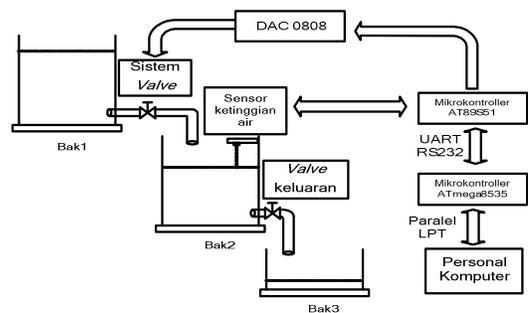
Defuzzifikasi adalah proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam himpunan Fuzzy ke sinyal yang berbentuk *crisp*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode rata-rata terbobot (*weighted average*). Pada metode rata-rata terbobot, nilai keluaran tegas diperoleh dari jumlah hasil kali keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran dengan nilai parameter pada sumbu z dibagi dengan jumlah keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran. Rumus metode defuzzifikasi rata-rata terbobot adalah sebagai berikut :

$$KeluaranCrisp = \frac{\sum_i (Keluaranfuzzy) \times (Nilai\ parameter\ pada\ sumbu\ z_i)}{\sum_i (Keluaranfuzzy_i)} \quad (1)$$

Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol.

Plant pengendali tinggi muka cairan

Perangkat keras yang digunakan yaitu sistem pengaturan tinggi muka cairan yang meliputi beberapa rangkaian, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Plant dan perangkat keras kendali level cairan.

Secara umum perangkat keras yang digunakan pada sistem pengaturan ketinggian air ini terdiri atas :

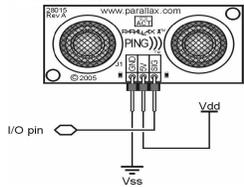
1. Bak air.
Pada sistem ini terdapat tiga buah bak air, bak 2 merupakan bak yang diatur ketinggian airnya.
2. Sistem sensor ketinggian air.
Sensor yang digunakan berupa sensor ultrasonik.
3. Mikrokontroler AT89S51.
Untuk mengendalikan besarnya debit air yang akan dialiri ke bak 2 serta mengakses sensor PING untuk membaca ketinggian air.
4. Mikrokontroler ATmega8535.
Data input ketinggian air diterima dari mikrokontroler AT89S51 kemudian dilakukan proses kendali Fuzzy. Data hasil perhitungan ini diberikan pada mikrokontroler AT89S51 untuk mengatur besarnya bukaan *valve*. Komunikasi antar mikrokontroler secara serial UART. Data ketinggian air juga diberikan secara paralel ke komputer sebagai monitoring.
5. Komputer.
Sebagai unit monitoring yang digunakan untuk keperluan analisis.
6. DAC.
Untuk mengubah sinyal kendali digital dari mikrokontroler AT89S51 menjadi sinyal analog untuk menggerakkan *valve*.
7. Sistem *valve*.
Valve pengaturan keluarnya air antara bak 1 dan bak 2 yang merupakan sistem *valve* dengan penggerak motor DC.

Secara umum *plant* pengukuran ketinggian air sebagai berikut:

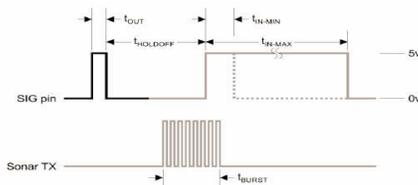
1. Ketinggian sensor dari dasar air adalah 64 cm.
2. Ketinggian air minimum yang dapat diukur adalah 14,3 cm, apabila lebih rendah maka dianggap 14,3 cm.
3. Ketinggian air maksimum yang dapat diukur adalah 45 cm, apabila lebih tinggi maka dianggap 45 cm.

- Mikrokontroler mengukur jarak antara sensor dengan permukaan pelampung dan dikirim ke komputer.

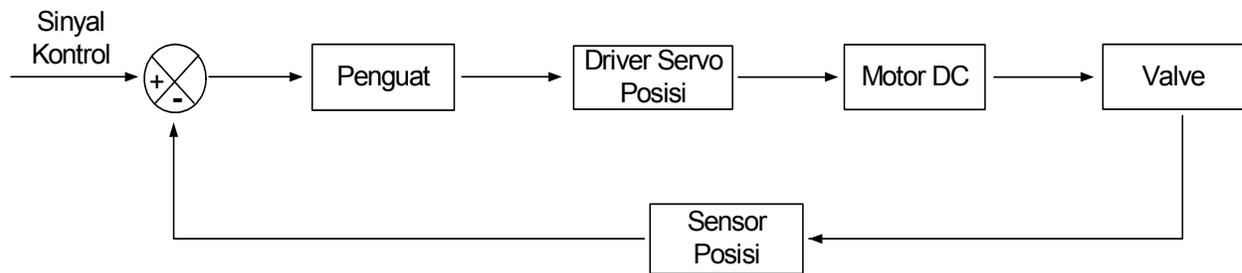
Gambar 8 menunjukkan sensor ultrasonik beserta diagram pewaktuannya.



(a) Sensor ping *Ultrasonic Range Finder*.



Blok diagram sistem *valve* dengan penggerak motor DC dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Sistem *valve* dengan penggerak motor DC.

Pengontrolan pada *plant* kendali level cairan ini dilakukan pada *valve* 1 yang merupakan *valve* antara bak air 1 dan bak air 2. *Valve* yang digunakan untuk mengendalikan, menggunakan penggerak motor DC berdasarkan prinsip servoposisi. Motor servo ini bergerak sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan oleh *plant* berdasarkan referensi ketinggian yang diinginkan.

Mikrokontroler AT89S51 berfungsi mengirim data ke DAC dan membaca ketinggian air dengan sensor ultrasonik. IC RS232 sebagai rangkaian *interface* antara AT89S51 dan ATmega8535. Mikrokontroler AT89S51 juga digunakan untuk memberikan sinyal picu bagi sensor dan mengukur jarak yang sebanding dengan lebar pulsa.

Perancangan sistem pengendali

Diagram blok kendali logika Fuzzy dan pengontrol *valve* ditunjukkan pada Gambar 10.

(b) Diagram pewaktuannya sensor Ping.

Gambar 8 Sensor Ping dan diagram pewaktuannya.

Memulai pengukuran sensor perlu dipicu dengan sinyal *high* selama t_{OUT} , kemudian menunggu selama $t_{HOLDOFF}$, sensor memancarkan sinyal ultrasonik dan siap untuk menerima kembali sinyal pantulan. Waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik mulai dari dipancarkan sampai diterima kembali menentukan besarnya jarak. Secara matematis besarnya jarak dapat dihitung sebagai

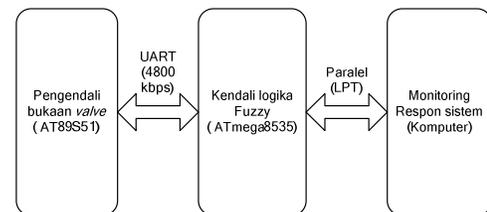
$$\text{berikut: } s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

dimana :

s = jarak (meter)

v = kecepatan suara (344 m/detik)

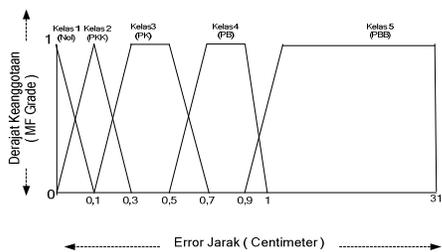
t = waktu tempuh (detik)



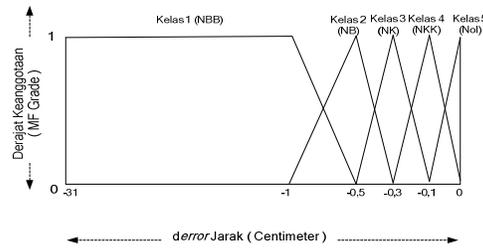
Gambar 10 Diagram blok kendali logika Fuzzy dan pengontrol *valve*.

Rangkaian utama pada pengendali tinggi muka cairan terdiri dari rangkaian kendali logika Fuzzy menggunakan ATmega8535, rangkaian pengontrol bukaan *valve* menggunakan AT89S51, dan komputer sebagai perangkat monitoring.

Kendali Fuzzy dirancang dengan dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran seperti diperlihatkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

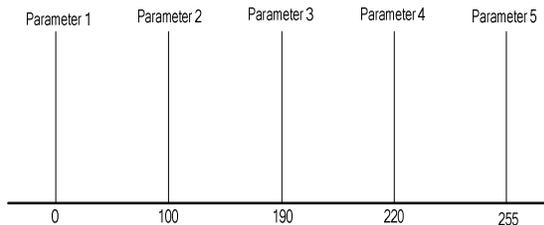


(a) Perancangan fungsi keanggotaan *error*



(b) Perancangan fungsi keanggotaan perubahan *error*

(c) perubahan *error*
Gambar 11 Perancangan fungsi keanggotaan masukan.



Gambar 12 Nilai konstanta yang mewakili tingkat bukaan *valve*.

Masukan tersebut diolah melalui proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi sehingga menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan *plant*. Proses kendali Fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*). Kendali Fuzzy pada yang dirancang dengan menggunakan 25 aturan seperti pada Gambar 13.

		error				
		N	PKK	PK	PB	PBB
Perubahan error	N	N	K	S	B	M
	NKK	N	K	S	B	M
	NK	N	K	S	B	M
	NB	K	S	B	M	M
	NBB	K	S	B	M	M

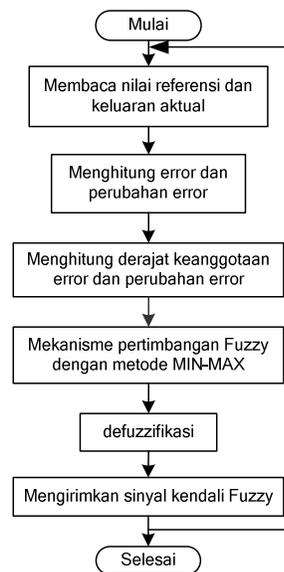
Keterangan:
 N : Nol (parameter 1) K : Kecil (parameter 2)
 NKK : Negatif Kecil Kecil S : Sedang (parameter 3)
 NK : Negatif Kecil B : Besar (parameter 4)
 NB : Negatif Besar M : Maksimal (parameter 5)
 NBB : Negatif Besar Besar
 PKK : Positif Kecil Kecil
 PK : Positif Kecil
 PB : Positif Besar
 PBB : Positif Besar Besar

Gambar 13 Aturan Fuzzy.

Eksekusi aturan diproses menggunakan fungsi implikasi MIN yang akan mengambil nilai paling minimal dari kedua masukan. Setelah semua aturan Fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai maksimal dari masing-masing derajat keanggotaan variabel keluaran, sehingga didapatkan nilai keluaran yang masih berupa himpunan Fuzzy.

Proses selanjutnya adalah defuzzifikasi, yaitu mengubah nilai keluaran berupa himpunan Fuzzy menjadi nilai keluaran yang berupa data *crisp*. Proses defuzzifikasi dirancang dengan menggunakan metode rata-rata terbobot (*weighted average*).

Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy terlihat pada Gambar 14.

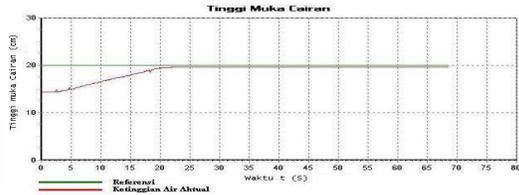


Gambar 14 Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy.

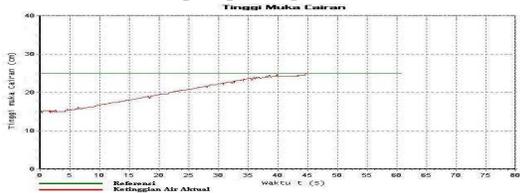
Program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan oleh *operator* dan nilai keluaran aktual ketinggian air, kemudian menghitung *error* dan perubahan *error* sebagai masukan Fuzzy. Langkah selanjutnya, menghitung derajat keanggotaan *error* dan perubahan *error* tersebut. Nilai derajat keanggotaan tersebut akan menghasilkan suatu nilai keluaran setelah melalui logika pengambilan keputusan Fuzzy hingga didapatkan nilai keluaran yang masih berbentuk himpunan Fuzzy, maka dilakukan proses defuzzifikasi untuk menghasilkan keluaran berbentuk himpunan tegas. Selanjutnya, mengirimkan sinyal kendali Fuzzy yang telah diperoleh ke mikrokontroler AT89S51 untuk mengontrol ketinggian air.

Pengujian sistem

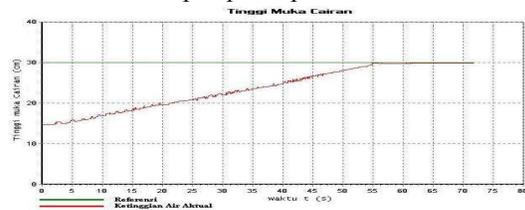
Pengujian sistem pada variasi nilai referensi dilakukan dari 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm dan yang terakhir 40 cm dengan ketinggian awal 15 cm. Respon tiap-tiap ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19.



Gambar 15 Respon *plant* pada referensi 20 cm.



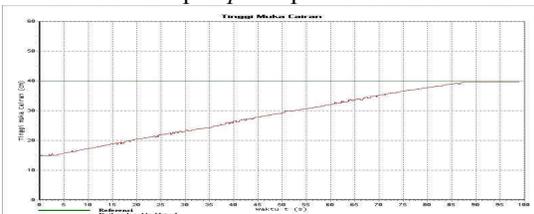
Gambar 16 Respon *plant* pada referensi 25 cm.



Gambar 17 Respon *plant* pada referensi 30 cm.



Gambar 18 Respon *plant* pada referensi 35 cm.



Gambar 19 Respon *plant* pada referensi 40 cm.

Pada referensi 20 cm memiliki waktu naik dan waktu penetapan yang paling cepat yaitu 21,8 detik dan 22 detik, tetapi memiliki selisih tunak cukup besar yaitu 0,4 cm (ketinggian air stabil pada 19,6 cm atau 0,4 cm di bawah referensi). Saat referensi 25 cm, waktu naik 38,5 detik, waktu penetapan 44,7 detik dan memiliki selisih tunak yang paling kecil yaitu sebesar 0,02 cm (keting-

gian air stabil pada 25,02 cm atau 0,02 cm di atas referensi). Saat referensi 30 cm memiliki waktu naik 54,9 detik dan waktu penetapan 61,3 detik, dan memiliki selisih tunak sebesar 0,17 cm (ketinggian air stabil pada 29,83 cm atau 0,17 cm di bawah referensi). Pada saat referensi 35 cm memiliki waktu naik 69,6 detik, waktu penetapan 84,79 detik, dan selisih tunak yang cukup kecil yaitu sebesar 0,11 cm (ketinggian air stabil pada 34,89 cm atau 0,11 cm di bawah referensi). Pada referensi 40 cm, waktu naik 86,79 detik, waktu penetapan 87,19 detik, dan memiliki selisih tunak yang paling besar yaitu 0,54 cm (ketinggian air stabil pada 39,46 cm atau 0,54 cm di bawah referensi). Dari kelima hasil pengujian pada beberapa referensi dapat disimpulkan bahwa kendali Fuzzy bekerja secara optimal adalah pada saat referensi pada ketinggian 25 cm sampai dengan 35 cm. Hal ini dikarenakan respon pada referensi 25 cm – 35 cm memiliki waktu naik dan waktu penetapan cukup kecil daripada respon pada referensi lainnya, dan memiliki selisih tunak yang kecil. Kendali Fuzzy bekerja paling optimal pada saat referensi 25 cm karena memiliki waktu naik, waktu penetapan dan selisih tunak yang paling kecil diantara kelima referensi yang di uji.

Penurunan nilai referensi dilakukan tiap 5 cm, yaitu dari ketinggian awal 35 cm dengan nilai referensi 30 cm, lalu ketinggian awal 30 cm dengan nilai referensi 25 cm, dan yang terakhir ketinggian awal 25 cm dengan nilai referensi 20 cm. Penurunan nilai referensi berarti pengurangan jumlah air pada bak penampungan yang dilakukan dengan cara membuka keran pada bak 2, sebesar 1/4 bukaan penuh. Pada Gambar 20 memperlihatkan ketinggian awal 35 cm dengan nilai referensi 30 cm.

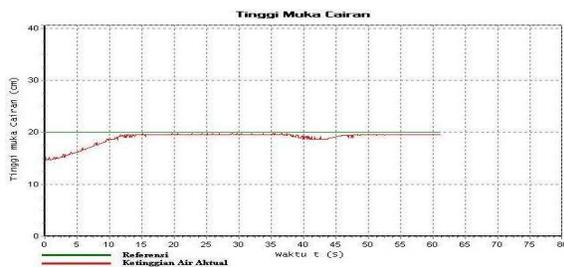


Gambar 20 Respon *plant* pada ketinggian awal 35 cm turun menjadi 30 cm.

Pada referensi 30 cm dengan ketinggian awal 35 cm memiliki waktu naik 42,4 detik, waktu penetapan 43,4 detik, dan selisih tunak 0,07 cm. Saat referensi 25 cm dengan ketinggian awal 30 cm, waktu naik 47,2 detik, waktu penetapan 48,6 detik, dan selisih tunak 0,02 cm. Saat referensi 20 cm dengan ketinggian awal 25 cm memiliki waktu naik 56,1 detik, waktu penetapan 58,7 detik, dan selisih tunak 0,04 cm. Dapat disimpulkan bah-

wa penggunaan Kendali logika Fuzzy, tidak berpengaruh secara signifikan pada respon sistem dengan referensi turun. Kendali Fuzzy akan memberikan sinyal kontrol sesuai dengan besarnya masukan yaitu *error* dan perubahan *error* yang telah diolah pada kendali logika Fuzzy. Pada saat selisih antara referensi dan ketinggian air tinggi, keran pada bak 2 akan dibuka secara manual seperempat bukaan penuh dan kondisi *valve* yang dikontrol menutup. Jika ketinggian air telah mendekati referensi maka *valve* akan membuka secara linier sebanding dengan besarnya *error*, sehingga ketinggian air dalam keadaan stabil pada referensi yang diberikan.

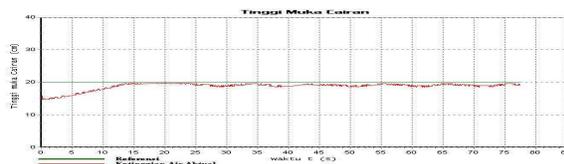
Gangguan sesaat dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 sebesar $\frac{1}{2}$ bukaan penuh selama 35 detik sampai 45 detik. Grafik respon pengujian gangguan sesaat ditunjukkan pada Gambar 21.



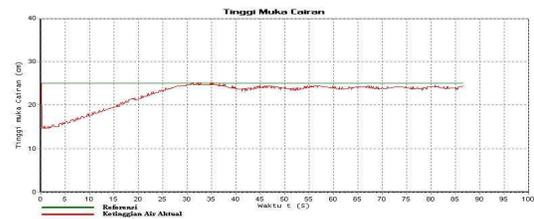
Gambar 21 Respon *plant* pengaruh pemberian gangguan sesaat pada referensi 20 cm.

Pengujian gangguan sesaat dilakukan dengan 4 variasi masukan referensi, yaitu referensi 20 cm, 25 cm, 30 cm dan 35 cm. Saat referensi 20 cm terjadi penurunan ketinggian 0,48 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 8,4 detik dengan besarnya selisih tunak 0,52 cm. Saat referensi 25 cm terjadi penurunan ketinggian 0,96 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9,9 detik dengan besarnya selisih tunak 0,79 cm. Saat referensi 30 cm terjadi penurunan ketinggian 1,08 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9 detik dengan besarnya selisih tunak 0,05 cm. Saat referensi 35 cm terjadi penurunan ketinggian 1,57 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9,69 detik dengan besarnya selisih tunak 0,47.

Gangguan kontinyu dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 secara terus-menerus. Respon gangguan kontinyu ditunjukkan pada Gambar 22.



(a) Respon pada referensi 20 cm.



(b) Respon pada referensi 25 cm.

Gambar 22 Gangguan kontinyu 1/3 bukaan penuh.

Gambar 30 menunjukkan respon sistem dengan gangguan 1/3 bukaan penuh secara kontinyu. Pengujian dilakukan dengan 2 variasi referensi, yaitu pada referensi 20 cm dan 25 cm. Saat referensi 20 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,36 cm dengan waktu pemulihan 8,9 detik, dan selisih tunak 0,88 cm. Saat referensi 25 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,36 cm dengan waktu pemulihan 22,99 detik, dan ketinggian akhir pada kondisi stabil 24,05 cm, sehingga besarnya selisih tunak 0,95 cm. Setelah dilakukan pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi air (referensi), maka gangguan akan semakin besar dan sistem akan sulit mencapai kondisi stabil.

Penutup

Dari hasil pengujian sistem yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian dengan nilai referensi tetap, mampu menghasilkan respon yang baik dibanding saat sistem diberi gangguan, hal ini didukung dengan nilai selisih tunak yang dihasilkan yaitu 0,4 cm untuk referensi 20 cm, 0,02 cm untuk referensi 25 cm, 0,17 cm untuk referensi 30 cm, 0,11 cm untuk referensi 35 cm dan 0,54 untuk referensi 40 cm dari ketinggian awal 15 cm.
2. Pengujian pada referensi turun menunjukkan bahwa sistem akan mempertahankan ketinggian sesuai dengan nilai referensi yang diberikan meskipun ketinggian air mengalami penurunan, hal ini didukung dengan nilai selisih tunak yang dihasilkan yaitu 0,07 cm untuk referensi 30 cm dari ketinggian awal 35 cm, 0,02 cm untuk referensi 25 cm dari ketinggian awal 30 cm, dan 0,04 cm untuk referensi 20 cm dari ketinggian awal 25 cm.
3. Pengujian dengan gangguan sesaat, semakin tinggi nilai referensi maka penurunan ketinggian akan semakin besar dan waktu pemulihan akan semakin lama, hal ini dikarenakan semakin tinggi air maka akan semakin besar pula tekanan yang dihasilkan, sehingga air yang keluar akan semakin banyak.
4. Pengujian dengan gangguan kontinyu, besarnya ketinggian air (referensi) sangat berpengaruh pada nilai akhir ketinggian air, dimana ketinggian akhir tidak dapat mencapai nilai referensi.

Daftar Pustaka

1. Hadi, W.I., 2006, "Pengaturan Valve Dengan Jaringan Syaraf Tiruan B-Spline Untuk Mengatur Ketinggian Air Pada Bak Penampung Air Secara On-Line", Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang.
2. Kusumadewi, S., 2002, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy", GRAHA ILMU Yogyakarta.
3. Magori, Valentin, 1994, "Ultrasonic Sensor in Air, Corporate Research and Development, Siemens AG", Munich, Germany.
4. Wardhana Lingga, 2006, "Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi Hardware dan Aplikasi", Penerbit Andi, Yogyakarta.
5. Widodo S Thomas, 2005, "Sistem Neuro Fuzzy", Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005.
6. -----, 2003, "ATmega8535 Data Sheet", <http://www.atmel.com/avr/8535>.
7. -----, "Materi tentang sensor ultrasonik secara umum" (www.paralax.com).