

# APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN *B-SPLINE* PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC PENGUAT TERPISAH 1HP

Purwo Nugroho<sup>1</sup>, Mochammad Facta<sup>2</sup>, Iwan Setiawan<sup>2</sup>  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
email : wowok\_albangkani@yahoo.com

**Abstrak** - Adanya perubahan-perubahan kondisi dalam perancangan pengendalian kecepatan putar motor DC penguatan terpisah 1 HP diharapkan tidak mempengaruhi kinerja motor DC. Untuk mengatasi keadaan ini, sebuah pendekatan plant dengan parameter-parameter lingkungan yang tidak diketahui dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan untuk beradaptasi yang berbeda-beda tergantung pada struktur jaringan dan algoritma yang digunakan. B-spline merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai pengendali plant secara on-line. Pada tugas akhir ini, pengujian dilakukan secara on-line terhadap kecepatan motor DC 1 HP menggunakan jaringan syaraf tiruan B-Spline ini. Rangkaian DC chopper yang disebut juga DC-DC converter merupakan rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengubah tegangan DC yang tetap menjadi tegangan DC yang variabel sesuai dengan level tegangan yang diinginkan baik dibawah atau diatas tegangan DC masukan melalui pengaturan kondisi on-off (duty cycle) rangkaian DC chopper. Rangkaian DC Chopper yang digunakan adalah DC chopper konfigurasi buck yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masuk.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk penggunaan parameter jaringan yang paling optimal menghasilkan respon dapat mencapai kestabilan pada referensi diinginkan. Pemilihan nilai laju konvergensi dan gain proporsional yang kecil, respon sistem lambat mencapai keadaan tunak, sedangkan untuk laju konvergensi dan gain proporsional yang besar menghasilkan respon sistem dengan waktu penetapan lebih cepat dengan overshoot yang lebih besar. Pengujian dengan gangguan menunjukkan bahwa respon sistem tetap kembali mengikuti referensi ketika diberikan gangguan. Pengujian keadaan motor DC 1 HP berbeban juga menunjukkan respon sistem yang kembali stabil mengikuti referensi kecepatan yang diberikan.

**Kata kunci** : Jaringan syaraf tiruan *B-SPLINE*, DC Chopper, kecepatan Motor DC.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang tidak atau sulit diketahui sebagai sebuah pendekatan sistem kendali. Hal ini memberikan inspirasi tentang pengaturan kecepatan motor DC 1 HP menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan penguatan terpisah yaitu tegangan jangkar dan medan yang terpisah.

Pengaturan motor DC yang selama ini pernah dilakukan adalah mengatur tegangan untuk magnet permanen. Sedangkan untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan penguatan terpisah pada sisi eksitasi medan dan tegangan jangkar yang berubah-ubah belum pernah dilakukan. Perubahan beban atau kondisi yang berubah-ubah terhadap sistem kendali motor DC 1 HP ini, diharapkan tidak mempengaruhi kecepatan atau dengan kata lain motor DC 1 HP ini mampu mempertahankan kecepatannya sesuai dengan referensi.

Untuk mengatasi masalah penentuan parameter yang sulit diketahui seperti pengaturan kecepatan motor DC 1 HP dengan penguatan terpisah, digunakan jaringan syaraf tiruan B-Spline sebagai sistem kendali. *Fixed Stabilizing Controller* adalah struktur kendali yang digunakan dalam pengaturan kecepatan motor DC ini. Sistem ini diimplementasikan dengan menggunakan

PC (Personal Computer) yang mampu melakukan proses komputasi kompleks, mengeset referensi, melakukan proses identifikasi, dan mampu membuat monitoring plant dengan ukuran memori yang besar.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengaplikasikan pengendali jaringan syaraf tiruan B-Spline sebagai kontrol kecepatan motor DC 1 HP penguatan terpisah untuk koreksi keadaan beban nol dan berbeban. Tujuan lain adalah mengamati respon motor DC 1 HP penguatan terpisah dengan JST B-Spline baik dalam kondisi nol tanpa beban dan kondisi berbeban. Kecepatan motor DC penguat terpisah diharapkan dapat segera mencapai referensi dan kembali menuju referensi semula jika diberi beban / gangguan.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Motor DC yang digunakan adalah motor DC 1 HP dengan penguat terpisah.
2. Pengaturan kecepatan putar motor DC dilakukan dengan mengatur frekuensi sumber menggunakan rangkaian DC Chopper dengan pemecuan pulsa width modulation (PWM).

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

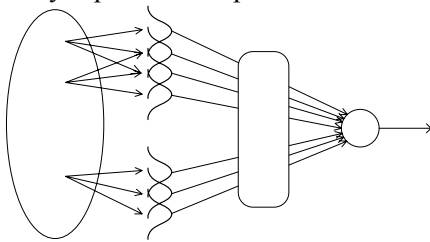
3. Jaringan syaraf yang digunakan adalah jenis B-Spline, dengan struktur pengendalian Fix Stabilizing Controller.
4. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot Jaringan Syaraf adalah algoritma LMS,
5. Pembuatan program bantu menggunakan Visual C++, interface melalui komunikasi serial, dan ADC 0804 serta DAC 0808.
6. Mikrokontroler AT89S51 digunakan sebagai pengatur aliran data untuk komunikasi serial dan DC Chopper konfigurasi buck.
7. Penentuan batasan nilai gain proporsional dan laju konvergensi yang digunakan pada pengujian dilakukan secara empiris.

**II. DASAR TEORI**

**2.1 Jaringan Syaraf Tiruan B-Spline**

*B-spline* adalah salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digolongkan dalam kelas AMN (*Associative Memory Network*) yang dapat menyimpan informasi secara lokal. Hal ini menyebabkan laju pembelajaran berlangsung relatif lebih cepat dan secara efisien dapat digunakan sebagai komponen pengendali *plant* secara *on-line*. Seperti halnya jaringan syaraf tiruan jenis AMN lainnya, keluaran *B-spline* merupakan kombinasi bobot-bobot adaptif dari jumlah fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan tertentu.

Jumlah fungsi basis yang memberi kontribusi pada keluaran *B-spline* adalah konstan yaitu sebanyak  $\rho$ . Struktur jaringan syaraf *B-spline* untuk masukan  $x$  dan keluaran  $y$  diperlihatkan pada Gambar 1<sup>[2]</sup>.



Gambar 1 Diagram blok jaringan syaraf tiruan *B-spline*.

Untuk masukan  $x$  dan keluaran  $y$  diperoleh keluaran *B-spline* yaitu :

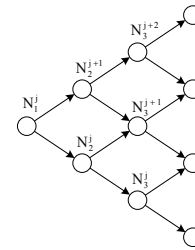
$$y(t) = \sum_{i=1}^{\rho} a_i(t)w_i(t-1) \dots\dots\dots (1)$$

- dengan :
- $w_i(t-1)$  = nilai bobot ke- $i$  pada saat  $t-1$
  - $a_i(t)$  = keluaran fungsi basis ke- $i$
  - $y(t)$  = keluaran jaringan syaraf pada saat  $t$

**2.1.1 Univariate Basis Function**

Keluaran fungsi basis dapat dihitung dengan menggunakan hubungan *recurrence* [Cox,1972,

DeBoor, 1972]<sup>[2]</sup>. Hubungan *recurrence* tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan *recurrence*.

Keluaran fungsi basis dapat dihitung dengan menggunakan hubungan *recurrence* dibawah ini :

$$N_k^j(x) = \left( \frac{x - \lambda_{j-k}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-k}} \right) N_{k-1}^{j-1}(x) + \left( \frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-k+1}} \right) N_{k+1}^j(x) \dots\dots\dots(2)$$

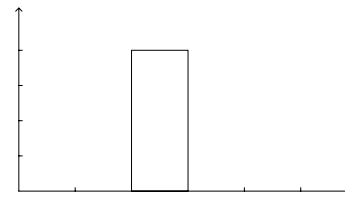
$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ = 0, \text{ lainnya}$$

dengan :  $\lambda_j$  = knot (posisi) ke- $j$  dan  $I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j)$  adalah interval ke- $j$

- $k$  = orde fungsi basis
- $x$  = masukan
- $N$  = keluaran fungsi basis

**2.1.2 Fungsi Basis Orde 1**

Fungsi basis untuk orde1 ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Fungsi basis orde 1.

Misal  $N_1^j$  adalah fungsi basis ke- $j$  dan  $I_j$  adalah interval ke- $j$  ( $\lambda_{j-1}, \lambda_j$  maka keluaran fungsi basis orde 1 untuk masukan  $x$  adalah :

$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \dots\dots\dots(3) \\ = 0, \text{ lainnya}$$

Secara matematis persamaan diatas dapat diimplementasikan oleh fungsi berikut :

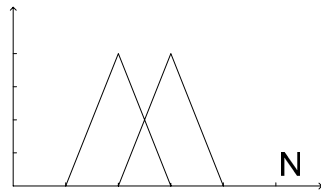
$$j = \lceil x \rceil \dots\dots\dots(4) \\ N(j) = 1 \\ \lceil \rceil : \text{ Fungsi ceil.}$$

**2.1.3 Fungsi Basis Orde 2**

Fungsi basis untuk orde 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.

Keluaran fungsi basis orde 2 untuk masukan  $x$  adalah :

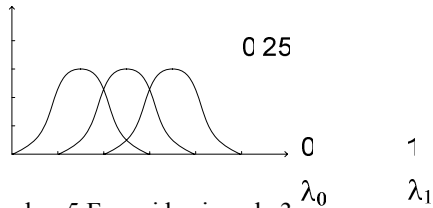
$$N_2^j(x) = \left( \frac{x - \lambda_{j-2}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-2}} \right) N_1^{j-1}(x) + \left( \frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-1}} \right) N_1^j(x) \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 4 Fungsi basis orde 2.

**2.1.4 Fungsi Basis Orde 3**

Fungsi basis untuk orde 3 ditunjukkan oleh Gambar 5.



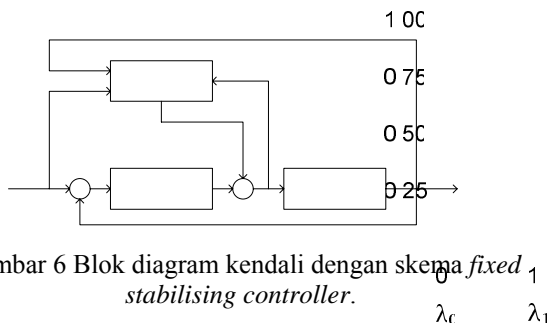
Gambar 5 Fungsi basis orde 3.

Keluaran fungsi basis orde 3 untuk masukan x adalah :

$$N_3^j(x) = \left( \frac{x - \lambda_{j-3}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-3}} \right) N_2^{j-2}(x) + \left( \frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-2}} \right) N_2^j(x) \dots (6)$$

**2.2 Struktur Kendali Fixed Stabilizing Controller**

Fixed stabilizing 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 stabilizing controller ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Blok diagram kendali dengan skema fixed stabilizing controller.

**2.3 Algoritma LMS (Least Mean Square)**

Algoritma LMS merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk pembelajaran atau pembaharuan bobot jaringan syaraf. Secara matematis algoritma LMS untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf dituliskan sebagai berikut :

$$w(k+1) = w(k) + \alpha \cdot [d(k) - y(k)] \cdot x(k) \dots (7)$$

Dimana :

- w(k+1) : Bobot pada cacah ke k+1
- w(k) : Bobot pada cacah ke k
- α : Laju konvergensi ( 0 < α < 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

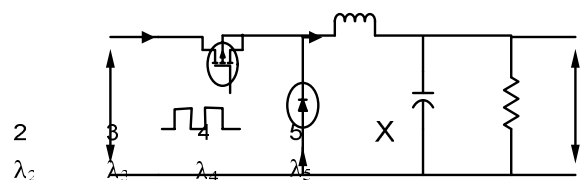
**2.4 Algoritma Pelatihan B-spline secara Iteratif**

Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan B-spline secara iteratif adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 : Menentukan orde B-spline yang akan digunakan.
- Langkah 2 : Melakukan inisialisasi bobot. Menentukan laju konvergensi. Menentukan gain proporsional.
- Langkah 3 : Untuk setiap sinyal latih dikerjakan langkah 4 sampai dengan langkah 9.
- Langkah 4 : Menghitung keluaran fungsi basis tiap masukan dengan menggunakan hubungan recurrence.
- Langkah 5 : Menghitung keluaran fungsi basis 2 dimensi.
- Langkah 6 : Menghitung keluaran B-spline.
- Langkah 7 : Menghitung kesalahan (error) antara sinyal terlatih (d) dengan keluaran B-spline (y). error = d – y
- Langkah 8 : Menghitung keluaran sinyal kontrol (Control\_P) Control\_P = Gain proposional \* error.
- Langkah 9 : Memperbaharui bobot-bobot dengan metoda LMS.

**2.5 DC Chopper Konfigurasi Buck**

DC Chopper konfigurasi buck atau biasa disebut dengan step down converter, memiliki prinsip kerja yang unik. Keunikan ini dikarenakan dc chopper konfigurasi buck memiliki kemampuan untuk mengkonversi tegangan DC ke tegangan DC dengan pengaturan yang ditentukan sehingga dapat berfungsi sebagai penurun tegangan DC sesuai dengan magnitudo yang dikehendaki.



Gambar 7 Rangkaian dc chopper konfigurasi buck

Pada regulator buck, tegangan keluaran rata-rata Va, lebih kecil dibandingkan tegangan masukan –Vs, sehingga nama “buck,” menjadi regulator yang populer

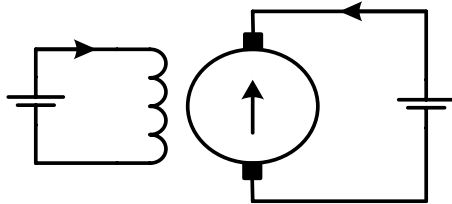
Cara kerja rangkaian dapat dibagi menjadi dua mode. Pada saat mode 1, MOSFET T1 mengalami kondisi on arus mengalir dari suplai DC menuju ke filter induktor, filter kapasitor dan beban resistor. Pada saat ini terjadi proses pengisian energi ke induktor dalam waktu yang tertentu dan arus yang mengalir ke induktor naik secara linier dari I1 ke I2 pada waktu t1.

Sedangkan pada saat mode 2, MOSFET T1 mengalami kondisi off arus dialirkan oleh dioda Dm kembali menuju filter induktor, filter kapasitor dan beban resistor. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir melalui induktor turun secara linier dari I2 ke

I1 pada waktu t2 sampai MOSFET T1 kembali pada kondisi on pada siklus berikutnya.

**2.6 Motor Arus Searah**

Motor arus searah ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah (DC) menjadi tenaga mekanis diaman tenaga gerak tersebut berupa putaran daripada rotor. Antara motor arus searah dengan generator arus searah tidak ada perbedaan konstruksi. Pada prinsipnya motor arus searah “dapat dipakai” sebagai generator arus searah, sebaliknya generator arus searah “dapat dipakai” sebagai motor arus searah.



Gambar 8. Rangkaian ekuivalen motor dc penguat terpisah

Dari rumus umum motor arus searah untuk menentukan titik dimana dapat dilakukan pengaturan kecepatan adalah sebagai berikut :

$$E_b = C \cdot N \cdot \phi \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- E<sub>b</sub> : gaya gerak listrik lawan (V)
- C : konstanta
- N : kecepatan putaran jangkar (rps)
- φ : flux magnet (Wb)

$$E_b = V_t - I_a \cdot R_a \dots\dots\dots(9)$$

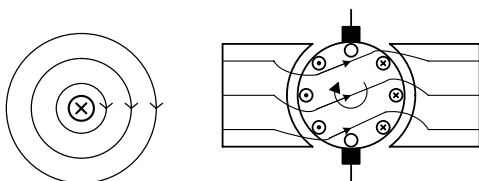
dimana :

- V<sub>t</sub> : tegangan terminal (V)
- I<sub>a</sub> : arus jangkar (A)
- R<sub>a</sub> : tahanan jangkar (Ω)

Dari dua buah persamaan diatas digabungkan :

$$N = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{C \phi} \dots\dots\dots(10)$$

Dari persamaan diatas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan putar jangkar dapat diatur diantaranya dengan mengubah nilai φ (mengubah tegangan atau arus lilitan medan), R<sub>a</sub> (memberikan resistor seri terhadap R<sub>a</sub>), dan V<sub>t</sub> (mengubah tegangan terminal lilitan jangkar)



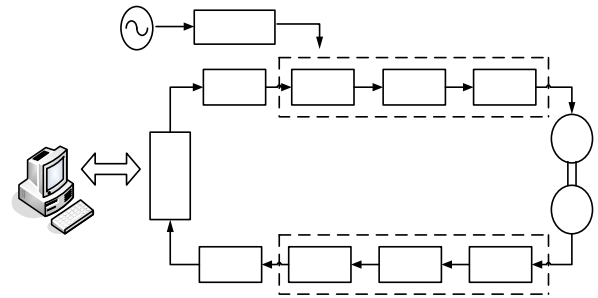
Gambar 9 Arah medan magnet dan putar jangkar

Pada pusat gambar 9 terdapat sebuah penghantar yang arah arus listriknya menjauhi mata pembaca akan menimbulkan medan magnet yang

searah jarum jam, dan bila penghantar berarus tersebut berada dalam garis-garis gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua buah kutub magnet yang berlawanan kutub akan menimbulkan gaya gerak pada penghantar tersebut. Arah gaya gerak penghantar menyebabkan jangkar berputar sesuai dengan arah panah yang memutar. Penunjukkan arah gaya gerak penghantar berarus tersebut sesuai dengan kaidah tangan kiri Fleming.

**III. PERANCANGAN SISTEM**

**3.1 Perancangan Perangkat Keras**



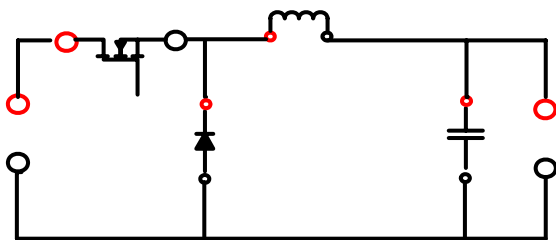
Gambar 10 Diagram blok sistem.

Secara umum perancangan perangkat sistem alat pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa yang dibuat mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Motor DC  
Sebagai plant sistem yang dikendalikan. Motor DC yang digunakan motor DC dengan penguat terpisah.
- Generator AC  
Befungsi sebagai beban yang dikopelkan ke motor DC.
- Rectifier  
Untuk menyearahkan tegangan I<sub>a</sub> AC 220 V 50 Hz menjadi tegangan DC + 12V dan - 12V
- DC Chopper  
Befungsi untuk menghasilkan tegangan E<sub>b</sub> pemicuan ke motor V<sub>t</sub> DC. Tegangan ini akan menentukan besarnya kecepatan motor DC.
- Personal Komputer  
Befungsi sebagai unit kontroler untuk menghasilkan kendali berbasis jaringan syaraf tiruan B-Spline. Selain itu befungsi untuk memberikan set-point kecepatan dan menampilkan grafik respon sistem dan menyimpan data ke file untuk keperluan analisis
- Mikrokontroler AT89S51  
Befungsi sebagai pengatur aliran data dari ADC (data dari sensor kecepatan) dan untuk mengatur tegangan pemicuan dari DC Chopper
- Sistem Sensor Kecepatan  
Befungsi untuk mengetahui kecepatan motor DC dan sebagai umpan balik dari sistem kendali. Menggunakan piringan dengan rangkaian optokopler, rangkaian F to V, serta rangkaian pengkondisi signal dan ADC 0804.

### 3.1.1 DC Chopper

DC Chopper atau sering disebut DC-DC Converter merupakan elektronika daya yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC yang dapat diubah-ubah sesuai dengan tegangan yang diinginkan melalui pengaturan kondisi on-off (duty cycle). Salah satu konfigurasi rangkaian DC Chopper adalah buck, dimana mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC sesuai dengan pengaturan yang berfungsi sebagai penurun tegangan DC dengan magnitudo yang diinginkan. Rangkaian DC Chopper konfigurasi buck dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini :



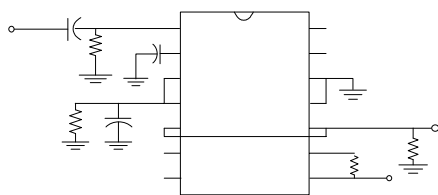
Gambar 11 Dc Chopper konfigurasi Buck

### 3.1.2 Sistem Sensor Kecepatan

Sistem sensor kecepatan meliputi sensor *optocoupler*, rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan, pengkondisi sinyal dan rangkaian pengubah tegangan analog ke digital. Keluaran sensor *optocoupler* berupa gelombang kotak dengan frekuensi yang berbeda-beda tergantung dari kecepatan putar motor DC.

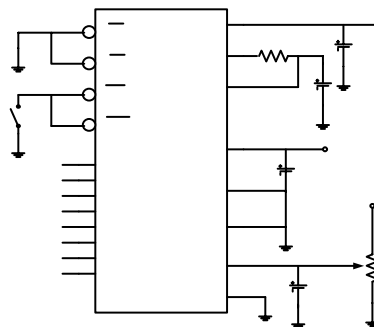
Rangkaian IC LM2917 digunakan sebagai rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan. Besarnya tegangan keluaran sebanding dengan frekuensi gelombang kotak *optocoupler*. Desain rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan ditunjukkan Gambar 12.

Penguat *non-inverting* digunakan untuk menguatkan tegangan sebelum diteruskan ke rangkaian ADC 0804.



Gambar 12 Rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan.

Rangkaian ADC ini dirancang pada mode kerja *free running* yang memungkinkan ADC 0804 untuk terus menerus mengkonversi tegangan input yang diberikan. Rangkaian *free running* ADC ditunjukkan Gambar 13.



Gambar 13 Rangkaian *Free running* ADC

Mode kerja *free running* ADC diperoleh jika  $\overline{RD}$  dan  $\overline{CS}$  dihubungkan ke *ground* agar selalu mendapat logika 0 sehingga ADC akan selalu aktif dan siap memberikan data. Pin  $\overline{WR}$  dan  $\overline{INTR}$  dijadikan satu karena perubahan logika  $\overline{INTR}$  sama dengan perubahan logika pada  $\overline{WR}$ , sehingga pemberian logika pada  $\overline{WR}$  dilakukan secara otomatis oleh keluaran  $\overline{INTR}$ .

### 3.2 Perancangan Program Mikrokontroller

Pada perancangan program mikrokontroller, mikrokontroller AT89S51 sebagai jalur komunikasi data dari komputer (data perintah) ke perangkat keras dan sebaliknya, dari perangkat keras berupa data hasil pengukuran ke komputer untuk diolah. Data berupa tegangan digital medan dan jangkar dikirimkan dari komputer ke rangkaian DAC 0808 dan melakukan pengukuran kecepatan motor DC saat ada interupsi serial dari komputer. Data digital berupa kecepatan motor DC dari rangkaian ADC 0804 dikirimkan kembali ke komputer untuk diolah.

```

=====
;
; INISIALISASI MODE SERIAL DAN BAUDRATE
;
=====
MAIN: MOV     TMOD,#20H
      MOV     SCON,#50H
      MOV     TH1,#0F3H
      SETB   TR1
      MOV     SP,#2FH
      MOV     R7,#00H
      SETB   ES
      SETB   EA
;
;
; TERIMA ID
;
ID_MEDAN:
      CJNE   A,#44,ID_JANGKAR
      MOV    R7,A
      AJMP  EXIT
ID_JANGKAR:
      CJNE   A,#55,NOT_ID
      MOV    R7,A
NOT_ID :
      AJMP  EXIT
;
;
; TERIMA DATA
;
DATA_MEDAN:
      CJNE   R7,#44,DATA_JANGKAR
      MOV    P0,A      ; KIRIM DATA FREK KE MIKRO2
      MOV    R7,#0
      AJMP  BACA_ADC
DATA_JANGKAR:
      MOV    P2,A
      MOV    R7,#0
BACA_ADC:
      MOV    A,P1      ; AMBIL DATA ADC

```

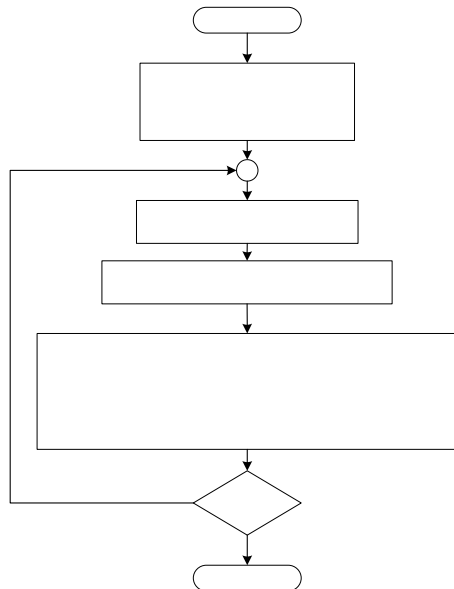
```

MOV     SBUF,A
JNB     TI,$
CLR     TI
EXIT:
POP     ACC
POP     PSW
RETI
END
    
```

### 3.3 Perancangan Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan B-Spline

Perancangan kendali jaringan syaraf B-spline meliputi penentuan jangkauan nilai masukan, penentuan gain proporsional, penentuan laju konvergensi, penentuan orde fungsi basis dan perancangan algoritma kendali jaringan syaraf B-spline. Perancangan ini untuk memberikan batasan terhadap besarnya parameter pengendali yang digunakan.

Pada sistem pengendalian jaringan syaraf tiruan menggunakan struktur kendali *fixed stabilising controller* terdapat dua variabel yang menjadi masukan *B-spline*, yaitu referensi dan kecepatan aktual motor DC. Secara keseluruhan diagram alir proses pengendalian kecepatan ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Diagram alir kendali ketinggian air.

Proses pengendalian kecepatan motor DC diawali dengan menentukan besarnya gain proporsional, laju konvergensi dan menentukan orde fungsi basis yang digunakan. Langkah berikutnya yaitu membaca referensi dan kecepatan motor DC dari sensor, setelah itu dinormalisasi. Dari data-data yang didapat digunakan untuk menghitung besarnya sinyal kendali akan yang dikirim ke mikrokontroler. Setelah sinyal kendali dikirimkan kemudian bobot-bobot yang diaktifkan diperbaharui, apabila proses tidak dihentikan maka akan mengulang kembali mulai dari membaca referensi sampai dengan memperbaharui bobot secara terus menerus.

## IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

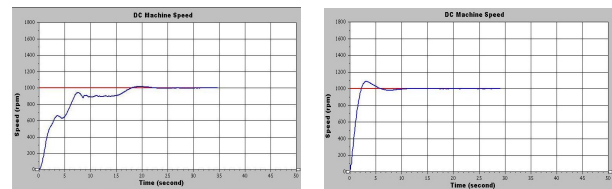
### 4.1 Pengujian Kontroller Jaringan Syaraf B-Spline

Pada pengujian ini akan diteliti lebih jauh pengaruh pemilihan parameter jaringan terhadap dinamika sistem meliputi laju konvergensi, gain proporsional dan parameter generalisasi yang dilakukan secara empiris.

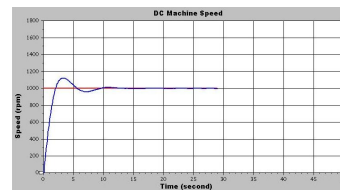
#### 4.2.1 Pengaruh Nilai Laju Konvergensi terhadap Kecepatan Transien

Pemilihan laju konvergensi akan mempengaruhi laju pembelajaran, laju konvergensi yang kecil mengakibatkan sistem lama mencapai keadaan tunak karena proses pembelajaran menjadi relatif lama, sedangkan laju konvergensi yang besar mengakibatkan lonjakan yang besar pada respon transien sistem.

#### A. Pada tegangan jangkar



Gambar 15 Respon transien kendali tegangan jangkar B-Spline orde 1 untuk referensi 1000 rpm laju konvergensi 0,3



Gambar 16 Respon transien kendali tegangan jangkar B-Spline orde 1 untuk referensi 1000 rpm laju konvergensi 0,5

Tabel 1 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 1000 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

Parameter	Laju konv. = 0,3		Laju konv. = 0,5	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	23,7	11,1	23,6	12,2
Waktu naik (detik)	18,2	2,3	12	2
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	78,8	24,9	66,2	25,8
Waktu naik (detik)	78,2	2,2	56,6	3,1
ORDE 3				
Waktu penetapan (detik)	18,7	55,4	17,9	
Waktu naik (detik)	2,2	48,2	2,1	

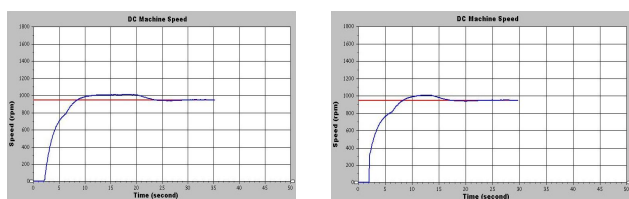
- Setting Parameter :
1. Gain Proporsional (Gain - P)
  2. Laju Konvergensi (Alpha)
  3. Orde Fungsi Basis

Dari Gambar di atas dapat dilihat bahwa sistem kendali dengan laju konvergensi 0,5 pada saat

menggunakan bobot awal nol relatif sama dalam mencapai kestabilan dan waktu capainya juga lebih kecil dibandingkan dengan sistem yang menggunakan laju konvergensi sebesar 0,3. Pada sistem menggunakan bobot hasil 2 kali pelatihan, waktu penetapan relatif lebih cepat dengan laju konvergensi 0,5 daripada dengan laju konvergensi 0,3. Hal ini menunjukkan adanya pelatihan bobot akan memperkecil waktu penetapan dan membuat waktu capai semakin cepat.

### B. Pada tegangan medan

Secara umum, pada pengaturan tegangan medan, semakin besar nilai laju konvergensi, maka respon sistem akan semakin cepat. Ini terlihat dari semakin cepatnya waktu penetapan sistem menuju keadaan stabil sesuai referensi dengan besar waktu naik yang relatif sama.



Gambar 17 Respon transien kendali tegangan medan B-Spline orde 1 untuk referensi 950 rpm laju konvergensi 0,3



Gambar 18 Respon transien kendali tegangan medan B-Spline orde 1 untuk referensi 950 rpm laju konvergensi 0,5

Hasil pengujian pada sistem dengan pengendali *B-spline* orde 1, orde 2 dan orde 3 menunjukkan bahwa nilai laju konvergensi berpengaruh terhadap waktu capai dan waktu penetapan respon sistem. Semakin besar laju konvergensi yang dipergunakan akan memperkecil waktu penetapan dan waktu naik.

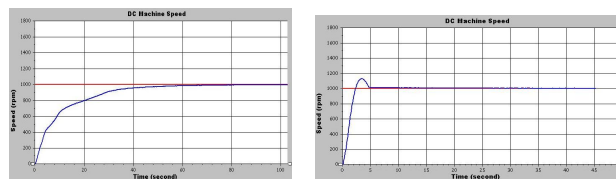
Tabel 2 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 1000 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	Laju konv. = 0,3		Laju konv. = 0,5	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	30,1	27,3	28,1	24,7
Waktu naik (detik)	16,6	13,1	15,1	13,6
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	46,8	38,5	43	36,5
Waktu naik (detik)	16,1	9,5	17	8,6
ORDE 3				
Waktu penetapan (detik)	46,1	27,7	32,5	25,5
Waktu naik (detik)	8,4	8,4	8,3	8,2

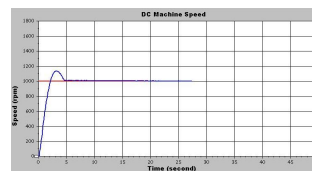
### 4.2.2 Pengaruh Nilai Gain Proporsional terhadap Kecepatan Transien

Pada sistem kendali dengan skema kendali *Fixed Stabilising Controller* keluaran jaringan *B-spline* dipengaruhi oleh besarnya nilai *gain* proporsional. Sinyal kendali merupakan penjumlahan dari keluaran *gain* proporsional dengan keluaran jaringan syaraf tiruan *B-spline*, selain itu *gain* proporsional digunakan sebagai data latih dalam jaringan syaraf tiruan. Nilai *Gain* proporsional sendiri dipengaruhi oleh besarnya *error*. Pada pengujian ini dipilih 2 buah nilai *gain* yang besarnya relatif berbeda, dengan besar nilai laju konvergensi

#### A. Pada tegangan jangkar



Gambar 19 Respon transien kendali tegangan jangkar B-Spline orde 2 untuk referensi 1000 rpm dan gain proporsional 0,3



Gambar 20 Respon transien kendali tegangan jangkar B-Spline orde 2 untuk referensi 1000 rpm dan gain proporsional 0,5

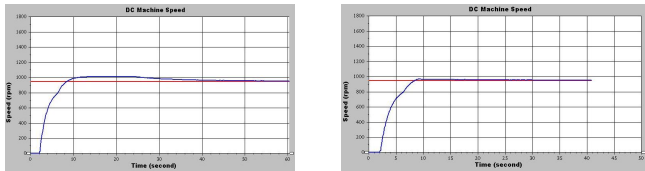
Pada laju konvergensi 0,4 dan gain proporsional 0,3, waktu penetapan semakin cepat setelah ada pelatihan terhadap sistem oleh kendali *B-Spline* orde 2 bila dibandingkan dengan bobot awal. Dan waktu capai setelah pelatihan juga relatif semakin cepat bila dibandingkan ketika bobot awal.

Tabel 3 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 1000 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	Gain Prop. = 0,3		Gain Prop. = 0,5	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	32,3	15,7	27,1	12,7
Waktu naik (detik)	21,8	2,7	15,5	10
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	100,8	29,1	68,1	21
Waktu naik (detik)	98,6	2,2	65,3	2,1
ORDE 3				
Waktu penetapan (detik)	89,3	25	65,1	15,8
Waktu naik (detik)	80,2	2,3	51,4	2,1

Pada gain proporsional yang lebih tinggi yaitu 0,5 dan laju konvergensi 0,4, diperoleh waktu capai dan waktu penetapan yang semakin cepat untuk bobot setelah pelatihan. Hal ini menunjukkan dengan adanya pelatihan kendali B-Spline membuat respon sistem semakin baik, waktu penetapan dan waktu capai relatif semakin cepat.

**B. Pada tegangan medan**



Gambar 21 Respon transien kendali tegangan medan B-Spline orde 2 untuk referensi 950 rpm gain proporsional 0,3



Gambar 22 Respon transien kendali tegangan medan B-Spline orde 2 untuk referensi 950 rpm gain proporsional 0,5

Secara umum, pada pengaturan tegangan medan, semakin besar nilai gain proporsional, maka mempengaruhi kinerja respon sistem yaitu semakin cepat. Ini terlihat dari semakin cepatnya waktu penetapan sistem menuju keadaan stabil sesuai referensi dengan besar waktu naik yang relatif sama. Terlihat juga bahwa dengan perubahan gain proporsional yang semakin besar akan membuat overshoot semakin kecil.

Tabel 4 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali B-spline pada referensi 1000 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

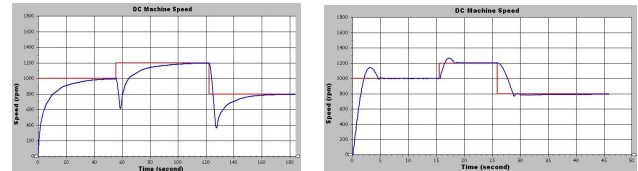
Parameter Unjuk Kerja	Laju konv. = 0.4 Gain Prop. = 0,3		Laju konv. = 0.4 Gain Prop. = 0.5	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	29,1	22,4	28,1	22
Waktu naik (detik)	8,7	8,7	8,3	8,3
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	52,5	30	38,8	25
Waktu naik (detik)	8,7	8,6	8,3	8,3
ORDE 3				
Waktu penetapan (detik)	43,6	30,2	35,2	25,5
Waktu naik (detik)	8,4	8,4	8,1	8,1

Hasil pengujian pada sistem dengan pengendali B-spline orde 1, orde 2 dan orde 3 menunjukkan bahwa nilai gain proporsional berpengaruh terhadap waktu capai dan waktu penetapan respon sistem. Semakin besar gain proporsional yang dipergunakan akan memperkecil waktu penetapan dan waktu naik.

**4.2.3 Pengaruh Perubahan Referensi terhadap Transien Kecepatan Motor DC**

Pengujian terhadap pengaruh perubahan referensi dilakukan dengan cara menaikkan referensi kecepatan motor DC setelah kecepatan motor DC ini mencapai kestabilan. Pengujian ini dilakukan pada pengaturan tegangan jangkar dan medan untuk mengetahui kemampuan kendali B-spline dalam mengikuti perubahan referensi yang berubah naik atau turun pada beberapa tahap.

**A. Pada tegangan jangkar**



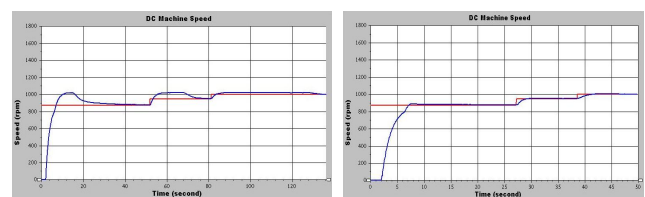
Gambar 23 Respon transien kendali tegangan jangkar B-Spline orde 3 untuk perubahan referensi 1000, 1200 dan 800 rpm

Hasil pengujian pada sistem dengan pengendali B-spline untuk tegangan jangkar orde 1, orde 2 dan orde 3 menunjukkan bahwa ketika terjadi perubahan nilai referensi yang diberikan maka kecepatan motor DC akan mengikuti. Terlihat juga bahwa dengan pelatihan jaringan syaraf tiruan B-Spline akan mempengaruhi kinerja respon sistem dengan baik.

Tabel 5 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali B-spline pada referensi 1000, 1200, 800 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	1000 RPM		1200 RPM		800 RPM	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
ORDE 1						
Waktu penetapan (detik)	19,6	15,7	45,8	22,9	89,4	47,7
Waktu naik (detik)	13,7	2,1	39,2	17,7	76,6	33,5
ORDE 2						
Waktu penetapan (detik)	56,7	5,9	115,9	21,3	156,2	44,6
Waktu naik (detik)	50,4	1,8	111,5	17,5	155,2	41,5
ORDE 3						
Waktu penetapan (detik)	55,4	5	119,1	24,6	183,9	44,7
Waktu naik (detik)	54,3	2,1	111,5	16,6	182,8	40,8

**B. Pada tegangan medan**



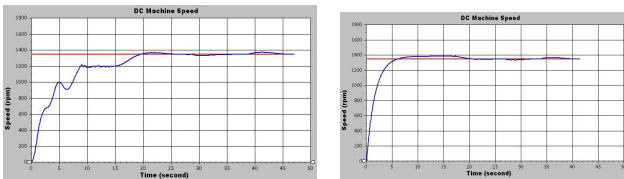
Gambar 24 Respon transien kendali tegangan medan B-Spline orde 3 untuk perubahan referensi 875, 950 dan 1000 rpm

Hasil pengujian pada sistem dengan pengendali *B-spline* orde 1, orde 2 dan orde 3 pada pengendalian tegangan medan menunjukkan bahwa ketika terjadi perubahan nilai referensi yang diberikan maka kecepatan motor DC akan mengikuti. Terlihat juga bahwa dengan pelatihan jaringan syaraf tiruan *B-Spline* akan mempengaruhi kinerja respon sistem dengan baik.

Tabel 6 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 875 rpm 950 rpm dan 1000 rpm terhadap perubahan laju konvergensi pada tegangan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	875 RPM		950RPM		1000 RPM	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
ORDE 1						
Waktu penetapan (detik)	13,7	14,5	28	27,3	48,3	41,2
Waktu naik (detik)	7,1	7	22,7	22,3	37,1	35,1
ORDE 2						
Waktu penetapan (detik)	42	22,3	77,6	32,2	122	50,4
Waktu naik (detik)	7,2	7,1	44,5	25	81,9	42,7
ORDE 3						
Waktu penetapan (detik)	50,5	27,2	80,7	38,4	135,5	48,8
Waktu naik (detik)	7,1	7,1	53,5	29,2	83,7	41,3

#### 4.2.7 Pengujian Keadaan Berbeban



Gambar 25 Respon transien kendali tegangan jangkar *B-Spline* orde 1 untuk keadaan berbeban 3 x 60 watt lampu pijar

Tabel 7 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada tegangan jangkar untuk keadaan berbeban 3 x 60 watt lampu pijar.

Parameter Unjuk Kerja	Keadaan berbeban lampu pijar 3 X 60 watt	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
ORDE 1		
Waktu penetapan (detik)	25,4	24
Waktu mengatasi gangguan (detik)	7	5
ORDE 2		
Waktu penetapan (detik)	93,5	42
Waktu mengatasi gangguan (detik)	13,3	11
ORDE 3		
Waktu penetapan (detik)	84,6	46,2
Waktu mengatasi gangguan (detik)	19	16

Dari gambar terlihat bahwa pada pengaturan tegangan jangkar motor DC 1 HP akan mengikuti referensi kembali setelah diberi pembebanan. Dengan adanya bobot pelatihan akan memperbaiki kinerja sistem yaitu mempercepat waktu capai dan waktu

penetapan baik sebelum diberi beban maupun setelah diberi beban.

## IV. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengendali jaringan syaraf tiruan *B-Spline* dapat diaplikasikan dengan baik untuk pengaturan kecepatan motor DC 1 HP penguatan terpisah dengan respon sesuai referensi yang diinginkan pada keadaan tanpa beban dan berbeban.
2. Laju konvergensi akan mempengaruhi respon transien keluaran kecepatan motor DC 1 HP penguat terpisah pada pengaturan tegangan medan dan jangkar yaitu semakin besar nilai laju konvergensi yang digunakan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan.
3. *Gain* proporsional juga mempengaruhi respon transien keluaran kecepatan motor DC 1 HP penguat terpisah pada pengaturan tegangan medan dan jangkar yaitu semakin tinggi nilai *gain* yang digunakan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan referensi.
4. Pemilihan orde basis dalam kendali syaraf tiruan *B-Spline* akan mempengaruhi beban komputasi jaringan, semakin besar parameter orde basis yang dipilih maka perhitungan komputasi semakin lama pada bobot awal dan akan semakin cepat respon kestabilannya pada bobot pelatihan karena jumlah bobot jaringan yang diperbaharui semakin banyak.
5. Pada pengaturan tegangan jangkar, semakin besar laju konvergensi yang digunakan maka semakin tinggi osilasi dan *overshoot* yang terjadi dalam mencapai keadaan tunak. Sedangkan pada pengaturan tegangan medan, semakin besar laju konvergensi yang digunakan maka semakin kecil waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan tunak.
6. Untuk pengaruh *gain* proporsional pada pengaturan tegangan jangkar, semakin besar *gain* proporsional yang digunakan maka *overshoot* dan osilasi relatif tinggi. Sedangkan pada pengaturan tegangan medan, semakin besar *gain* proporsional yang digunakan maka *overshoot* relatif kecil.
7. Kendali jaringan syaraf tiruan *B-spline* dengan penggunaan bobot hasil pelatihan, akan meningkatkan unjuk kerja yang baik dalam mengatasi gangguan dan perubahan referensi kecepatan motor DC yang diberikan baik untuk pengaturan tegangan medan dan jangkar.

### 5.2 Saran

1. Interval kecepatan motor DC pada pengaturan tegangan medan dengan kendali syaraf tiruan *B-Spline* dapat diperlebar menggunakan spesifikasi motor DC yang berbeda.

- 2 Perlu adanya penelitian dengan menggunakan orde basis *B-spline* yang lebih dari orde 3.
- 3 Untuk penelitian lebih lanjut, dapat menggunakan metode jaringan syaraf tiruan yang lain dengan arsitektur kendali yang berbeda.
- 4 Kendala yang sering dihadapi adalah perubahan pengaturan tegangan yang sering terjadi membuat rangkaian elektronika daya menjadi rentan rusak, sehingga diperlukan rangkaian daya dengan kualitas baik.



### **Purwo Nugroho**

Lahir di Pangkalpinang, selepas dari SMU N 1 Pangkalpinang melanjutkan pendidikan S1 di Undip Semarang. Saat ini sedang menyelesaikan studinya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Kontrol. Bidang yang diminati sistem kontrol cerdas, konversi energi.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Agfianto Eko Putra, “*Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)*”, Penerbit Gava Media, 2002.
- [2] Tocci, “*Digital System Principles and Applications*”, Prentice Hall Inc, 1997.
- [3] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Jakarta : Erlangga.
- [4] Brown, M., Harris, C., *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall (UK), 1994.
- [5] M. Chilikin, *Electric Drive*, MIR Publisher, Moscow, 1970.
- [6] P. C. Sen, *Principles Of Electric Machines And Power Electronics, Second Edition*, John Wiley & Sons, USA, 1997.
- [7] Haykin, Simon, “*Neural Nerworks- A Comprehensive Foundation*”, Macmillan Colege-Publishing Company Inc, 1994.
- [8] Mohan Ned, Tore M. Undeland, William P Robbins, *Power Electronics: Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995.
- [9] Rashid Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
- [10] Theraja, B.L. *Electrical Technology*, Nirja Construction & Dev. Co. Ltd, 1980.
- [11] Kusumadewi, Sri, *Artificial Inteligence*. GRAHA ILMU Yogyakarta, 2003
- [12] Setiawan, Iwan, ”*Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kendali CMAC secara On-line*”, Tesis S-2 Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2003
- [13] Setiawan, Wahyudi, ”*Topologi Fix Stabilizing Controller pada Sistem Kendali Adaptif dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Jenis B-Spline*”, Lab. Teknik Kontrol Otomatis UNDIP, Semarang, 2004.
- [14] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT. Gramedia, Jakarta, 1993.
- [15] www. Atmell.com
- [16] Lister, *Mesin-mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994

Menyetujui / Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Moch. Facta, ST. MT.**

**NIP. 132 231 134**

**Tanggal :.....**

**Iwan Setiawan, ST. MT.**

**NIP. 132 283 183**

**Tanggal :.....**