

APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN CERREBELLAR MODEL ARTICULATION CONTROLLER PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC PENGUAT TERPISAH 1 HP

Fredrik Octavianus Parapat¹, Mochammad Facta², Iwan Setiawan²
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
email : ahmad_parapat@yahoo.com

Abstrak - Motor dc penguat terpisah adalah jenis motor dc dimana lilitan jangkar dan lilitan medan dihubungkan dengan sumber tegangan dc yang terpisah. Sehingga pengaturan kecepatan motor dc penguat terpisah ini dapat dilakukan dengan cara mengatur tegangan pada lilitan medan (V_f), dan dengan cara mengatur tegangan terminal (V_t) pada lilitan jangkar. Untuk mengatur tegangan pada lilitan jangkar dan lilitan medan motor dc digunakan dc chopper konfigurasi buck. DC chopper yang disebut juga konverter tegangan DC ke DC (DC-Direct Current) adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengubah tegangan DC yang tetap menjadi tegangan DC yang dapat diubah-ubah sesuai dengan level tegangan yang diinginkan. Untuk pengaturan tegangan pada DC chopper melalui pengaturan kondisi on-off (duty cycle).

Besarnya duty cycle yang digunakan oleh dc chopper ditentukan oleh algoritma jaringan syaraf tiruan Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC). Sistem kendali cerdas ini merupakan fungsi pemetaan masukan keluaran sistem yang tidak membutuhkan persamaan model matematis plant. Pada tugas akhir ini algoritma jaringan syaraf tiruan CMAC diaplikasikan pada pengaturan kecepatan motor dc penguat terpisah secara on-line menggunakan struktur kendali fixed stabilising controller dalam dua buah mode pengaturan. Yakni pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan. Pengujian unjuk kerja jaringan syaraf CMAC untuk masing-masing mode pengaturan meliputi pengujian pengaruh pemilihan parameter jaringan terhadap respon transien sistem, pengujian pengaruh bobot pembelajaran, dan pengujian pengaruh gangguan yang diberikan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk penggunaan parameter jaringan yang paling optimal menghasilkan respon sistem dapat segera mencapai kestabilan pada referensi yang diinginkan. Pada pengaturan jangkar dan pengaturan medan, penggunaan parameter generalisasi yang besar mengakibatkan jumlah bobot jaringan yang diperbaharui semakin banyak, perhitungan komputasi semakin lama sehingga respon sistem lambat mencapai keadaan tunak. Pada pengaturan tegangan jangkar, pemilihan nilai laju konvergensi yang besar dan gain proporsional yang kecil mengakibatkan respon sistem lambat mencapai keadaan tunak. Sedangkan pada pengaturan tegangan medan untuk nilai laju konvergensi yang besar dan gain proporsional yang kecil menghasilkan respon sistem dengan waktu penetapan lebih cepat. Pengujian dengan gangguan menunjukkan bahwa respon sistem tetap kembali mengikuti referensi kecepatan ketika diberikan gangguan.

Kata kunci : Motor dc penguat terpisah, dc chopper, Jaringan Syaraf Tiruan CMAC

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengaturan kecepatan motor DC dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan mengatur fluks magnet pada kumparan medan (ϕ) dengan cara mengubah nilai tegangan pada lilitan medan (V_f), mengatur besarnya tahanan jangkar (R_a), dan dengan cara mengatur tegangan terminal (V_t) pada lilitan jangkar. Motor dc penguat terpisah adalah jenis motor dc dimana lilitan jangkar dan lilitan medan dihubungkan dengan sumber tegangan dc yang terpisah. Sehingga pengaturan kecepatan motor dc penguat terpisah ini dapat dilakukan dengan cara mengatur tegangan pada lilitan medan (V_f), dan dengan cara mengatur tegangan terminal (V_t) pada lilitan jangkar.

Dalam perancangan sistem pengaturan motor dc secara konvensional menggunakan kontroler PID dihitung berdasarkan parameter motor yang diketahui. Secara praktis seringkali parameter plant tersebut tidak diketahui. Untuk suatu plant yang kompleks, proses untuk mendapatkan parameter plant menjadi hal yang menyulitkan dan memakan waktu lama. Penggunaan jaringan syaraf tiruan CMAC menawarkan suatu pendekatan baru yang lebih mudah dalam perancangan suatu sistem kendali untuk parameter plant tidak diketahui. Jaringan syaraf tiruan merupakan fungsi pemetaan masukan keluaran sistem yang bebas model matematis.

Pada tugas akhir ini algoritma jaringan syaraf tiruan CMAC diaplikasikan pada pengaturan kecepatan motor dc penguat terpisah secara on-line menggunakan struktur kendali fixed stabilising controller. Pengujian dilakukan menggunakan PC sebagai unit controller, pengesetan referensi dan monitoring proses.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengaplikasikan jaringan syaraf tiruan CMAC untuk pengaturan kecepatan putar motor dc penguat terpisah secara on-line menggunakan dc chopper konfigurasi buck.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan untuk pengendalian adalah Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC) dengan struktur kendali fixed stabilising controller.
2. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot jaringan adalah algoritma Least Mean Square (LMS).
3. Penentuan nilai gain proporsional, laju konvergensi dan parameter generalisasi yang digunakan dalam pengujian dilakukan secara empiris.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

4. Plant yang digunakan adalah motor dc penguat terpisah 1 HP (*horse power*) dengan tegangan lilitan medan maksimal 198 volt dan tegangan lilitan jangkar maksimal 190 V.
5. Pengaturan kecepatan motor dc penguat terpisah dilakukan dengan 2 buah metode pengaturan yakni pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan.
6. Pengaturan tegangan medan maupun pengaturan tegangan jangkar menggunakan *dc chopper* konfigurasi *buck* dengan metode pengaturan lebar pulsa.
7. Range pengaturan kecepatan yang diperbolehkan adalah kecepatan 0 rpm sampai dengan 1500 rpm untuk metode pengaturan tegangan jangkar dan 900 rpm sampai dengan 1050 untuk metode pengaturan tegangan medan. Hal ini dikarenakan tegangan medan yang digunakan harus lebih besar dari tegan jangkar untuk menghindari motor dalam kondisi *overspeed*.
8. Algoritma jaringan syaraf CMAC diimplementasikan di *personal computer* menggunakan bahasa pemrograman Microsoft® Visual C++.NET

II. DASAR TEORI

2.1 Jaringan Syaraf Tiruan CMAC

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dibangun pada awalnya dengan tujuan untuk meniru secara fungsional kerja *neuron* otak manusia dalam menyimpan, belajar dan mengambil pengetahuan yang tersimpan dalam sel saraf atau neuron. Jaringan syaraf tiruan dibentuk berdasar kerja *neuron* biologis dalam merespon *stimulus* yang diberikan kepadanya. Salah satu sifat penting yang dimiliki jaringan syaraf tiruan adalah kemampuan jaringan untuk belajar dari lingkungan dan meningkatkan performansinya melalui pembelajaran.

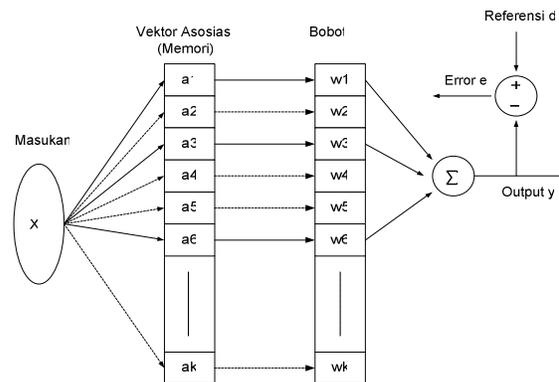
Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC) adalah salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang berusaha meniru pola kerja *cerebellum* (otak belakang) manusia. Secara teoritis otak belakang manusia ini berfungsi sebagai pengatur dan penyeimbang gerakan-gerakan motorik. Setiap rangsangan yang diterima oleh otak belakang ini hanya akan mengaktifkan sekitar satu prosen dari total sel otak belakang yang mungkin jutaan bahkan milyaran jumlahnya. Ditinjau dari arsitekturnya, CMAC dimasukkan dalam suatu kelas AMN yang menyimpan informasi secara lokal sehingga menyebabkan laju pembelajaran akan berlangsung relatif lebih cepat.

Operasi CMAC ini dapat direpresentasikan kedalam dua buah pemetaan.

$$f: x \longrightarrow a$$

$$g: a \longrightarrow y$$

Dengan x adalah vektor ruang masukan berdimensi n , a adalah vektor asosiasi berdimensi m sedangkan y adalah keluaran berdimensi 1.



Gambar 1 Struktur dasar jaringan syaraf tiruan CMAC.

Vektor masukan sel asosiasi dapat dipandang sebagai alamat suatu memori dan vektor bobot sebagai isi memori bersangkutan. Dalam CMAC fungsi $f(x)$ memetakan setiap titik ruang masukan x ke dalam sebuah vektor asosiasi A_p (sel-sel asosiasi yang aktif untuk sebuah titik ruang masukan tertentu), sedangkan $y = g(A_p)$ besarnya tergantung pada nilai bobot w yang mungkin nilainya berubah selama proses pembelajaran (learning), dapat dirumuskan :

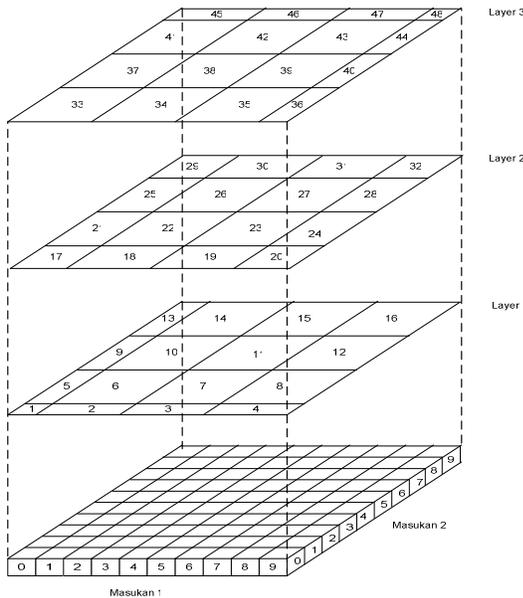
$$y = g(A_p) = \sum_{i=1}^p w_{pi}$$

Dalam perancangan CMAC, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan jangkauan nilai ruang masukan, nilai tersebut dikuantisasi selanjutnya memetakan nilai-nilai terkuantisasi ini pada sel-sel asosiasi CMAC berdasarkan parameter generalisasi lokal yang diinginkan.

Salah satu permasalahan utama pada CMAC adalah pemetaan titik ruang masukan pada vektor asosiasi A_p . Permasalahan pemetaan ini secara langsung akan menentukan unjuk kerja kecepatan pengaktifan alamat sel-sel asosiasi CMAC. Dalam hal ini diperlukan sebuah algoritma yang secara efisien dapat secara langsung memetakan titik-titik ruang masukan pada sel-sel asosiasi tertentu (misal tanpa proses pencarian). Algoritma pemetaan pada CMAC ini dapat dipandang sebagai sebuah generator alamat. Perumusan geometris generator alamat dapat dituliskan berikut :

$$A_p(q, l) = 1 + \left\lceil \frac{q_i - l - d_i + 2}{\rho} \right\rceil + (l-1) \prod_{k=1}^n \left(\left\lceil \frac{s_k - 1}{\rho} \right\rceil + 1 \right) + \sum_{i=2}^n \left(\left\lceil \frac{q_i - l - d_i + 2}{\rho} \right\rceil \prod_{j=1}^{i-1} \left(\left\lceil \frac{s_j - 1}{\rho} \right\rceil + 1 \right) \right)$$

Generalisasi CMAC pada ruang masukan dua dimensi yang memetakan setiap masukan dengan parameter generalisasi 3 ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Pemetaan CMAC dua dimensi.

2.2 Algoritma Pembelajaran CMAC

Kecerdasan suatu jaringan didefinisikan sebagai kemampuan jaringan untuk belajar dari keadaan sebelumnya, menggeneralisasikan informasi tersimpan kemudian mempengaruhi respon dari keluaran jaringan ketika diberikan *input* yang sama.

Algoritma LMS mempunyai komputasi sederhana dengan melakukan proses iterasi terus-menerus untuk mengkoreksi bobot jaringan yang pada akhirnya akan meminimalkan fungsi rata-rata kuadrat *error*.

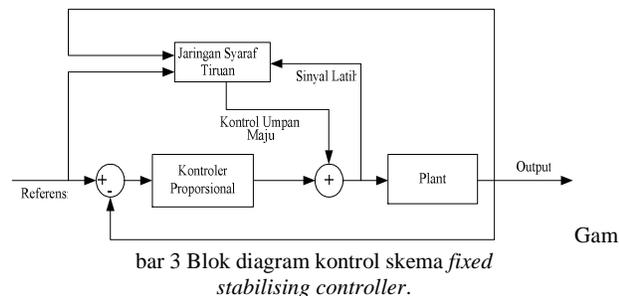
Secara matematis algoritma LMS dituliskan sebagai berikut :

$$w(k+1) = w(k) + \alpha \cdot e(k) \cdot x(k)$$

dimana :

- $w(k)$: Bobot-bobot JST pada cacah ke- k
- α : Laju konvergensi ($0 < \alpha < 1$)
- $e(k)$: Sinyal *error* yang merupakan data latih
- $x(k)$: Masukan pada cacah ke- k

2.3 Arsitektur Kendali Fixed Stabilising Controller

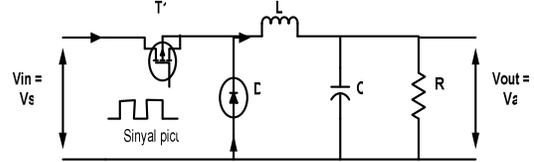


Gambar 3 Blok diagram kontrol skema fixed stabilising controller.

Fixed Stabilising Controller merupakan salah satu arsitektur kendali sistem adaptif. Arsitektur ini diusulkan oleh Kraft G (1990). Untuk pembelajaran model *inverse* dapat digunakan jaringan syaraf tiruan dan sebagai umpan balik penstabil awal digunakan gain proporsional. Sinyal latih untuk memperbaharui bobot-bobot CMAC pada langkah cacah ke- k menggunakan algoritma LMS.

2.4 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



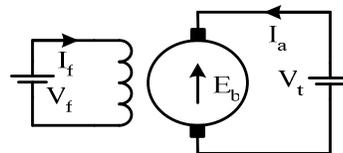
Gambar 7 Rangkaian dc chopper konfigurasi buck

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 dimana 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 :

$$E_b = C \cdot N \cdot \phi$$

Dimana :

- E_b : gaya gerak listrik lawan (V)
- C : konstanta
- N : kecepatan putaran jangkar (rps)
- ϕ : flux magnet (Wb)

$$E_b = V_t - I_a \cdot R_a$$

dimana :

- V_t : tegangan terminal (V)
- I_a : arus jangkar (A)
- R_a : tahanan jangkar (Ω)

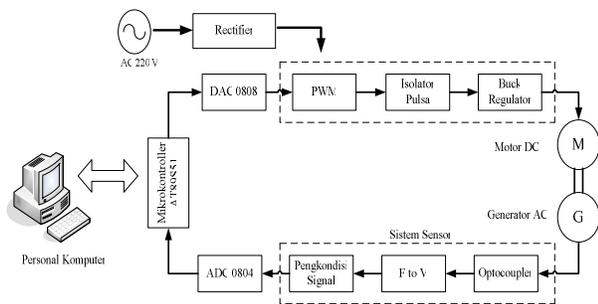
Dari dua buah persamaan diatas digabungkan :

$$N = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{C\phi}$$

Dari persamaan diatas, dapat diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan putar jangkar dapat diatur diantaranya dengan mengubah nilai φ (mengubah tegangan atau arus lilitan medan), R_a (memberikan resistor seri terhadap R_a), dan V_t (mengubah tegangan terminal lilitan jangkar)

III. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Perangkat Keras



Gambar 10 Diagram blok sistem.

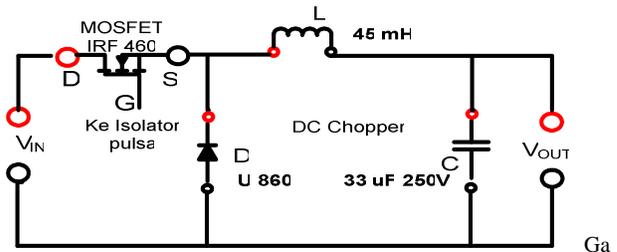
Secara umum perancangan perangkat sistem alat pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa yang dibuat mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1. Sistem *DC Chopper* yang terdiri dari rangkaian *Digital to Analog Converter* (DAC 0808), rangkaian kontrol PWM menggunakan IC TL 494, rangkaian isolator pulsa dan gerbang menggunakan *optokopler* 2N35 serta rangkaian *DC Chopper* konfigurasi *buck* menggunakan saklar MOSFET IRFP 460.
2. Sistem sensor kecepatan menggunakan piringan 60 lubang yang terdapat pada motor DC (Rangkaian *optokopler*). Data dari rangkaian *optokopler* ini dikirimkan ke rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan dan diteruskan ke rangkaian pengkondisi sinyal dan rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC 0804). Data konversi dari ADC 0804 adalah data digital 8 bit yang merepresentasikan kecepatan motor dc.
3. Mikrokontroler AT89S51 sebagai pengatur aliran data dari komputer ke sistem *DC Chopper* dan dari sistem sensor kecepatan ke komputer.
4. Komputer sebagai unit controller untuk mengaplikasikan kendali berbasis jaringan syaraf tiruan CMAC. Selain itu berfungsi untuk memberikan *set point* referensi kecepatan dan menampilkan grafik respon kecepatan aktual motor dan *recording data* untuk keperluan analisis.

5. Motor DC penguat terpisah sebagai plant yang dikendalikan dengan tegangan medan maksimum 198 V dan tegangan jangkar maksimum 190 V.
6. Generator Sinkron 3 Fasa yang dikopelkan ke motor DC sebagai beban

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 dibawah ini :

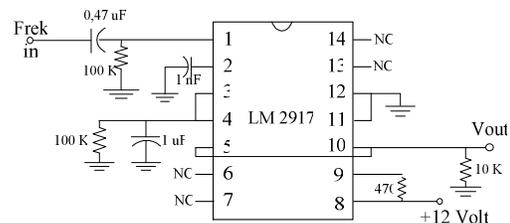


Gambar 11 Dc Chopper konfigurasi Buck

3.1.2 Sistem Sensor Kecepatan

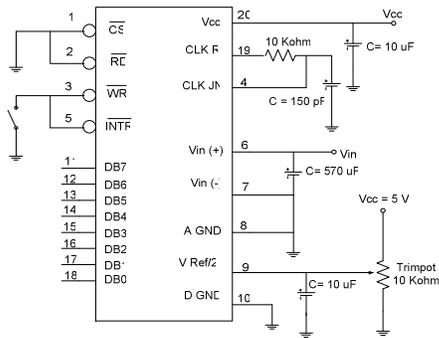
Sistem sensor kecepatan meliputi sensor optocoupler, rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan, pengkondisi sinyal dan rangkaian pengubah tegangan analog ke digital. Keluaran sensor optocoupler berupa gelombang kotak dengan frekuensi yang berbeda-beda tergantung dari kecepatan putar motor induksi tiga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

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



Gambar 12 Rangkaian pengubah frekuensi ke tegangan.

Penguat non-inverting digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran sensor kecepatan sebelum diteruskan ke rangkaian ADC 0804. 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

3.2 Perancangan Program Mikrokontroler

Pada perancangan program mikrokontroler, mikrokontroler 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

DATA_JANGKAR:
        MOV     P2, A
        MOV     R7, #0

BACA_ADC:
        MOV     A, P1

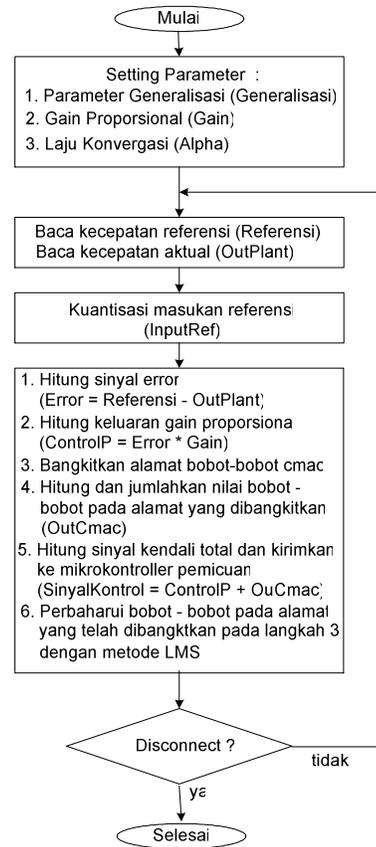
; AMBIL DATA ADC
        MOV     SBUF, A
        JNB    TI, $
        CLR    TI

EXIT:   POP     ACC
        POP     PSW
        RETI

END

```

3.2 Perancangan Kontrol Jaringan Syaraf Tiruan CMAC



Gambar 13 Diagram alir algoritma kontrol CMAC

Perancangan kontrol jaringan syaraf CMAC meliputi penentuan jangkauan masukan terkuantisasi, penentuan generalisasi, penentuan gain proporsional, penentuan laju konvergensi dan perancangan algoritma kontrol jaringan syaraf CMAC. Perancangan ini untuk memberikan batasan terhadap besarnya parameter kontroller yang digunakan. Penentuan laju konvergensi dan gain proporsional dilakukan secara empiris.

Pada sistem pengendalian jaringan syaraf tiruan menggunakan struktur kendali fixed stabilising controller terdapat dua variabel yang menjadi masukan CMAC, yaitu kecepatan referensi dan kecepatan aktual motor. Untuk jumlah generalisasi yang digunakan (generalisasi), maka alamat[i] merupakan vektor yang digunakan untuk menunjukkan alamat yang diaktifkan pada layer ke-i. Proses awal merupakan proses setting parameter kontrol CMAC.

Masukan terkuantisasi akan menentukan alamat bobot-bobot yang aktif. Keluaran CMAC dapat dihitung secara langsung dengan menjumlahkan seluruh bobot-bobot yang tersimpan pada alamat-alamat yang diaktifkan. Sinyal kendali dikirimkan plant adalah penjumlahan dari keluaran jaringan syaraf dan keluaran gain proporsional. Pembaharuan bobot jaringan akan mengkoreksi terus-menerus keluaran CMAC dengan menggunakan algoritma LMS

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

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. Pengujian juga dilakukan dengan memberikan gangguan pada sistem untuk menguji kestabilan sistem

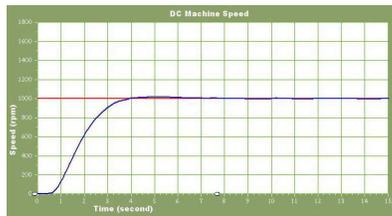
4.1 Pengaruh Nilai Parameter Generalisasi terhadap Kecepatan Transien

Nilai generalisasi yang dipilih akan mempengaruhi beban komputasi yang dipilih. Semakin besar nilai parameter generalisasi yang digunakan maka semakin banyak bobot jaringan syaraf yang dilibatkan dalam perhitungan keluaran CMAC. Sehingga secara otomatis operasi kalang algoritma jaringan syaraf tiruan semakin panjang dan waktu komputasi CMAC setiap iterasi semakin lama.

A. Pengaturan Jangkar



(a)



(b)

Gambar 14. Tanggapan transien motor referensi 1000 rpm, laju konvergensi 0,7 dan gain proporsional 0,5 dengan (a) generalisasi 50 (b) generalisasi 200 pada pengaturan tegangan jangkar

Tabel 1 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan nilai generalisasi pada pengaturan jangkar.

Parameter Unjuk Kerja	Generalisasi			
	50	100	150	200
Waktu Respon	0,75	0,6	0	0,6
Waktu Tunda	1,9	1,8	1,8	1,75
Waktu Naik	5,5	4,7	4,4	4
Waktu Penetapan	9,25	12	13,3	15
Overshoot	0%	1%	1,5%	1,9%
Decay Ratio	0%	0%	0%	0%

Pada pengaturan tegangan jangkar hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai generalisasi yang kecil yakni 50 dengan bobot awal nol, tanggapan kecepatan transien sistem menunjukkan waktu naik 5,5 detik dan waktu penetapan 9,25 detik dan tidak ada lonjakan transien. Sedangkan untuk nilai generalisasi yang besar yakni 200 dengan bobot awal nol, tanggapan kecepatan transien sistem menunjukkan

waktu naik 4 detik dan waktu penetapan 15 detik dan adanya lonjakan transien sistem

Dari tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar generalisasi yang digunakan waktu naik akan semakin kecil tetapi waktu penetapan akan semakin besar. Semakin besarnya waktu penetapan ini dikarenakan semakin besar generalisasi yang digunakan maka bobot jaringan syaraf yang digunakan juga semakin besar. Sehingga komputasi CMAC setiap iterasi semakin lama. Semakin besar nilai generalisasi juga akan menyebabkan lonjakan transien.

B. Pengaturan Medan

Pengaturan medan hanya dapat dilakukan setelah motor dijalankan. Hal ini dikarenakan tegangan medan tidak boleh lebih kecil daripada tegangan jangkar. Apabila tegangan medan lebih kecil daripada tegangan jangkar, dikhawatirkan dapat merusak kinerja motor karena terjadi kondisi *overspeed*. Karena hal ini juga maka rentang (*range*) kecepatan yang dapat diatur adalah 0 sampai 150 rpm dari kecepatan *starting* motor. Pada pengaturan medan ini kecepatan *starting* motor yang dipilih adalah 900 rpm sehingga kecepatan maksimal yang dapat diperoleh dari pengaturan medan adalah 1050 rpm



(a)



(b)

Gambar 15. Tanggapan transien motor referensi 1000 rpm, laju konvergensi 0,7 dan gain proporsional 0,5 dengan (a) generalisasi 50 (b) generalisasi 200 pada pengaturan tegangan medan

Tabel 2 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan nilai generalisasi pada pengaturan medan

Parameter Unjuk Kerja	Generalisasi			
	50	100	150	200
Waktu Respon	0,2	0,3	0,3	0,4
Waktu Tunda	0,7	0,7	0,7	0,7
Waktu Naik	1	1	1	1
Waktu Penetapan	16,9	17,35	18,5	19,5
Overshoot	5,8%	5,3%	5,8%	5,7%
Undershoot	2,9%	2,7%	3,0%	3,0%
Decay Ratio	0,26	0,24	0,24	0,25

Algoritma jaringan syaraf CMAC bekerja 6 detik setelah motor dijalankan. Pada pengaturan tegangan medan ini, selalu terjadi *overshoot* pada respon transien kecepatan. Hal ini dikarenakan kecepatan motor berbanding terbalik dengan tegangan medan yang diberikan.

Dari gambar 15 dan tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai generalisasi yang digunakan maka waktu penetapan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai generalisasi maka semakin banyak bobot jaringan syaraf yang digunakan, sehingga waktu komputasi setiap iterasi semakin lama

4.2 Pengaruh Nilai Laju Konvergensi terhadap Kecepatan Transien

Pemilihan laju konvergensi mempengaruhi laju pembelajaran jaringan syaraf CMAC. Dalam hal ini laju konvergensi digunakan untuk memperbaharui bobot jaringan syaraf yang digunakan

A. Pengaturan Jangkar



(a)



(b)

Gambar 16. Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1000 rpm, generalisasi 150 dan gain proporsional 0,5 dengan (a) laju konvergensi 0,9 (b) laju konvergensi 0,2 pada pengaturan tegangan jangkar

Tabel 3 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan laju konvergensi pada pengaturan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	Laju Konvergensi			
	0,9	0,7	0,5	0,2
Waktu Respon	0,5	0	0,75	0,8
Waktu Tunda	1,7	1,8	1,8	2,1
Waktu Naik	4,2	4,4	4,2	4,6
Waktu Penetapan	14	13,3	10,4	8,6
Overshoot	1,5%	1,5%	1,4%	1,4%
Decay Ratio	0%	0%	0%	0%

Dari gambar 16 dan tabel 3 dapat dilihat bahwa pengaturan tegangan jangkar dengan menggunakan laju konvergensi 0,9 memberikan waktu penetapan 14 detik. Sedangkan dengan laju konvergensi 0,2 memberikan waktu penetapan 8,6 detik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar laju konvergensi yang digunakan maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan tunak (*steady state*).

B. Pengaturan Medan



(a)



(b)

Gambar 17. Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1000 rpm, generalisasi 150 dan gain proporsional 0,5 dengan (a) laju konvergensi 0,9 (b) laju konvergensi 0,2 pada pengaturan tegangan medan

Dari gambar 17 dapat dilihat bahwa laju konvergensi 0,2 memberikan waktu penetapan 25,2 detik dan *overshoot* sebesar 6,57 %. Dan laju konvergensi 0,9 dengan menghasilkan waktu penetapan 18,3 detik dengan *overshoot* 5,92 %.

Tabel 4 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan laju konvergensi pada pengaturan medan

Parameter Unjuk Kerja	Laju Konvergensi			
	0,9	0,7	0,5	0,2
Waktu Respon	0,3	0,3	0,3	0,3
Waktu Tunda	0,7	0,7	0,6	0,6
Waktu Naik	1	1	0,9	0,9
Waktu Penetapan	18,3	18,5	19	25,2
Overshoot	5,9%	5,8%	6,2%	6,5%
Undershoot	2,9%	3,0%	3,6%	4,9%
Decay Ratio	0,25	0,24	0,26	0,55

Pada pengaturan tegangan medan semakin kecil nilai laju konvergensi yang digunakan maka semakin lama motor mencapai keadaan stabil, semakin besar undershoot dan semakin banyak osilasi. Hal ini dikarenakan rentang kecepatan pengaturan yang sempit yakni dari 0 sampai 150 rpm sehingga perubahan sinyal kontrol yang dihasilkan dari perhitungan bobot jaringan syaraf tiruan CMAC hanya memberikan sedikit perubahan kecepatan. Oleh karena itu diperlukan proses pembelajaran yang cepat agar didapat bobot jaringan syaraf yang sesuai dengan kecepatan referensi motor.

4.3 Pengaruh Nilai Gain Proporsional terhadap Kecepatan Transien

Pada sistem kendali dengan skema kendali *Fixed Stabilising Controller* keluaran jaringan syaraf tiruan dipengaruhi oleh besarnya nilai gain proporsional. Sinyal kendali merupakan penjumlahan penjumlahan dari keluaran gain proporsional dengan jaringan syaraf CMAC, selain itu nilai gain proporsional digunakan sebagai data latih dalam jaringan syaraf tiruan. Nilai gain proporsional sendiri dipengaruhi oleh besarnya *error*.

A. Pengaturan Jangkar



(a)



(b)

Gambar 18. Tanggapan transien motor referensi 1000 rpm, generalisasi 150 dan laju konvergensi 0,7 dengan (a) gain proporsional 0,9 (b) gain proporsional 0,2 pada pengaturan tegangan jangkar

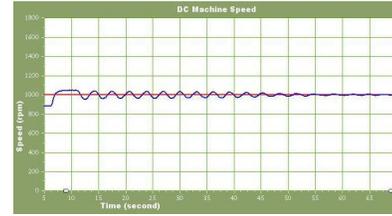
Dari gambar 18 dapat dilihat bahwa hasil pengujian dengan nilai gain proporsional 0,9 memberikan waktu penetapan 12 detik serta over shoot 12,1 %. Sedangkan pemilihan gain proporsional yang sangat kecil yakni 0,2 memberikan waktu penetapan sebesar 23,7 detik dengan tidak adanya *overshoot* yang terjadi

Pemilihan nilai gain proporsional sangat berpengaruh terhadap kecepatan transien motor dengan pengaturan tegangan jangkar. Nilai gain proporsional yang besar akan mempercepat waktu naik dan waktu penetapan akan tetapi menyebabkan lonjakan transien yang terjadi juga semakin besar. Pemilihan nilai gain proporsional yang kecil menyebabkan waktu naik dan waktu penetapan menjadi semakin besar. Akan tetapi *overshoot* yang terjadi semakin kecil dan kecepatan transien cenderung stabil saat mendekati nilai referensi.

Tabel 5 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan gain proporsional pada pengaturan jangkar

Parameter Unjuk Kerja	Gain Proporsional			
	0,9	0,7	0,5	0,2
Waktu Respon	0,5	0,5	0	0,5
Waktu Tunda	1,2	1,4	1,8	3,6
Waktu Naik	2	2,6	4,4	22,7
Waktu Penetapan	12	12,5	13,3	23,7
Overshoot	12,1%	6%	1,5%	0%
Decay Ratio	0%	0%	0%	0%

B. Pengaturan Medan



(a)



(b)

Gambar 19. Tanggapan transien motor referensi 1000 rpm, generalisasi 150, laju konvergensi 0,7 dengan (a) gain proporsional 0,9 (b) gain proporsional 0,2 pada pengaturan tegangan medan

Dari gambar 19 dapat dilihat bahwa pemilihan gain proporsional 0,9 memberikan waktu penetapan 67 detik dengan *overshoot* sebesar 4,65 %. Besarnya waktu penetapan ini dikarenakan pemilihan nilai gain proporsional yang besar sehingga terjadi cukup banyak osilasi di sekitar nilai referensi.

Tabel 6 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengaruh perubahan gain proporsional pada pengaturan medan

Parameter Unjuk Kerja	Gain Proporsional			
	0,9	0,7	0,5	0,2
Waktu Respon	0,3	0,3	0,3	0,3
Waktu Tunda	0,7	0,7	0,7	0,7
Waktu Naik	1,1	1	1	1
Waktu Penetapan	67	26,15	18,5	20,2
Overshoot	4,90%	4,99%	5,80%	4,99%
Undershoot	4,65%	3,9%	3,03%	0%
Decay Ratio	0,81	0,75	0,24	0

Sedangkan pemilihan gain proporsional 0,2 dengan memberikan waktu penetapan 20,2 detik dan *overshoot* sebesar 4,99 %. Nilai *overshoot* yang diperoleh pada penggunaan gain proporsional 0,2 lebih besar bila dibandingkan nilai gain proporsional 0,9. Akan tetapi *decay ratio* yang dihasilkan jauh lebih bagus. Hal ini menunjukkan bahwa lonjakan transien yang terjadi hanya 1 kali sebelum sistem mencapai keadaan tunaknya.

Dari tabel 6 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai gain proportional yang digunakan maka semakin besar waktu penetapan dan semakin besarnya nilai decay ratio. Semakin besar nilai decay ratio menunjukkan semakin banyaknya terjadi osilasi di sekitar kecepatan referensi. Walaupun semakin kecil nilai gain proporsional yang digunakan *overshoot* yang diperoleh akan cenderung semakin besar, namun kecepatan transien yang dihasilkan lebih stabil dan waktu penetapan juga akan semakin cepat.

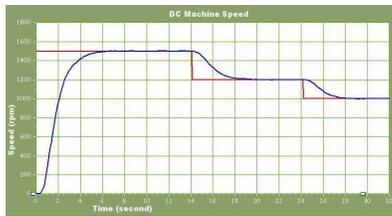
4.4 Pengaruh Perubahan Referensi

Pengujian pengaruh perubahan referensi kecepatan dilakukan mengetahui kemampuan kontroller jaringan syaraf CMAC dalam mengikuti perubahan referensi kecepatan. Pengujian perubahan referensi kecepatan meliputi perubahan referensi naik dan perubahan referensi turun untuk masing-masing metode pengaturan tegangan. Pengujian pengaruh referensi kecepatan dilakukan dengan nilai generalisasi, laju konvergensi dan gain yang tetap.

A. Pengaturan Jangkar



(a)



(b)

Gambar 20 Tanggapan transien motor pada pengujian perubahan referensi pada pengaturan jangkar (a) naik (b) turun

Dari gambar 20 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan kontroller dengan jaringan syaraf CMAC dapat mengikuti perubahan referensi kecepatan. Baik untuk perubahan referensi kecepatan naik maupun referensi kecepatan turun.

B. Pengaturan Medan

Dikarenakan rentang kecepatan yang sempit pada pengaturan tegangan medan, maka pada pengujian perubahan referensi naik referensi kecepatan yang digunakan adalah 950 rpm, 1000 rpm dan kemudian 1050 rpm. Sedangkan pada pengujian referensi kecepatan turun, referensi kecepatan yang digunakan adalah 1000 rpm, 950 rpm dan 900 rpm.



(a)



(b)

Gambar 21 Tanggapan transien motor pada pengujian perubahan referensi pada pengaturan medan (a) naik (b) turun

Dari gambar 21 dapat dilihat bahwa kontroller jaringan syaraf CMAC dalam pengujian dengan menggunakan perubahan referensi kecepatan pada pengaturan tegangan medan dapat mengikuti perubahan referensi kecepatan. Baik untuk perubahan referensi naik, maupun perubahan referensi turun.

4.5 Pengujian Pengaruh Gangguan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja jaringan syaraf CMAC dalam merespon gangguan dari luar. Gangguan yang diberikan yakni ketika motor DC telah mencapai keadaan tunak, selanjutnya generator asinkron yang dikopel dengan motor DC diberi beban lampu pijar. Penambahan beban ini akan mengakibatkan penurunan kecepatan generator asinkron, yang berarti terjadi penurunan kecepatan motor DC.



(a) Bobot awal nol



(b) Bobot hasil 3 kali pelatihan

Gambar 4.17 Tanggapan transien motor referensi kecepatan 1300 rpm, dengan beban lampu pijar 3 x 60 Watt

Pengujian pengaruh gangguan ini hanya dapat dilakukan dalam pengaturan tegangan jangkar, karena beban lampu pijar yang digunakan akan menyala setelah kecepatan motor dc diatas 1250 rpm. Sedangkan pengaturan tegangan medan hanya dapat menghasilkan kecepatan maksimal 1050 rpm

Tabel 7 Data parameter unjuk kerja CMAC pada pengujian pengaruh berbeban

Parameter Unjuk Kerja	Beban Lampu Pijar 3 x 60 Watt Torsi 83 Nm	
	Bobot Awal	Bobot Latih
Waktu Penetapan	11,4 detik	9,2 detik
Penurunan Kecepatan	25,07 rpm	29,54 rpm
Waktu Mengatasi Gangguan	6,8 detik	4 detik

Kontroller jaringan syaraf CMAC dengan struktur kendali *fixed stabilising controller* dapat mengatasi gangguan yang diberikan ke keluaran *plant*. Dari hasil pengujian dengan beban awal nol, saat motor dc telah mencapai keadaan tunak (*steady state*), kemudian diberikan gangguan maka kecepatan motor akan mengalami penurunan sebesar 25,07 rpm. Kontroller jaringan syaraf CMAC akan memperbesar

sinyal kontrol sehingga kecepatan motor dc kembali seperti referensi. Waktu yang diperlukan kontroller jaringan syaraf CMAC untuk memperbaiki kondisi ini sebesar 6,8 detik. Penggunaan bobot hasil pelatihan menyebabkan penurunan kecepatan yang lebih besar dibanding bobot awal nol. Akan tetapi waktu yang diperlukan untuk mengatasi gangguan lebih kecil dibanding bobot awal nol, yakni sebesar 4 detik.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa yang dilakukan terdapat beberapa hal penting sebagai berikut :

1. Respon transien keluaran kecepatan motor dc penguat terpisah sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter kendali jaringan CMAC, yaitu besarnya laju konvergensi, gain proporsional, dan parameter generalisasi.
2. Pada pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan semakin besar parameter generalisasi yang digunakan maka waktu penetapan akan semakin lama.
3. Pada pengaturan tegangan jangkar, semakin besar laju konvergensi yang digunakan maka semakin besar waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan tunak.
4. Pada pengaturan tegangan medan, semakin besar laju konvergensi yang digunakan maka waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan tunak akan semakin kecil. Semakin besar laju konvergensi yang digunakan juga akan menyebabkan lonjakan transien yang terjadi akan semakin kecil.
5. Pada pengaturan tegangan jangkar, pemilihan gain proporsional yang semakin besar akan mempercepat waktu naik dan waktu penetapan. Akan tetapi semakin besar nilai gain proporsional yang digunakan maka lonjakan transien yang terjadi juga semakin besar.
6. Pada pengaturan tegangan medan, semakin besar nilai gain proportional yang digunakan maka waktu untuk mencapai keadaan tunak menjadi semakin besar. Hal ini dikarenakan pemilihan gain proporsional yang semakin besar menyebabkan respon sistem berosilasi di sekitar nilai referensi yang ditandai dengan besarnya nilai *decay ratio*.
7. Pada pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan, kendali jaringan syaraf CMAC dengan struktur kendali *fixed stabilising controller* mempunyai unjuk kerja yang baik dalam mengatasi gangguan yang diberikan ke keluaran *plant*.

5.2 Saran

1. Untuk metode pengaturan tegangan medan dapat dipergunakan motor dc dengan spesifikasi yang berbeda sehingga rentang kecepatan yang diatur dapat semakin diperlebar.

2. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang kendali jaringan syaraf tiruan dengan arsitektur kendali adaptif yang lain seperti *internal model control*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agfianto Eko Putra, *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)*, Penerbit Gava Media, 2002.
- [2] Albus, J. S. *A New Approach to Manipulator Control : The Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC)*. Journal Dynamic Syst. Measurement and Control., Trans. ASME, pp 220-227. 1975.
- [3] Brown, M., Harris, C., *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall (UK), 1994.
- [4] Chryssis George, *High Frequency Switching Power Supplies; Theory and Design*, Mc Graw-Hill Published Company, International Edition 1989.
- [5] Mohan Ned, Tore M. Undeland, William P Robbins, *Power Electronics: Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995
- [6] Rashid Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
- [7] Setiawan, Iwan. *Pengendalian Kecepatan Putar Motor DC dengan Jaringan Syaraf Tiruan CMAC Secara On-Line*. Tesis S-2 Teknik Elektro Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [8] Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power Systems 3rd*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
- [8] Tocci, Digital System Principles and Applications, Prentice Hall Inc, 1997.
- [9] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, PT. Gramedia, Jakarta, 1993.
- [10] www.interq.or.jp



Fredrik Octavianus Parapat

Lahir di Tanjung, selepas dari SMU N 1 Tanjung melanjutkan pendidikan S1 di Undip Semarang. Saat ini sedang menyelesaikan studinya di jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Kontrol.

Menyetujui / Mengesahkan,
Pembimbing I, Pembimbing II,

Moch. Facta, ST. MT.
NIP. 132 231 134

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