

KESTABILAN KETINGGIAN LEVEL AIR PADA BEJANA PENAMPUNG MENGUNAKAN ANFIS (ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEMS) BERBASIS ARDUINO

Budi Setiadi
Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung
E-mail: budi_kendali2003@yahoo.com

Abstrak

Konsep bejana penampung air sama halnya seperti bendungan pada sebuah pembangkit listrik tenaga air. Dimana ketinggian air harus stabil di level tertentu (set point). Pada penelitian ini dibuat sebuah prototipe sistem bejana penampung yang dapat menjaga kestabilan level air, pada saat bejana di aliri aliran air terus menerus. Adapun sistem kontrolnya menggunakan algoritma ANFIS yang ditanam di mikrokontroler Arduino-UNO. Sebagai parameter masukan ANFIS untuk menjaga kestabilan level air dengan batasan ketinggian yang ditentukan (set point) digunakan sensor ultrasonik (jenis PING). Sedangkan parameter keluarannya menggunakan katup yang terhubung dengan motor servo. Motor servo berfungsi untuk membuka-menutup katup air sehingga dapat mengatur intensitas air pada bejana agar ketinggian air dapat disesuaikan dengan set point. Dengan menggunakan ANFIS sistem akan bersifat adaptif dan ketinggian air pada bejana dapat dikendalikan sesuai batasan standar pengukuran serta menghasilkan respon dan tingkat keakuratan sangat baik.

Kata kunci : ANFIS, Ultrasonik, Servo, PWM, dan Ketinggian Air

1. Pendahuluan

Kestabilan level air didalam sebuah sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTMH/pembangkit listrik tenaga mikro hidro) merupakan salah satu bagian yang perlu diperhatikan. Dikarenakan ketinggian air berpengaruh terhadap kecepatan dan tekanan keluaran air. Sehingga dapat berpengaruh terhadap keluaran frekuensi dan daya. Pada penelitian ini, dibuat sebuah sistem menyerupai sistem tersebut, dengan memodelkan menjadi prototipe berupa bejana penampung. Sensor ultrasonik PING difungsikan sebagai masukan sistem, yang bekerja dengan memanfaatkan pantulan suara dan diubah menjadi informasi jarak. Data informasi jarak tersebut disalurkan ke mikrokontroler Arduino-UNO. Selanjutnya informasi jarak tersebut dibandingkan terhadap nilai set point yang telah ditentukan. Keluaran hasil perbandingan ini berupa error, yang nantinya digunakan untuk masukan algoritma ANFIS. Data hasil pengolahan algoritma ANFIS tersebut diubah menjadi PWM untuk mengendalikan kinerja motor servo sebagai

pengontrol katup air. Analisis dalam penelitian ini menjelaskan peran sensor ultrasonik PING dalam mengendalikan gerak motor servo menggunakan algoritma ANFIS dengan arsitektur satu masukan. Adapun tujuannya adalah melihat respon, dan kestabilan ketinggian level air menggunakan algoritma ANFIS alur maju.

2. Landasan Teori

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai definisi, pengertian, istilah dan teori yang mendukung penelitian ini.

2.1 ANFIS

Jaringan neural adalah struktur jaringan dimana keseluruhan tingkah laku masukan-keluaran ditentukan oleh sekumpulan parameter-parameter yang dimodifikasi. Salah satu struktur jaringan neural adalah *multilayer perceptrons* (MLP). Jenis jaringan ini khusus bertipe umpan maju. MLP telah diterapkan dengan melatihnya menggunakan algoritma propagasi balik dari kesalahan atau *error backpropagation* (EBP). Selanjutnya, sistem fuzzy dapat melukiskan

suatu sistem dengan pengetahuan linguistik yang mudah dimengerti. Sistem inferensi fuzzy dapat ditala dengan algoritma propagasi balik berdasarkan pasangan data masukan-keluaran menggunakan arsitektur jaringan neural.

Menurut Jang (1997:226) jaringan neural adalah struktur jaringan dimana keseluruhan tingkah laku masukan-keluaran ditentukan oleh sekumpulan parameter-parameter yang dimodifikasi. Salah satu struktur jaringan neural adalah *multilayer perceptrons* (MLP). Jenis jaringan ini khusus bertipe umpan maju. MLP telah diterapkan dengan sukses untuk menyelesaikan masalah-masalah yang sulit dan beragam dengan melatihnya menggunakan algoritma propagasi balik dari kesalahan atau *error backpropagation* (EBP). Selanjutnya, sistem fuzzy dapat melukiskan suatu sistem dengan pengetahuan linguistik yang mudah dimengerti. Sistem inferensi fuzzy dapat ditala dengan algoritma propagasi balik berdasarkan pasangan data masukan-keluaran menggunakan arsitektur jaringan neural. Dengan cara ini memungkinkan sistem fuzzy dapat belajar. Menurut Jang (1997:1,458) Gabungan sistem fuzzy dengan jaringan neural ini biasa disebut dengan neuro-fuzzy.

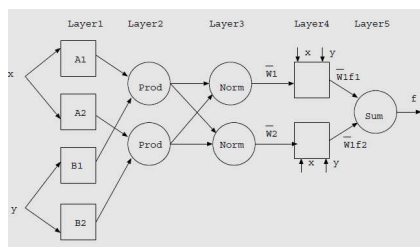
Menurut Rahmat (2000:6) ada dua macam struktur neuro-fuzzy yaitu:

- a. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS).
- b. *Modified Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (Mod_ANFIS).

Sistem neuro-fuzzy yang digunakan pada penelitian inii berstruktur ANFIS. Termasuk dalam kelas jaringan neural namun berdasarkan fungsinya sama dengan system inferensi fuzzy. Pada neuro-fuzzy, proses belajar pada jaringan neural dengan sejumlah pasangan data berguna untuk memperbaharui parameter-parameter system inferensi fuzzy.

2.1.1 Arsitektur ANFIS

Arsitektur ANFIS terdiri atas lima layer, seperti terlihat pada Gambar 2.1 dibawah.



Gambar 2.1 Arsitektur ANFIS

Layer ke-1 yang diwakili titik A dan B menunjukkan nilai derajat keanggotaan dari linguistik masukan x dan y. Penentuan nilai derajat keanggotaan dapat menggunakan himpunan *general Bell, gaussian, segitiga, trapesium*. Penentuan nilai di layer ini disebut **parameter premis**.

$$O1, i = \mu_{Ai}(x) \text{ untuk } i = 1, 2, \text{ atau } \dots \text{pers(1)}$$

$$O1, i = \mu_{Bi-2}(x) \text{ untuk } i = 3, 4$$

Layer ke-2 merupakan nilai minimum (AND) antara linguistik A dan B dari layer ke-1.

$$O2, i = w_i = \mu_{Ai}(x) * \mu_{Bi}(y), i = 1, 2 \dots \text{pers(2)}$$

Layer ke-3 merupakan nilai normalisasi dari layer ke-2.

$$O3, i = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \dots \text{pers(3)}$$

Layer ke-4 merupakan perhitungan layer adaptife. Karena selain perubahan nilai dari layer ke-3 dipengaruhi juga oleh nilai masukan x dan y.

$$O4, i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(px + qy + r) \dots \text{pers(4)}$$

Dimana pi, qi, ri adalah himpunan **parameter konsekuen**.

Layer ke-5 merupakan penjumlahan dari keseluruhan layer.

$$O5, i = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{w_i} \dots \text{pers(5)}$$

2.1.2 Proses Belajar ANFIS

Menurut Jang (1997:340) ANFIS dalam kerjanya mempergunakan algoritma belajar hibrida, yaitu menggabungkan metode *Least-Squares Estimator* (LSE) dan *Error Back-Propagation* (EBP). Metode LSE dilakukan maju dari layer ke-1 sampai layer ke-5. Sedangkan metode EBP dilakukan mundur dari layer ke-5 sampai layer ke-1.

Pada layer ke-4, parameter merupakan parameter *linier* terhadap keluaran sistem, yang menyusun basis kaidah fuzzy. Proses belajar untuk memperbaharui parameter di lapisan ini menggunakan metode LSE. Sedangkan layer ke-1 parameternya merupakan parameter dari fungsi keanggotaan himpunan fuzzy sifatnya *non-linier* terhadap keluaran sistem. Proses belajar pada parameter ini menggunakan metode EBP untuk memperbaharui nilai parameternya. Menurut Jang (1997:340) secara keseluruhan proses belajar pada ANFIS dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah.

Tabel 2.1. Proses belajar ANFIS

	Forward	Backward
Parameter Premis	Tetap	EBP
Parameter Konsekuen	LSE	Tetap
Sinyal	Output node	Error Signal

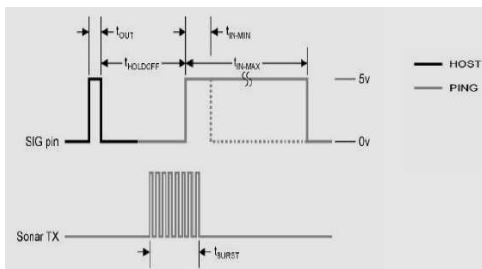
2.2 Ultrasonik

Modul ultrasonik PING adalah alat elektronika yang memiliki kemampuan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gelombang [suara](#) ultrasonik, seperti terlihat pada Gambar 2.2 dibawah. Sensor ini terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik yang dinamakan transmitter dan penerima ultrasonik yang dinamakan receiver. Modul ini digunakan untuk mengukur kecepatan suara gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik yang memiliki longitudinal dan [frekuensi](#) 40 Khz. Kelebihan sensor ini adalah hanya membutuhkan 1 sinyal (SIG) selain jalur 5 v dan ground.



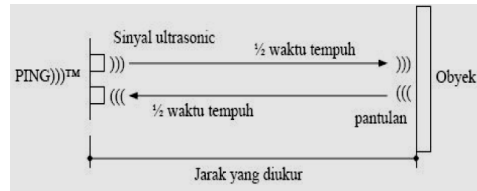
Gambar 2.2 Ultrasonik PING

Sensor PING mendeteksi jarak obyek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama tBURST (200 μs) kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor PING memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa *trigger* dengan tOUT min. 2 μs). Gelombang ultrasonik memiliki cepat rambat suara di udara dengan kecepatan 344 meter per detik, mengenai obyek dan memantul kembali ke sensor. PING mengeluarkan pulsa *output high* pada pin SIG setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi PING akan membuat *output low* pada pin SIG, seperti terlihat pada Gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2.3 Diagram Waktu Ultrasonik PING

Lebar pulsa High (tIN) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2x jarak ukur dengan obyek. Maka jarak yang diukur adalah $[(tIN \text{ s} \times 344 \text{ m/s}) \div 2]$ meter, seperti terlihat pada Gambar 2.4 dibawah.



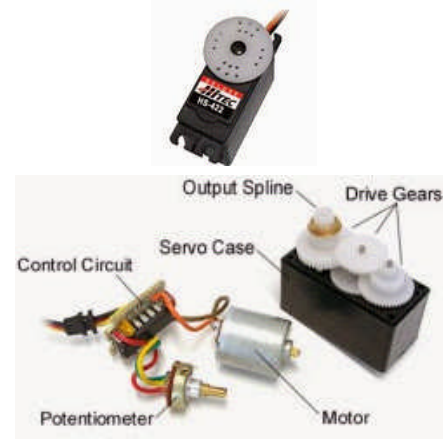
Gambar 2.4 Jarak Ukur Ultrasonik PING

2.3 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor.

Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol loop tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Berikut bentuk fisik dari motor servo seperti terlihat pada Gambar 2.5 di bawah.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik Motor Servo

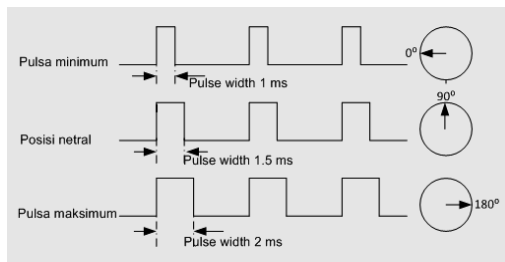
Dilihat dari jenis sumbernya motor servo terdiri atas motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil.

Dilihat dari jenis rotasinya, motor servo terdiri atas motor servo standar dan kontinu.

- Motor servo standard (servo rotation 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros outputnya terbatas hanya dan -90° kearah kiri dan $+90^{\circ}$ kearah kanan. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 0° s/d 180° .
- Motor servo rotation continuous merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standard, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Prinsip kerja motor servo motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (Pulse Wide Modulation / PWM) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros (motor servo standar) dan menentukan arah serta kecepatan (motor servo kontinu).

Contoh PWM motor servo standar, lebar pulsa dengan waktu 1 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 0° . Bila pulsa lebih 1 ms dan tepat 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 90° , sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms dan tepat 2 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° . Berikut bentuk pulsa PWM untuk motor servo seperti terlihat pada Gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2.6 Sudut PWM Motor Servo

Contoh PWM motor servo kontinu, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan membuat poros motor servo berhenti (stop). Bila pulsa kurang 1,5 ms motor servo akan berputar kekiri, semakin kecil nilai pulsa (mendekati 1 ms) maka semakin cepat putaran poros servo. Sebaliknya, apabila pulsa lebih 1,5 ms motor servo akan berputar kekanan, semakin besar nilai pulsa (mendekati 2 ms) maka semakin cepat putaran poros servo.

2.4 Arduino

Arduino Uno adalah sebuah platform komputasi fisik berbasis Open-Source yang bekerja berdasarkan perintah I/O (Input atau Output) sederhana. Arduino dapat digunakan untuk mengembangkan objek interaktif mandiri atau dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer. Arduino terdiri dari dua bagian utama: Arduino Board yang merupakan bagian dari perangkat keras untuk mengembangkan proyek dan Arduino IDE (Integrated Development Environment), bagian dari perangkat lunak yang dijalankan pada komputer. IDE digunakan untuk membuat sketches (program komputer kecil) yang akan diupload ke Arduino Board, untuk memberikan instruksi apa yang harus dilakukan oleh Arduino Board. Arduino board adalah papan mikrokontroler kecil, yang merupakan sebuah sirkuit terintegrasi kecil. Dalam Arduino Uno contohnya menggunakan ATmega328 (SMD) sebagai mikrokontrolernya. Arduino Uno memiliki 14 Pins IO Digital (Pins 0-13), 6 Analog Input Pins (Pins 0-5) dan 6 Analog Out Pins (Pins 3,5,6,9,10,11). Arduino Uno dapat diaktifkan melalui USB atau dengan catuan eksternal. Catuan yang digunakan sekitar 7-12 Volts (disarankan). Berikut fisik modul Arduino Uno seperti terlihat pada Gambar 2.7 dibawah.

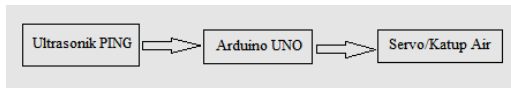


Gambar 2.7 Arduino Uno

3. Perancangan

Pada sub-bab perancangan ini akan dibahas berkaitan dengan metodologi penelitian, perancangan perangkat lunak, dan perancangan perangkat keras. Metode penelitian yang pertama sekali dilakukan adalah studi pustaka. Penelitian ini sangat menunjang kesuksesan sistem yang akan dirancang agar dapat disusun sesuai dengan teori yang ada. Penelitian ini berasal dari buku maupun jurnal ilmiah dari sebuah proyek yang mirip dengan yang akan penulis rancang. Dengan penelitian ini, ilmu untuk merancang sistem dengan baik, serta kendala yang dapat dihindari di depan semuanya dapat dikumpulkan dan dianalisis. Setelah membaca referensi yang dibutuhkan, dilakukan perancangan alat.

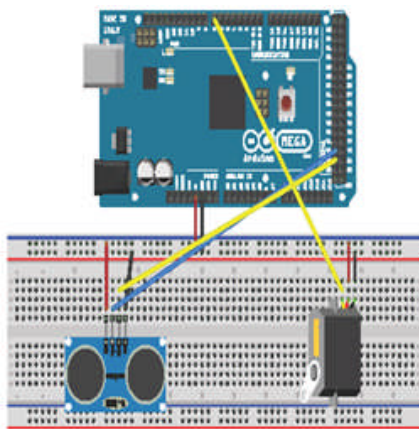
Pada penelitian ini, terdiri dari tiga elemen alat. Ketiga elemen alat tersebut diintegrasikan menjadi sebuah sistem, yang terdiri dari input, proses, dan output. Sebagai inputnya, menggunakan modul sensor ultrasonik PING Parallax. Bagian proses pengolahan data hasil pengukuran jarak dari ultrasonik diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno, untuk selanjutnya dikeluarkan dalam bentuk pulsa PWM. Dan outputnya berupa motor servo standar (prototipe katup air), akan terbuka dan menutup berdasarkan pulsa PWM yang diterima dari modul mikrokontroler Arduino Uno. Berikut gambar diagram blok perancangan sistem kestabilan level air seperti terlihat pada Gambar 3.1 dibawah.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Kestabilan Level Air

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada penelitian ini, sebagai masukan sistem digunakan ultrasonik PING. Sedangkan keluaran prototipe katup air menggunakan servo. Berikut gambar blok perangkat keras seperti terlihat pada Gambar 3.2 dibawah.



Gambar 3.2 Blok Perangkat Keras

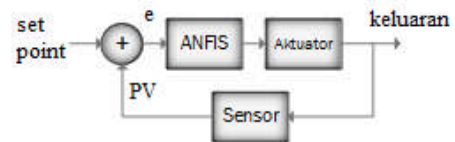
Servo akan bergeser berdasarkan perubahan nilai pulsa_pwm. Pulsa_pwm bernilai 1000, menunjukkan katup air tertutup. Pulsa_pwm bernilai 2000, menunjukkan katup air terbuka penuh.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak terdiri atas bagian himpunan, arsitektur ANFIS, dan algoritma alur maju.

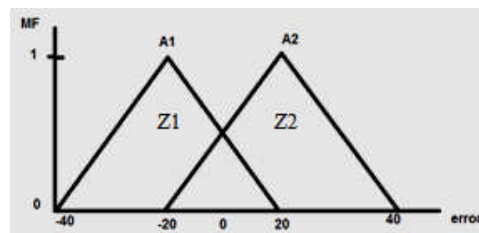
3.2.1 Himpunan Masukan ANFIS

Input dari sistem berupa jarak yang diambil dari sensor ultrasonik. Jarak yang diambil mengindikasikan ketinggian air pada bejana penampung. Untuk input ke ANFIS, menggunakan nilai error. Nilai error didapatkan dengan mengurangi nilai set point dan present value yang dibaca oleh sensor, seperti terlihat pada Gambar 3.3 dibawah.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Kontrol

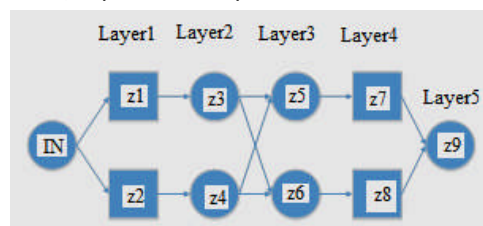
Hasil perhitungan nilai error digunakan untuk masukan algoritma ANFIS. Pada penelitian ini arsitektur ANFIS yang digunakan terdiri dari satu masukan dengan dua rule. Sedangkan himpunan yang digunakannya adalah segitiga dengan dua buah linguistik A1 dan A2, seperti terlihat pada Gambar 3.4 dibawah.



Gambar 3.4 Masukan ANFIS

3.2.2 Perancangan Arsitektur ANFIS

Arsitektur ANFIS pada penelitian ini terdiri atas satu masukan, seperti terlihat pada Gambar 3.5 dibawah.



Gambar 3.5 Perancangan Arsitektur ANFIS

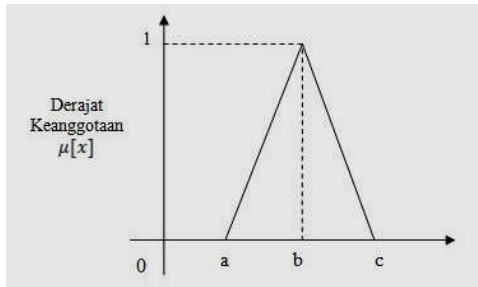
3.2.3 Algoritma Alur Maju

Proses alur maju dari sebuah sistem ANFIS terdiri dari lima layer. Pada layer pertama data input pada masing masing periode akan dilakukan proses fuzzifikasi. Proses ini adalah untuk memetakan inputan data kedalam himpunan fuzzy sesuai dengan klasifikasi yang dipilih (pada penelitian ini hanya menggunakan dua jenis linguistik fuzzy yaitu: tinggi (A2) dan rendah (A1)).

Penjelasan pada masing-masing layer seperti Gambar 3.5 perancangan Arsitektur adalah sebagai berikut:

Lapisan 1:

Setiap simpul *i* pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:



$$\mu [x,a,b,c] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

dimana input adalah masukan bagi simpul. Derajat keanggotaan bernilai 0 sampai 1. Pada layer ini menggunakan himpunan model segitiga. Input berupa error.

error=sp-pv;
 $z1 = \mu A1;$
 $z2 = \mu A2;$

Lapisan 2:

Setiap simpul pada layer ini diberi label z3 dan z4, bersifat non-adaptif (parameter tetap) yang meneruskan hasil dari layer ke-1. Karena sistem yang digunakan satu input, maka tidak ada inferensi minimum (AND). Dengan demikian keluaran pada layer ke-2 adalah :

$z3 = z1$
 $z4 = z2$

Lapisan 3:

Setiap simpul pada layer ini diberi label z5 dan z6, juga bersifat non adaptif. Masing-masing simpul menampilkan derajat pengaktifan ternormalisasi dengan bentuk.

$z5 = z3 / (z3+z4)$
 $z6 = z4 / (z3+z4)$

Lapisan 4:

Mencari parameter konsekuen, adaktif

Tiap simpul pada layer ini berupa simpul adaptif, dengan persamaan sebagai berikut:

$z7 = \bar{w}31 * f1 = \bar{w}1(p1x+q1)$

$z8 = \bar{w}32 * f2 = \bar{w}2(p2x+q2)$

Lapisan 5:

Simpul tunggal pada lapisan ini diberi label z9, yang mana menghitung semua keluaran sebagai penjumlahan dari semua sinyal yang masuk:

$z9 = z7+z8$

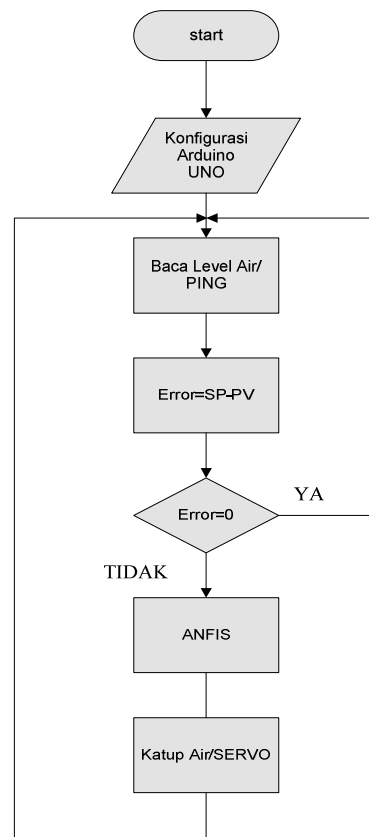
selanjutnya menentukan nilai error dengan persamaan sebagai berikut :

$\varepsilon = (y_d - y)^2 / 2$

Nilai keluaran dari layer ke-5 ANFIS akan berpengaruh pada posisi motor servo bergantung pada masukan nilai error. Sistem ini bersifat adaptif sehingga dengan perubahan error dapat diperbaiki untuk menyesuaikan dengan set point atau nilai yang diharapkan.

3.2.3.1 Diagram Alir ANFIS di Arduino UNO

Berikut diagram alir sistem seperti terlihat pada Gambar dibawah.



Gambar 3.6 Diagram Alir Sistem

3.2.3.2 Psecode ANFIS di Arduino UNO

```

// create servo object to control a servo
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN,
MAX_DISTANCE);
// NewPing setup of pins and maximum distance

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Open serial monitor at
9600 baud to see ping results.
}
float
x,y,z1,z2,z3,z4,z5,z6,z7,z8,z9,error,sp,e,t1,t2,out;
float p1=1, p2=1, q1=1, q2=1;
int n1=0, n2=0;

void loop() {
  delay(50);
  // Wait 50ms between pings (about 20 pings/sec).
  //29ms should be the shortest delay between
  pings.
  float uS = sonar.ping();
  // Send ping, get ping time in microseconds (uS).
  x=uS;
  y=uS / US_ROUNDTRIP_CM;
  Serial.print("Ping: ");
  Serial.print(y,3);
  // Convert ping time to distance in cm and print
  //result (0 = outside set distance range)
  Serial.println("cm");
  sp=5;
  e=sp-y;
  #####layer1#####
  z1=fuzzy1(e); z2=fuzzy2(e);
  #####layer2#####
  z3=z1; z4=z2;
  #####layer3#####
  z5=z3/(z3+z4); z6=z4/(z3+z4);
  #####layer4#####
  z7=z5*((p1*e)+q1); z8=z6*((p2*e)+q2);
  #####layer5#####
  z9=z7+z8;
  ##### error #####
  error=((y-z9)*(y-z9))/2;

  if (error>0.2 && n1!=10)
  {
    p2=p2-0.01; n1=n1+1;
  }
  else if (error>0.2 && n2!=10 && n1==10)
  {
    p1=p1-0.01; n2=n2+1;
  }

```

```

if (error<0.2)
{
  n1=0; n2=0;
  t1=fuzzy1(z9); t2=fuzzy2(z9);
  out=(t1+t2)/2;
}

###Fungsi Derajat Keanggotaan Linguistik A1##
float fuzzy1(float a)
{ float o1; o1=(20-a)/40; return o1; }

###Fungsi Derajat Keanggotaan Linguistik A2##
float fuzzy2(float a)
{ float o2; o2=a+20/40; return o2; }

```

4. Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat respon bukaan katup dan kestabilan level air (set point=5 cm).

Berikut tabel 4.1 menunjukkan respon serta kestabilan sistem, pada saat bejana diisi air, sehingga tinggi awal sensor terhadap air 2,75 cm.

Tabel 4.1 Pengujian Respon dan Kestabilan ANFIS

Set Point (cm)	Ketinggian Level Air (cm)	Bukaan Katup Air (%)	Waktu (mili detik)
5	2,75	100	0
	3	76	1722
	3,25	55	3525
	3,50	39	5132
	3,75	28	8012
	4	19	11450
	4,25	12	15021
	4,50	8	18201
	4,75	4	23309
	5	0	28120

Berikut tabel 4.2 menunjukkan respon sistem, pada saat bejana diisi air, sehingga tinggi awal sensor terhadap air 2,75 cm. Selanjutnya katup air dibuka 100% sampai dengan ketinggian level air 5 cm.

Tabel 4.2 Pengujian Respon Tanpa ANFIS dengan bukaan katup tetap 100%

Set Point (cm)	Ketinggian Level Air (cm)	Bukaan Katup Air (%)	Waktu (mili detik)
5	2,75	100	0
	3	100	1659

	3,25	100	3201
	3,50	100	4752
	3,75	100	6875
	4	100	8900
	4,25	100	11421
	4,50	100	14301
	4,75	100	17101
	5	100	20120

Dari tabel 4.1 hasil pengujian terlihat respon waktu yang diperlukan agar sistem dapat stabil diperlukan waktu 28120 mili detik. Serta tingkat keakuratan level air adalah 100%. Sedangkan dari tabel 4.2 hasil pengujian respon agar sistem dapat stabil diperlukan waktu 20120 mili detik.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem kestabilan level air pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Respon sistem menggunakan algoritma ANFIS lebih lambat dibandingkan dengan tanpa ANFIS;
2. Ketinggian Level air menggunakan algoritma ANFIS menghasilkan tingkat keakuratan 100%, pada kondisi awal air diam.

Daftar Pustaka

- [1]. Jang, J.-S. R. 1993. ANFIS: Adaptive-Network based fuzzy interference systems, *IEEE Trans on systems, Man and Cybernetics*, 23(03):665-685.
- [1]. Jang, J.-S. R. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, New Jersey Prentice-Hall
- [1].Tjahjono, Anang, "Sistem Pengambilan Keputusan Persebaran Penyakit dan Distribusi Obat dalam Kabupaten/Kotamadya". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya.
- [1].Suyanto, 2011, "Artificial Intelligence: Searching, Reasoning, Planning, dan Learning.", Penerbit Informatika, Bandung