

## MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

### APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN RBF (*RADIAL BASIS FUNCTION*) PADA SISTEM KONTROL VALVE UNTUK PENGENDALIAN TINGGI MUKA CAIRAN SECARA *ON-LINE*

Hariyanto<sup>1</sup>, Wahyudi, ST, MT<sup>2</sup> Iwan Setiawan, ST, MT<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

**Abstrak** - Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mengendalikan plant yang parameter-parameternya tidak diketahui, namun tidak semua jenis jaringan syaraf tiruan cocok untuk mengendalikan *plant* secara *on-line*. Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan untuk beradaptasi yang berbeda-beda tergantung pada struktur jaringan dan algoritma yang digunakan. RBF merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai pengendali *plant* secara *on-line*.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap jaringan syaraf tiruan RBF untuk mengendalikan tinggi muka cairan pada sistem kontrol valve secara *on-line*. Pengendalian ketinggian dilakukan dengan mengatur pembukaan *valve* pengisian pada bak penampung. Pengujian dilakukan pada pengaruh nilai *gain* proporsional, laju konvergensi, jumlah fungsi *basis*, pengujian referensi naik, referensi turun dan pemberian gangguan.

Hasil pengujian jaringan syaraf RBF menunjukkan semakin besar laju konvergensi dan *gain* proporsional yang diberikan, semakin cepat waktu naik dan waktu penetapannya. RBF memiliki respon yang cukup baik pada pengujian perubahan referensi dan pemberian gangguan.

**Kata kunci** : Jaringan Syaraf Tiruan, RBF, Ketinggian Air

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebuah pendekatan dalam pengendalian sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit untuk ditentukan dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan beradaptasi atau konvergensi yang berbeda, tergantung pada struktur jaringan dan algoritma pembelajaran yang digunakan, sehingga tidak semua jaringan syaraf tiruan cocok untuk mengendalikan *plant* secara *on-line*. RBF (*Radial Basis Function*) merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai komponen pengendali sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit ditentukan tanpa adanya proses identifikasi terlebih dahulu.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf tiruan RBF pada pengendalian ketinggian air, dengan mengatur pembukaan *valve* secara *on-line*. Pengujian

dilakukan melalui pengujian pengaruh bobot pembelajaran, pengaruh parameter kendali, pengujian perubahan referensi dan pemberian gangguan (pembukaan *valve* keluaran). Struktur pengendalian yang digunakan adalah *Fixed Stabilising Controller*. Unit pengendalian yang digunakan untuk mengimplementasikan algoritma kendali dengan jaringan syaraf tiruan RBF adalah PC (*Personal Computer*) karena memiliki ukuran memori yang besar dan memungkinkan membuat *monitoring plant*.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengaplikasikan pengendali berbasis jaringan syaraf tiruan RBF pada sistem kontrol *valve* untuk pengendalian tinggi muka cairan secara *on-line*.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengendalian dengan jaringan syaraf tiruan RBF dengan struktur kendali *Fixed Stabilising Controller*.
2. Pengendalian ketinggian dilakukan dengan mengatur pembukaan *valve* pengisian.
3. *Valve* pengisian bak pada keadaan awal *valve* selalu tertutup.
4. Pengujian dilakukan pada pengaruh laju konvergensi, *gain* proporsional, jumlah fungsi *basis*, perubahan referensi ketinggian dan pemberian gangguan.
5. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf adalah algoritma LMS (*Least Mean Square*).
6. Gangguan yang diberikan hanya berupa pengurangan jumlah air.
7. Penentuan batasan nilai *gain* proporsional dan laju konvergensi yang digunakan pada pengujian dilakukan secara empiris.
8. Pembuatan program dibantu dengan bahasa pemrograman Visual C++.
9. *Range* ketinggian air dalam bak yang dapat terdeteksi oleh sensor mulai dari 15 cm- 45 cm.

1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

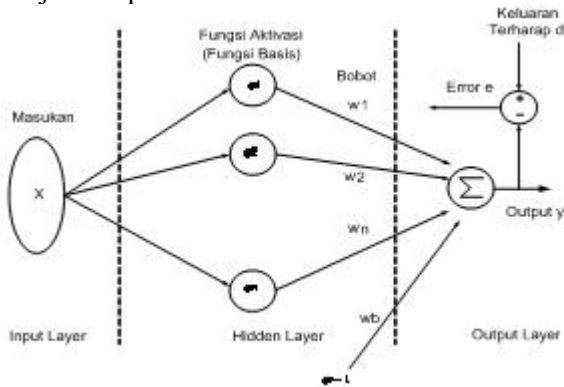
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP

**II. DASAR TEORI**

**2.1 Jaringan Syaraf Tiruan RBF**

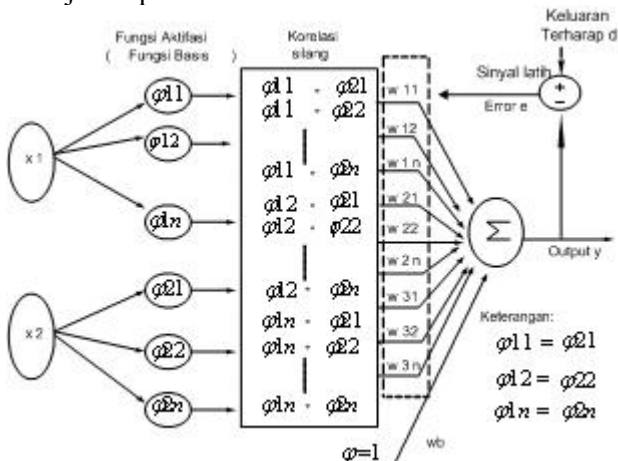
RBF ( $\phi$ ) merupakan fungsi dimana keluarannya simetris terhadap *center*  $c$  tertentu atau dinyatakan sebagai  $\phi_c = \phi \|x - c\|$ , dimana  $\| \cdot \|$  merupakan vektor normal. Jaringan syaraf yang dibentuk dengan menggunakan fungsi *basis* berupa fungsi *basis radial* dinamakan Jaringan Syaraf RBF.

Jaringan RBF terdiri atas 3 layer yaitu *layer input*, *hidden layer / kernel layer* (unit tersembunyi) dan *layer output*.<sup>[13]</sup> Masing – masing unit tersembunyi merupakan fungsi aktivasi yang berupa fungsi *basis radial*. Fungsi *basis radial* ini diasosiasikan oleh lebar dan posisi *center* dari fungsi *basis* tersebut. Struktur dasar jaringan RBF ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur dasar jaringan syaraf RBF.

Setiap input dari jaringan syaraf tiruan RBF ini akan mengaktifkan semua fungsi *basis* pada *hidden layer*. Setiap unit dari *hidden layer* merupakan fungsi aktivasi tertentu yang disebut sebagai fungsi *basis*. Di dalam *hidden layer* terdapat sejumlah fungsi *basis* yang sejenis. Setiap fungsi *basis* akan menghasilkan sebuah keluaran dengan bobot tertentu. *Output* jaringan ini merupakan jumlah dari seluruh *output* fungsi *basis* dikalikan dengan bobot masing – masing. Untuk jaringan RBF dengan 2 masukan, proses pemetaannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Operasi jaringan syaraf RBF dengan 2 masukan.

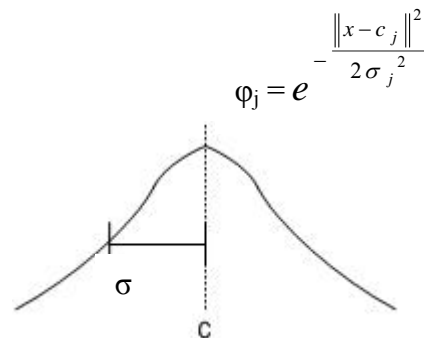
Setiap masukan akan mengaktifkan setiap fungsi *basis* pada jaringannya sendiri. Misalkan pada operasi masukan  $[x_1 \ x_2]$ . Masukan  $x_1$  akan mengaktifkan fungsi *basis* pada jaringan RBF pertama, sehingga masukan  $x_1$  akan mengaktifkan fungsi *basis*  $\phi_{11}, \phi_{12}$  sampai dengan  $\phi_{1n}$ . Masukan  $x_2$  akan mengaktifkan setiap fungsi *basis* pada jaringan RBF kedua, sehingga masukan  $x_2$  akan mengaktifkan fungsi *basis*  $\phi_{21}, \phi_{22}$  sampai dengan  $\phi_{2n}$ . Langkah selanjutnya adalah melakukan korelasi silang antara setiap fungsi *basis* pada jaringan pertama dengan setiap keluaran fungsi *basis* pada jaringan kedua. Masing - masing hasil korelasi silang antar fungsi *basis* ini kemudian diboboti dengan bobot tertentu yaitu  $w_{11}, w_{12}$  sampai dengan  $w_{nn}$ . Keluaran jaringan RBF dihitung dengan menjumlahkan seluruh hasil perkalian antara keluaran tiap fungsi *basis* dengan bobotnya sendiri ditambah dengan bobot bias ( $w_b$ ). Fungsi *basis* pada jaringan RBF identik dengan dengan fungsi *gaussian* yang diformulasikan sebagai berikut<sup>[2]</sup> :

$$\phi_j = e^{-\frac{\|x - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $c_j$  = *Center* fungsi *gausiaan* ke - j
- $\sigma_j$  = Lebar fungsi *gausiaan* ke - j
- $x$  = Masukan fungsi *basis*
- $\phi_j$  = Keluaran fungsi *basis* ke - j oleh masukan  $x$

Representasi grafis fungsi *gaussian* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Fungsi *gaussian*.

Pada setiap jaringan RBF biasanya digunakan lebih dari 1 buah fungsi *basis*. Tiap – tiap fungsi *basis* mempunyai 1 *center* dan 1 bobot tertentu. Untuk  $n$  buah masukan pada jaringan syaraf RBF, maka diperlukan bobot memori yang digunakan pada satu jaringan adalah sebesar ( jumlah fungsi *basis* )<sup>n</sup> + 1. Satu merupakan bobot bias ( $w_b$ ) dari jaringan syaraf RBF .

### 2.1.1 Strategi Pembelajaran Jaringan RBF [13]

Berdasarkan rumus fungsi *gaussian* pada persamaan 1 dan struktur dasar jaringan RBF, dapat diusulkan beberapa strategi pembelajaran pada jaringan RBF sebagai berikut :

1. Posisi *center* pada fungsi *basis*
2. Lebar dari fungsi *basis*
3. Bobot keluaran setiap fungsi *basis*

Pada tugas akhir ini strategi pembelajaran jaringan yang digunakan adalah pembelajaran bobot keluaran tiap fungsi *basis*.

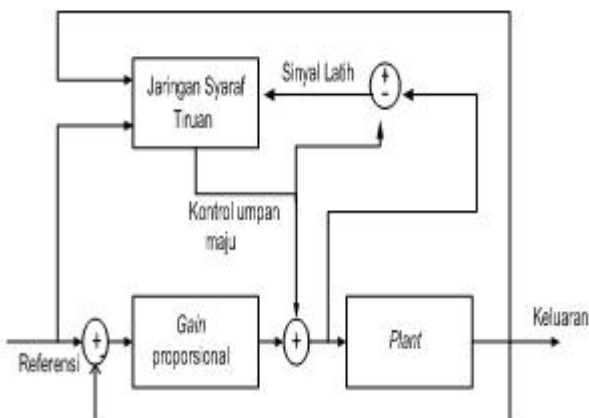
### 2.1.2 Algoritma Pelatihan RBF secara Iteratif

Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan RBF secara iteratif adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 : Menentukan jumlah fungsi *basis* yang akan digunakan.
- Langkah 2 : Menentukan *center* tiap fungsi *basis*.
- Langkah 3 : Menyediakan bobot sebanyak (fungsi *basis*)<sup>n</sup> + 1, dimana n adalah jumlah masukan RBF..
- Langkah 4 : Inisialisasi bobot,  $w = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$  dan set laju konvergensi yang digunakan ( $0 < \eta < 1$ ).
- Langkah 5 : Untuk sinyal latih kerjakan langkah 6 s.d selesai.
- Langkah 6 : Hitung keluaran tiap fungsi *basis*.
- Langkah 7 : Hitung keluaran jaringan RBF.
- Langkah 8 : Hitung kesalahan (*error*) antara keluaran terharap (*d*) dengan keluaran RBF (*y*),  $error = d - y$ .
- Langkah 9 : *Update* bobot-bobot tiap fungsi *basis* dan bobot *basis* dengan metoda LMS.

### 2.1.3 Struktur Kendali *Fixed Stabilising controller*

*Fixed stabilising controller* merupakan salah satu arsitektur kendali adaptif yang diusulkan oleh Miller pada tahun 1987 dan Kraft pada tahun 1990<sup>[2]</sup>. Blok diagram kendali dengan skema *fixed stabilising controller* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Blok diagram kendali dengan skema *fixed stabilising controller*.

### 2.1.4 Algoritma LMS<sup>[4]</sup>

Algoritma LMS merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk pembelajaran atau pembaharuan bobot jaringan syaraf. Algoritma LMS mempunyai komputasi sederhana dengan melakukan proses untuk mengoreksi bobot-bobot jaringan yang akhirnya akan meminimalkan fungsi rata-rata kuadrat *error*. Secara matematis algoritma LMS untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf dituliskan sebagai berikut :

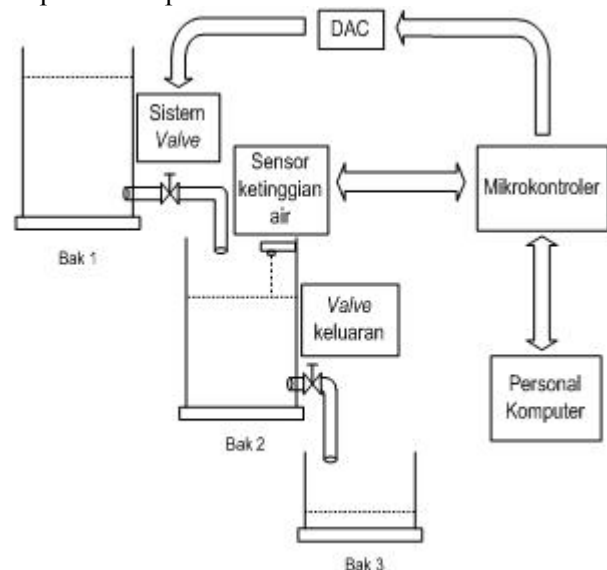
$$w(k+1) = w(k) + \alpha \cdot [d(k) - y(k)] \cdot x(k) \dots (2)$$

Dimana :

- $w(k+1)$  : Bobot pada cacah ke k+1
- $w(k)$  : Bobot pada cacah ke k
- $\alpha$  : Laju konvergensi ( $0 < \alpha < 1$ )
- $x(k)$  : Masukan yang diboboti
- $d(k)$  : Keluaran yang diinginkan
- $y(k)$  : Keluaran aktual
- $d(k) - y(k)$  : Sinyal *error* yang merupakan data latih

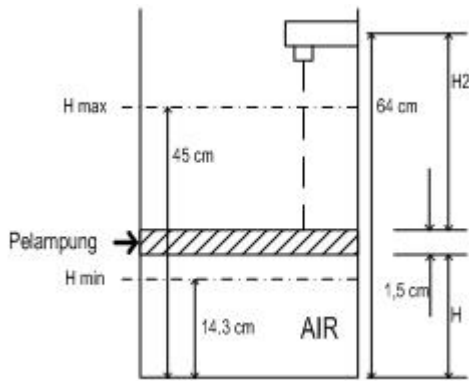
### 2.2 Perangkat Keras yang digunakan

Perangkat keras yang digunakan yaitu sistem pengaturan tinggi muka cairan yang meliputi beberapa rangkaian, seperti sensor ketinggian, motor *servo* sebagai penggerak *valve* (katup), modul DAC 0808 dan mikrokontroler AT89S51. Diagram blok *plant* beserta perangkat keras yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Blok diagram sistem pengaturan ketinggian air.

*Plant* kendali level cairan terdiri dari tiga bak air, bak air pertama merupakan sumber air yang dianggap tidak pernah habis, bak air kedua merupakan bak yang dikontrol ketinggiannya dengan kendali jaringan RBF dan bak air ketiga merupakan bak tempat pembuangan air yang merupakan gangguan terhadap bak air kedua. Gambar 6 menunjukkan mekanisme pengukuran ketinggian air.



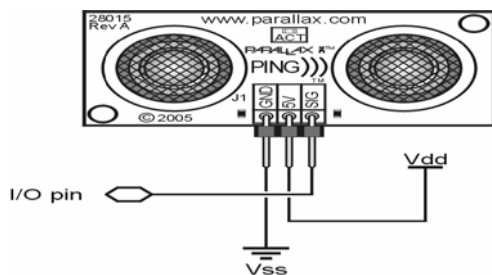
Gambar 6 Ilustrasi pengukuran ketinggian air.

Secara umum *plant* pengukuran ketinggian air sebagai berikut:

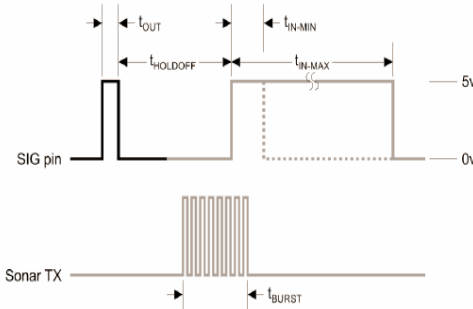
1. Ketinggian sensor dari dasar air adalah 64 cm.
2. Ketinggian air minimum yang dapat diukur adalah 14,3 cm, apabila lebih rendah maka dianggap 14,3 cm.
3. Ketinggian air maksimum yang dapat diukur adalah 45 cm, apabila lebih tinggi maka dianggap 45 cm.
4. Mikrokontroler mengukur jarak antara sensor dengan permukaan pelampung dan dikirim ke komputer, perhitungan ketinggian dilakukan oleh komputer.

**2.2.1 Sistem Sensor Ketinggian Air**

Sensor yang digunakan mengukur ketinggian air adalah sensor ultrasonic buatan Parallax (PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder). Rangkaian lengkap sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder diperlihatkan pada Gambar 7.



(a) Sensor ping)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder.



(b) Diagram pewaktuan sensor Ping)))<sup>TM</sup>.

Gambar 7 Sensor Ping)))<sup>TM</sup> dan diagram pewaktuan.

Sensor PING ini secara khusus didesain untuk dapat mengukur jarak sebuah benda padat (*solid*).

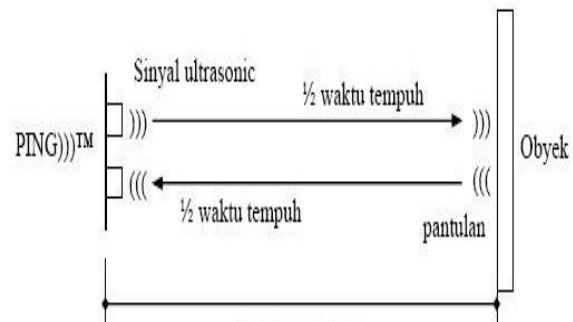
1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP

Oleh karena itu pada bak 2, dipasang pelampung berupa *stereofoam* sehingga dapat terdeteksi oleh sensor PING. Sensor ini mampu mendeteksi jarak 3 cm sampai dengan 300 cm. Sensor ini mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40kHz) selama waktu pemancaran ( $t_{BURST} = 200\mu s$ ) hingga mampu mendeteksi pantulannya. Sensor memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan pulsa *trigger* dari mikrokontroler sebagai pengendali. Proses *timing diagram* pada sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder diperlihatkan pada Gambar 7.

Sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Waktu untuk mengirim pulsa *trigger* ( $t_{OUT}$ ) : 2  $\mu$  detik (minimum), 5  $\mu$  detik (*typical*).
- Waktu tunda ( $t_{HOLDOFF}$ ) : 750  $\mu$  detik.
- Waktu pemancaran ( $t_{BURST}$ ) : 200  $\mu$  detik
- Waktu tempuh gelombang ultrasonik minimum ( $t_{IN MIN}$ ) : 115  $\mu$  detik.
- Waktu tempuh gelombang ultrasonik maksimum ( $t_{IN MAX}$ ) : 18,5 milidetik.

Cara kerja Sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder ditunjukkan pada Gambar 8.



Sensor dipicu oleh mikrokontroler dengan mengirim pulsa *trigger* (pulsa *high*/ $t_{out}$  selama 3  $\mu s$ ) untuk memulai pengukuran jarak, kemudian memberikan logika *low* lalu menunda selama 700  $\mu s$  ( $t_{HOLDOFF}$ ). Setelah itu mikrokontroler akan menyiapkan P3.2 sebagai *input* (P3.2 diberi logika tinggi) dan menunggu lagi selama 3  $\mu s$ , sehingga dapat menerima pulsa *output* dari PING)))<sup>TM</sup>. Gelombang ultrasonik ini akan melalui udara dengan kecepatan 344 m/s, mengenai pelampung dan memantul kembali ke sensor. Sensor PING mengeluarkan pulsa keluaran berlogika tinggi pada pin SIG setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi, sensor PING akan membuat keluaran berlogika rendah pada pin SIG. Lebar pulsa *high* ( $t_{IN}$ ) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2x jarak ukur, jadi jarak yang diukur dapat dirumuskan sebagai berikut :

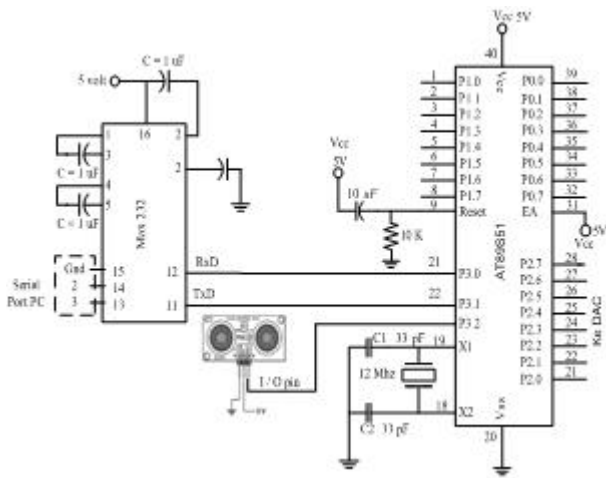
$$s = \frac{v \cdot t}{2} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- s = jarak yang diukur ( meter )
- v = kecepatan suara ( 344 m/detik)<sup>[11]</sup>
- t = waktu tempuh (detik)

**2.2.2 Mikrokontroler AT89S51**

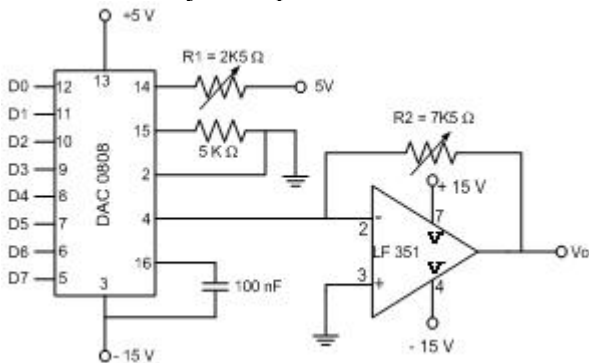
Mikrokontroler AT89S51 digunakan untuk mengatur aliran data dari sensor ketinggian air ke PC dan dari PC ke DAC. Rangkaian antarmuka antara komputer dan mikrokontroler menggunakan IC RS232. Rangkaian lengkap komunikasi serial antara mikrokontroler AT89S51, IC RS 232, serta sensor PING)))<sup>TM</sup> Ultrasonic Range Finder ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Rangkaian mikrokontroler, IC RS232, dan sensor PING)))<sup>TM</sup>.

**2.2.3 Rangkaian Digital to Analog Converter (DAC)**

DAC digunakan untuk mengubah masukan digital 8 bit dari komputer menjadi besaran analog yaitu berupa tegangan untuk menggerakkan motor servo. Tipe DAC yang digunakan adalah DAC 0808 yang merupakan DAC 8 bit. Rangkaian lengkap DAC 0808 ditunjukkan pada Gambar 10.



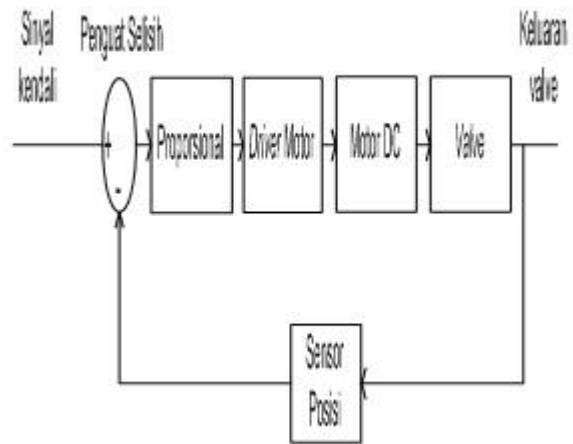
Gambar 10 Rangkaian DAC 0808.

**2.2.4 Diagram blok Plant Servo valve**

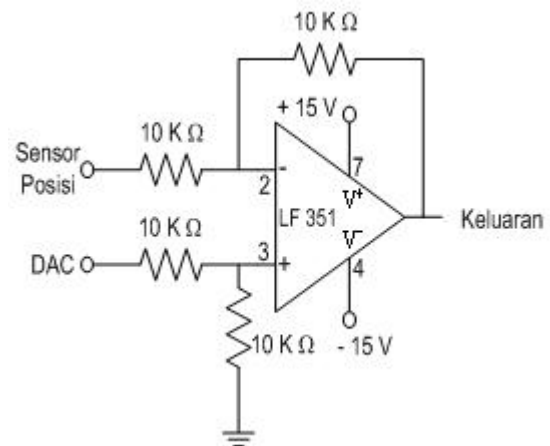
Servo valve merupakan valve dengan penggerak motor dc, dengan menggunakan prinsip

1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP

kerja servoposisi. Valve akan membuka sesuai dengan tegangan yang diberikan, blok diagramnya dapat dilihat pada Gambar 11.

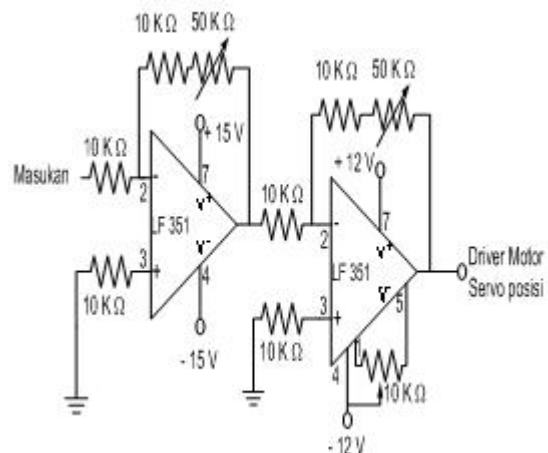


Gambar 11 Sistem valve dengan penggerak motor DC. Rangkaian penguat selisih ditunjukkan pada Gambar 12.



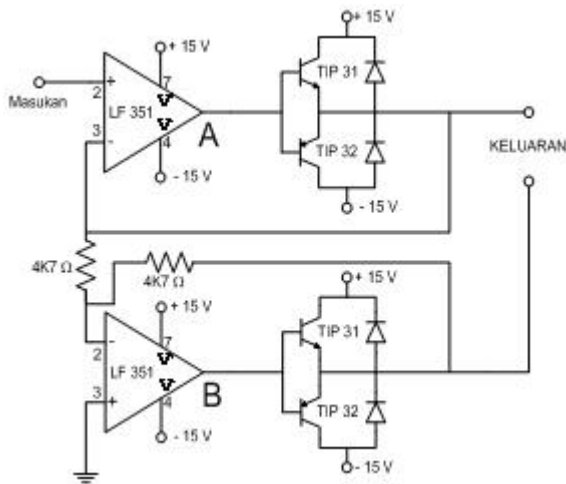
Gambar 12 Rangkaian penguat selisih.

Keluaran dari rangkaian penguat selisih yang berupa tegangan akan masuk ke rangkaian penguat. Rangkaian penguat ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Rangkaian penguat.

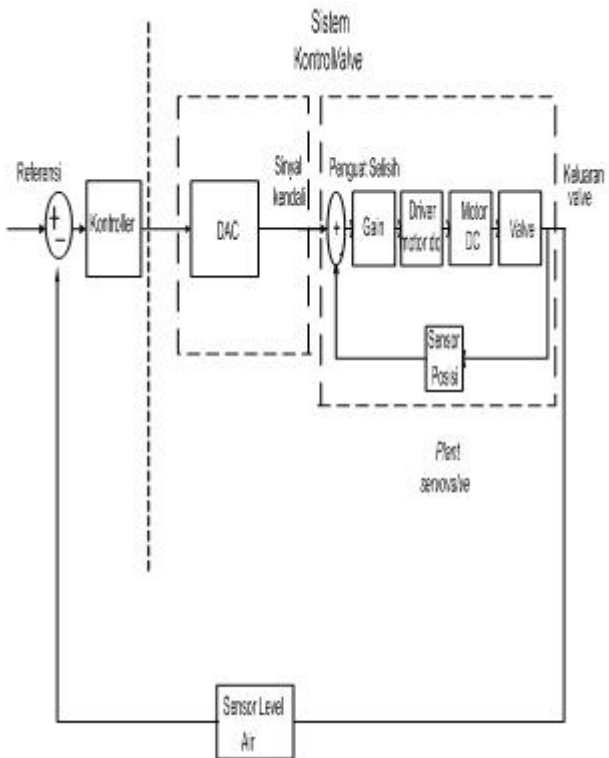
Rangkaian driver untuk motor DC ditunjukkan pada Gambar 14.



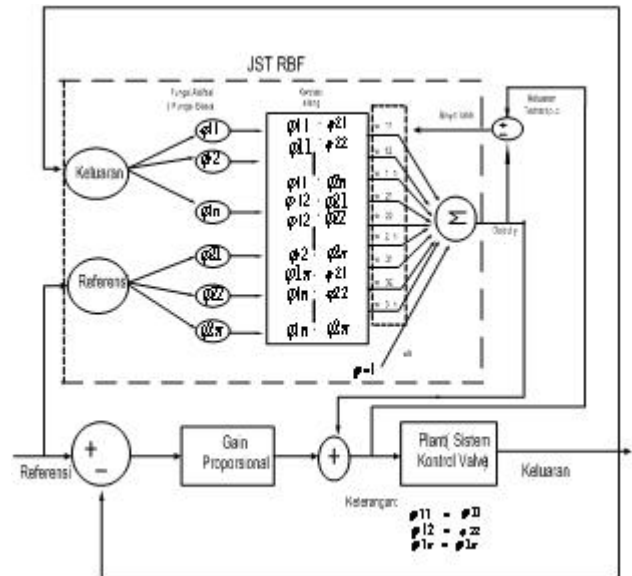
Gambar 14 Driver motor servoposisi.

III. PERANCANGAN

Perancangan kendali jaringan syaraf tiruan RBF dilakukan untuk menentukan besarnya parameter kendali yang digunakan, yang meliputi *gain* proporsional, laju konvergensi dan jumlah fungsi *basis*. Jaringan syaraf tiruan RBF yang digunakan untuk mengendalikan ketinggian air ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual C++ dan dijalankan pada sebuah komputer. Program ini dihubungkan dengan mikrontroler dengan komunikasi serial. Sistem kendali secara keseluruhan diperlihatkan pada diagram blok pada Gambar 15 dan kendali RBF ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 15 Diagram blok sistem secara keseluruhan



Gambar 16 Diagram blok jaringan syaraf RBF.

3.1 Penentuan Nilai Gain Proporsional pada Jaringan Syaraf RBF

Penentuan besarnya *gain* proporsional secara praktis dibatasi oleh jangkauan sinyal kendali maksimum. Diusahakan sinyal kendali proporsional pada saat awal tidak melebihi 15 volt, karena tegangan keluaran maksimum DAC adalah 15 volt.

Pada sistem pengendalian ini besarnya sinyal kendali proporsional sebanding dengan *error*. Pengendalian ketinggian air dibatasi antara ketinggian 14,3 cm sampai dengan 45 cm, sehingga mempunyai jangkauan pengendalian sebesar 30,7 cm. Sinyal *error* maksimum yang mungkin terjadi adalah sebesar 30,7 yang memberikan sinyal kendali sebesar 15 volt. Secara praktis besarnya *gain* proporsional yang diperbolehkan sebesar 1.

3.2 Penentuan Nilai Laju Konvergensi

Besarnya laju konvergensi akan menentukan kecepatan pembaharuan bobot. Jika laju konvergensi yang dipilih relatif kecil, maka laju pembelajaran akan berjalan lambat, sebaliknya bila laju konvergensi yang dipilih terlalu besar akan menyebabkan koreksi yang berlebihan pada bobot-bobot yang diperbaharui.

Pemilihan besarnya laju konvergensi yang digunakan pada pengendalian dilakukan secara empiris dan tidak boleh terlalu besar karena hal ini dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem keluaran *plant* pengendalian tinggi muka cairan pada keadaan tunaknya. Pada tugas akhir ini range yang digunakan 0,2 sampai dengan 1.

3.3 Normalisasi Jangkauan Nilai Masukan

Besarnya jangkauan nilai masukan secara langsung akan mempengaruhi besarnya memori (lokasi alamat bobot) yang harus disediakan. Semakin besar jangkauan nilai masukan maka semakin banyak memori yang harus disediakan.

Jangkauan nilai masukan pertama (referensi) dinormalisasi dalam fungsi basis pada jangkauan 0 – 15. Normalisasi jangkauan nilai masukan kedua (keluaran *plant*) dibatasi oleh data yang dikirimkan oleh mikrokontroler ke komputer melalui komunikasi serial, yaitu 8 bit, sehingga data sensor adalah 0 – 255 dinormalisasi dalam fungsi basis pada jangkauan 0 – 15, sesuai dengan besarnya sinyal kendali yang dikirimkan lewat DAC.

### 3.4 Penentuan Fungsi Basis pada Jaringan RBF

Pada tugas akhir ini keluaran dari sensor dinormalisasi dalam masukan jaringan RBF pada dalam jangkauan 0 – 15. Secara teoritis jumlah fungsi *basis* yang dipilih bebas, namun dengan adanya normalisasi tersebut diperlukan batasan jumlah maksimum fungsi *basis* yang digunakan. Jika jumlah fungsi *basis* yang dipilih terlalu banyak maka lebar fungsi *basis* yang terjadi akan menjadi sangat sempit, sehingga tiap *center* jaringan RBF menjadi berimpitan.

Jumlah fungsi *basis* maksimal ditentukan sebesar 15. *Center* dari masing – masing fungsi *basis* dihitung sebagai berikut :

```
for (i=1;i<=m_JumlahFungsiBasis+1;i++)
{
center[i]=((float)15
/(m_JumlahFungsiBasis+1))*(float)i;
}
```

Dimana:  $center[i]$  = Nilai *center* dari fungsi *basis* ke [i].

*Deviasi* yang menentukan kelengkungan dari tiap fungsi *basis* ditentukan dengan persamaan :

$$Deviasi (\sigma) = c[1]/3,05$$

Misalkan, jika jumlah fungsi *basis* yang dipilih adalah 5, maka nilai *center* tiap fungsi *basis* adalah :

$$c [ 1 ] = (15/(5 + 1)) * 1 = 2,5$$

$$c [ 2 ] = (15/(5 + 1)) * 2 = 5,0$$

$$c [ 3 ] = (15/(5 + 1)) * 3 = 7,5$$

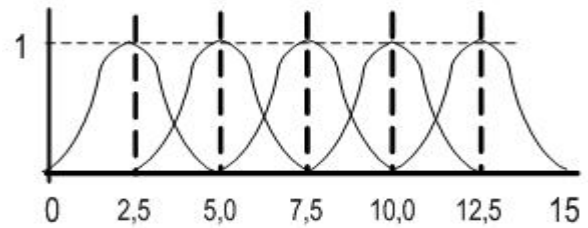
$$c [ 4 ] = (15/(5 + 1)) * 4 = 10,0$$

$$c [ 5 ] = (15/(5 + 1)) * 5 = 12,5$$

*Deviasi* dari masing – masing fungsi *basis* yang terbentuk dihitung sebagai berikut :

$$Deviasi (\sigma) = 2,5 / 2,3 = 1,08$$

Secara grafis jaringan syaraf RBF yang dibentuk oleh 5 fungsi *basis* ditunjukkan pada Gambar 17.

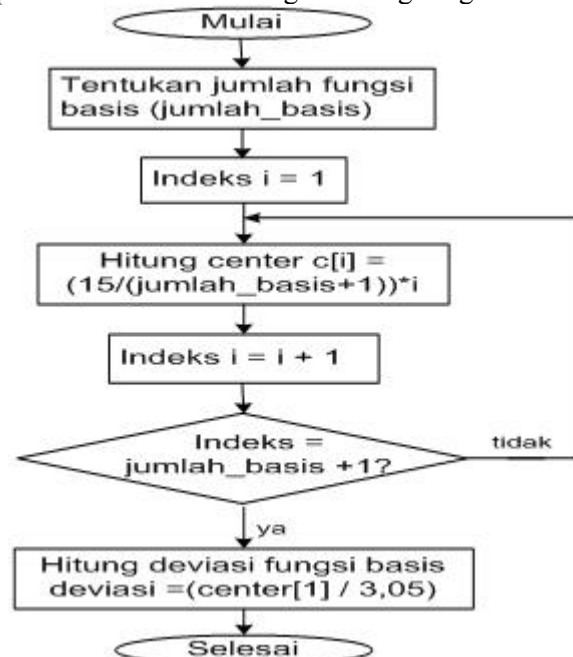


Gambar 17 Grafik jaringan RBF dengan 4 fungsi *basis*.

Pada jaringan RBF, 1 fungsi *basis* mempunyai 1 bobot sehingga jumlah memori yang dibutuhkan untuk menyimpan bobot adalah sebanyak fungsi *basis* yang digunakan + 1. Tambahkan 1 memori adalah untuk menyimpan bobot *basis*. Jika digunakan n masukan pada jaringan RBF, maka banyaknya memori yang diperlukan untuk menyimpan bobot adalah sebanyak (jumlah fungsi *basis*)<sup>n</sup> + 1.

### 3.5 Perancangan Algoritma Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan RBF

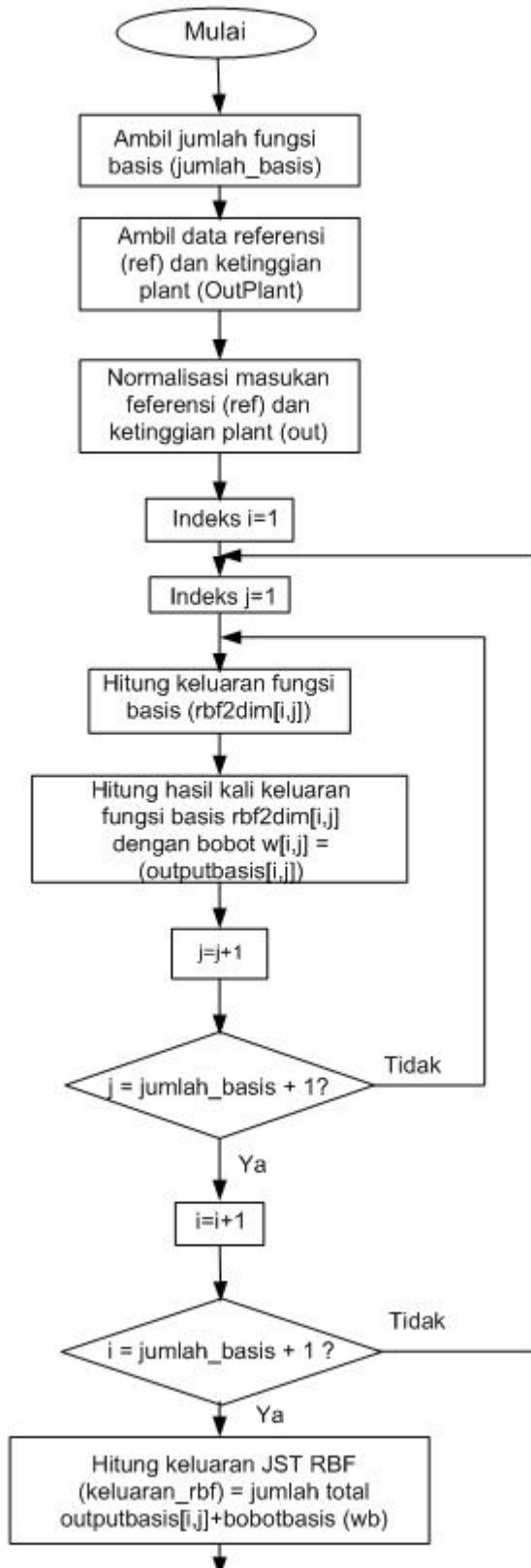
Tahap pertama yang perlu dilakukan pada perancangan algoritma kontrol jaringan syaraf RBF adalah merancang jaringan RBF yang akan digunakan. Untuk membentuk jaringan RBF diperlukan lebih dari 1 fungsi *basis*. Dengan masukan ternormalisasi antara 0 – 15 dan jumlah fungsi *basis* maksimal yang diperbolehkan adalah 15, proses perancangan jaringan RBF yang akan digunakan ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 18. Proses perancangan jaringan RBF meliputi penentuan jumlah fungsi *basis* yang digunakan, perhitungan *center* tiap fungsi *basis* dan penentuan *deviasi* masing – masing fungsi *basis*.



Gambar 18 Diagram alir perancangan jaringan RBF yang digunakan.



Langkah berikutnya adalah menghitung keluaran jaringan RBF dengan masukan yang diberikan yaitu ketinggian referensi dan ketinggian *plant*.

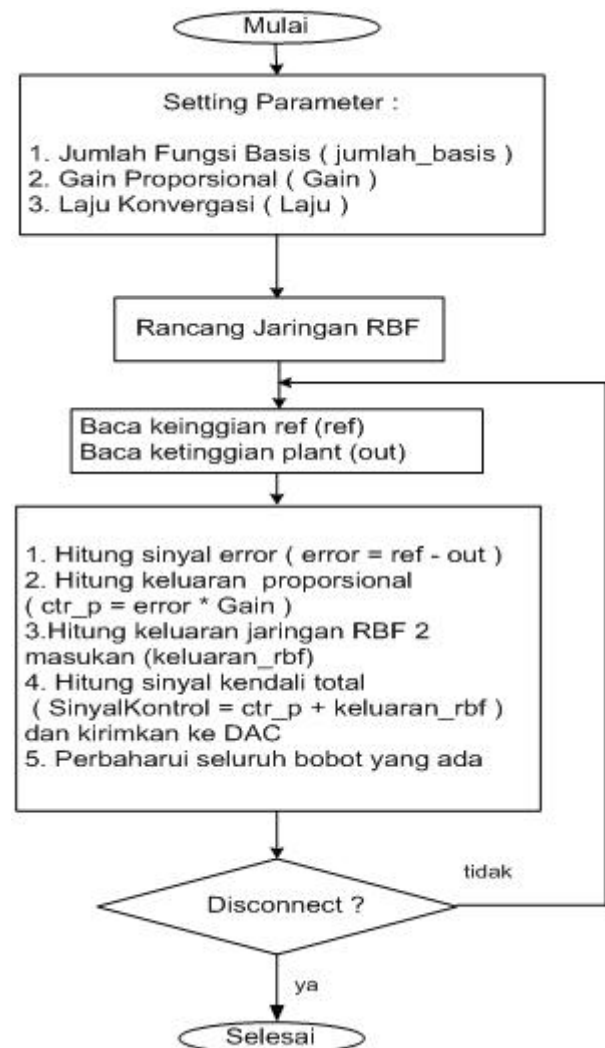


Gambar 19 Diagram alir perhitungan keluaran RBF 2 dimensi.

Aplikasi algoritma kontrol jaringan syaraf tiruan RBF secara keseluruhan ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 20 Proses kontrol diawali

1. Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP
2. Staf Pengajar Teknik Elektro UNDIP

dengan *setting* parameter jaringan RBF yang meliputi jumlah fungsi *basis* yang digunakan, *gain* proporsional dan laju konvergensi jaringan. Berdasarkan data parameter yang telah ditentukan, kemudian dirancang jaringan RBF sesuai dengan algoritma yang sudah ditentukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih antara ketinggian *plant* dan ketinggian referensi dalam level tegangan, digunakan untuk menghitung keluaran proporsional (*ctr\_p*). Di sisi lain, ketinggian *plant* dan ketinggian referensi digunakan sebagai masukan untuk jaringan syaraf. Sinyal kontrol yang dikirimkan ke *plant* adalah penjumlahan dari keluaran jaringan syaraf RBF dan keluaran proporsional (*ctr\_p*). Proses selanjutnya adalah pembaharuan bobot jaringan dengan menggunakan algoritma LMS menggunakan data latih berupa keluaran proporsional (*ctr\_p*).



Gambar 20 Diagram alir algoritma kontrol RBF.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

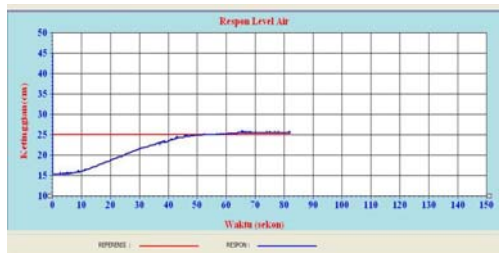
Pengujian jaringan syaraf RBF dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter jaringan syaraf RBF yaitu laju



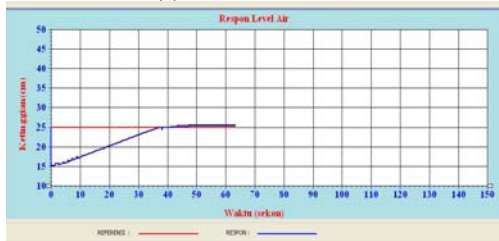
konvergensi, *gain* proporsional dan jumlah fungsi *basis* terhadap dinamika respon *plant* kendali ketinggian air. Pengujian juga dilakukan dengan gangguan pada sistem untuk menguji kestabilan sistem, dan pengujian terhadap perubahan referensi yang meliputi perubahan referensi naik dan perubahan referensi turun.

**4.1 Pengaruh Laju Konvergensi terhadap Transien Ketinggian Air**

Hasil pengujian pengaruh nilai *gain* proporsional pada jaringan RBF diperlihatkan pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23.

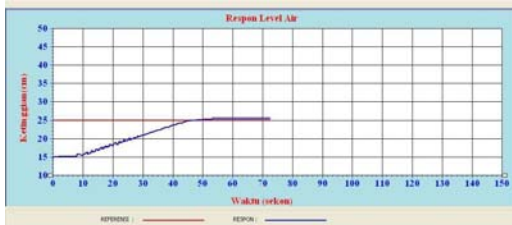


(a) Bobot awal nol.

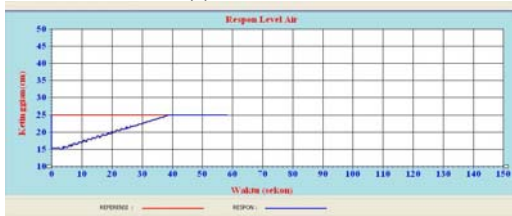


(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 21 Respon transien kendali RBF untuk referensi 25 cm *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3, jumlah fungsi *basis* 10.

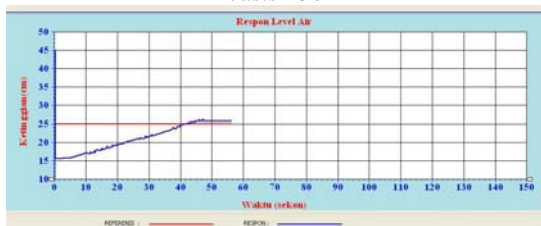


(a) Bobot awal nol.



(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 22 Respon transien kendali RBF untuk referensi 25 cm *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,8, jumlah fungsi *basis* 10.



Gambar 23 Respon transien kendali RBF untuk referensi 25 cm

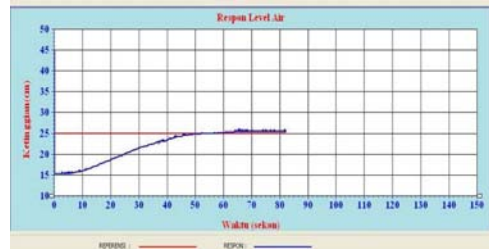
*gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 1, jumlah fungsi *basis* 10.

Tabel 1 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali RBF pada referensi 25 cm (ketinggian awal 15 cm) terhadap perubahan laju konvergensi.

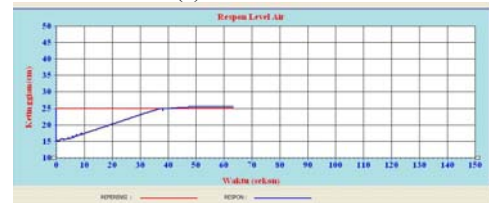
Parameter Unjuk Kerja	<i>Gain</i> Proporsional = 0,3 Laju konvergensi = 0,3 Jumlah fungsi <i>basis</i> = 10		<i>Gain</i> Proporsional = 0,3 Laju konvergensi = 0,8 Jumlah fungsi <i>basis</i> = 10	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
Waktu penetapan (detik)	64	48	54	38
Waktu naik (detik)	48	38	45	36

**4.2 Pengaruh *Gain* Proporsional terhadap Transien Ketinggian Air**

Hasil pengujian pengaruh nilai *gain* proporsional pada jaringan RBF diperlihatkan pada Gambar 24 dan Gambar 25.

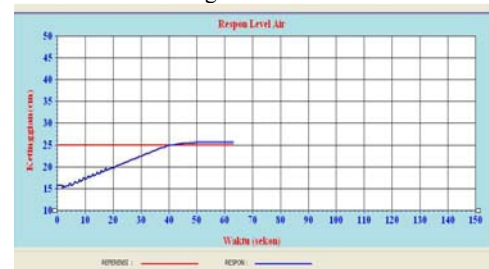


(a) Bobot awal nol.

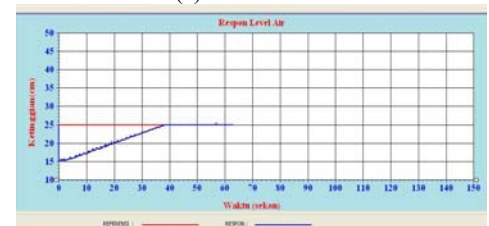


(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 24 Respon transien kendali RBF untuk referensi 25 cm *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3 dan jumlah fungsi *basis* 10.



(a) Bobot awal nol.



(b) Bobot hasil 2 kali pembelajaran.

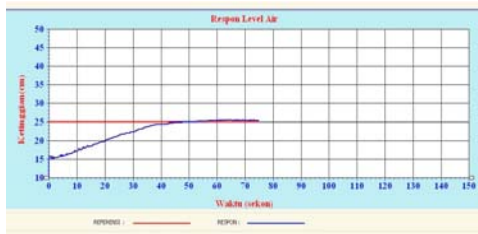
Gambar 25 Respon transien kendali RBF referensi 25 cm *gain* proporsional 0,8 dan laju konvergensi 0,3 jumlah fungsi *basis* 10.

Tabel 2 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali RBF pada referensi 25 cm (ketinggian awal 15 cm) terhadap perubahan gain proporsional.

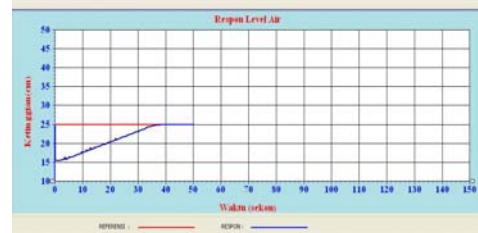
Parameter Unjuk Kerja	Gain Proporsional = 0,3 Laju konvergensi = 0,3 Jumlah fungsi basis = 10		Gain Proporsional = 0,8 Laju konvergensi = 0,3 Jumlah fungsi basis = 10	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
Waktu penetapan (detik)	64	48	46	38
Waktu naik (detik)	48	38	38	36

### 4.3 Pengaruh Nilai Jumlah Fungsi Basis terhadap Transien Ketinggian Air

Hasil pengujian pengaruh nilai jumlah fungsi basis pada RBF diperlihatkan pada Gambar 26 dan Gambar 27.

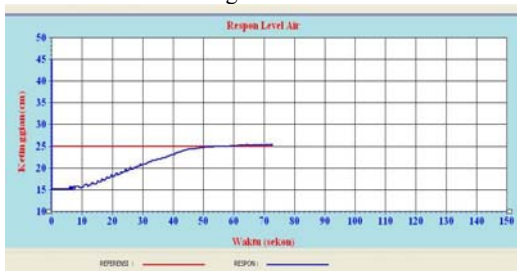


a) Bobot awal nol.

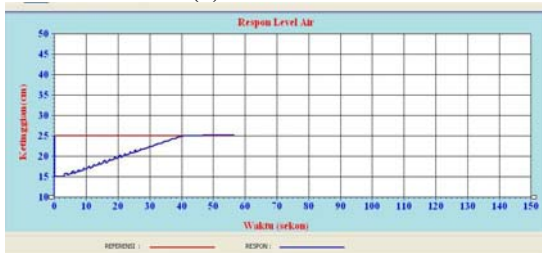


(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 26 Respon transien kendali RBF untuk referensi 25 cm gain proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3 dan jumlah fungsi basis 5.



(a) Bobot awal nol.



(b) Bobot hasil 2 kali pembelajaran.

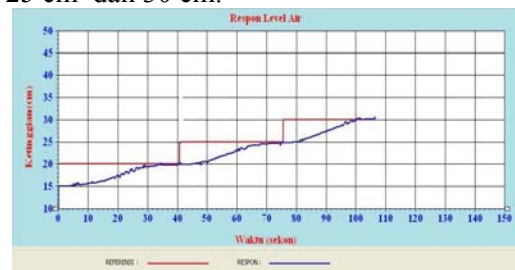
Gambar 27 Respon transien kendali RBF referensi 25 cm gain proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3 dan jumlah fungsi basis 14.

Tabel 3 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali RBF pada referensi 25 cm ( ketinggian awal 15 cm ) terhadap perubahan jumlah fungsi basis.

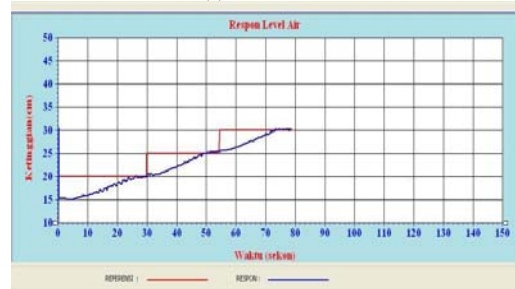
Parameter Unjuk Kerja	Gain Proporsional = 0,3 Laju konvergensi = 0,3 Jumlah fungsi basis = 5		Gain Proporsional = 0,3 Laju konvergensi = 0,3 Jumlah fungsi basis = 14	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
Waktu penetapan (detik)	58	38	62	48
Waktu naik (detik)	42	35	48	38

### 4.4 Pengujian Referensi Naik

Untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mengikuti perubahan referensi naik dilakukan pengujian dengan mengubah referensi mulai dari 20 cm, 25 cm dan 30 cm.



(a) bobot awal nol



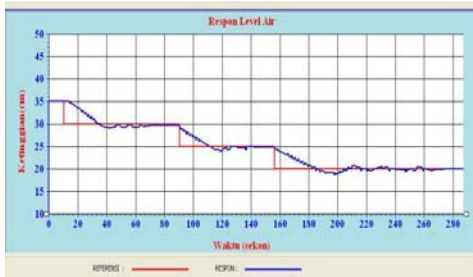
(b) bobot 2 kali pelatihan

### 4.5 Pengujian Referensi Turun

Hasil pengujian referensi turun pada jaringan RBF di tunjukkan pada Gambar 29.



(a) Bobot awal nol.

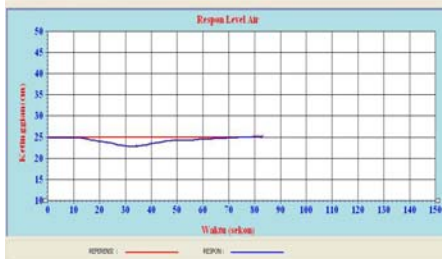


(a) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

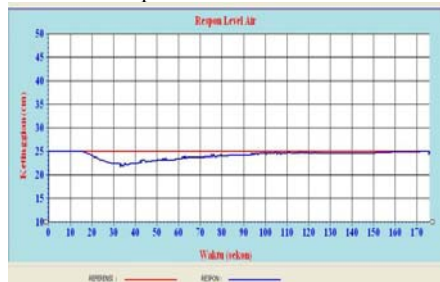
Gambar 29 Pengujian kendali RBF dengan perubahan referensi ketinggian turun, *gain* proporsional 0,6 dan laju konvergensi 0,6, jumlah fungsi *basis* 10, *valve* keluaran  $\frac{1}{2}$  buka penuh.

#### 4.6 Pengaruh Gangguan pada Respon Ketinggian Air

Hasil pengujian gangguan untuk RBF diperlihatkan pada Gambar 30 dan Gambar 31.



Gambar 30 Pengujian kendali RBF *gain* proporsional 0,6 dan laju konvergensi 0,3, jumlah fungsi *basis* 10, referensi ketinggian 25 cm, gangguan pembukaan *valve*  $\frac{1}{4}$  buka penuh pada detik ke-14.



Gambar 31 konvergensi 0,3, jumlah fungsi *basis* 10, referensi ketinggian 25 cm, gangguan pembukaan *valve*  $\frac{1}{2}$  buka penuh pada detik ke-16.

## V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang dilakukan didapatkan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Respon transien keluaran ketinggian air sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter kendali jaringan RBF, yaitu besarnya laju konvergensi, *gain* proporsional dan jumlah fungsi *basis*.
2. Pada pengujian transien sistem dengan posisi *valve* keluaran tertutup penuh, respon keadaan tunak dan waktu naik terbaik dengan menggunakan parameter *gain* proporsional 0,8, jumlah fungsi *basis* 10, dan laju konvergensi 0,3.

3. Pada pengujian pemberian gangguan dengan pembukaan *valve* keluaran  $\frac{1}{4}$  buka penuh dan pembukaan *valve* keluaran  $\frac{1}{2}$  buka penuh, memiliki unjuk kerja yang baik dalam mengatasi gangguan yang diberikan dengan menggunakan parameter *gain* proporsional 0,6, jumlah fungsi *basis* 10, dan laju konvergensi 0,3.
4. Pada kendali jaringan syaraf RBF penggunaan bobot hasil pelatihan akan meningkatkan unjuk kerja sistem baik terhadap referensi tetap, perubahan referensi, maupun pemberian gangguan.
5. Pengaruh perubahan referensi 20cm, 25cm, dan 30cm, jaringan RBF memiliki respon yang cukup baik untuk mencapai referensi.

### 5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan unjuk kerja dari sistem pengaturan ketinggian air dapat ditambahkan *valve* pengaturan pembuangan air, sehingga bila ketinggian air melebihi referensi dapat segera dikurangi.
2. Perlu adanya percobaan untuk menggunakan *valve* standar dalam pengendalian ketinggian air.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agfianto Eko Putra, "Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)", Gava Media, Yogyakarta, 2002.
- [2] Brown, Martin and Harris, *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [3] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Haykin, Simon, "Neural Networks- A Comprehensive Foundation", Macmillan Colege-Publishing Company Inc, 1994.
- [5] Kadir, Abdul, *Panduan Pemrograman Visual C++*, Andi Offset, Yogyakarta, 2004.
- [6] Kadir, Abdul, *Pemrograman C++*, Andi Offset, Yogyakarta, 2001.
- [7] Kusumadewi, Sri, *Artificial Intelligence*. Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- [8] Malvino, *Prinsip – Prinsip Elektronika*, Jakarta : Erlangga, 1996.
- [9] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [10] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1995.
- [11] Sears, Francis Weston dan Mark W.Zemansky disadur oleh Ir.Soedarjana dan

- Drs. Amir Achmad, *Fisika untuk Universitas 1*, Bina Cipta, 1994.
- [12] Setiawan, Iwan, "*Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kendali CMAC secara On-line*", Tesis S-2 Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2003.
- [13] .....[www.data2money.com/PDF/RBFpaper.pdf](http://www.data2money.com/PDF/RBFpaper.pdf).
- [14] .....<http://www.princeton.edu/~kung/ele571/30supervised-BP.ppt>.
- [15] .....<http://www.nada.kth.se/kurser/kth/2D1432/2004/rbf.pdf>.



**Hariyanto**

Lahir di Jepara, menyelesaikan pendidikan di SMU N 1 Mayong Jepara, melanjutkan pendidikan S1 di UNDIP Semarang. Saat ini sedang melanjutkan studinya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Kontrol.

Menyetujui / Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Wahyudi, ST, MT.**  
NIP. 132 086 662

**Iwan Setiawan, ST, MT.**  
NIP. 132 283 183