

Rancang Bangun Sistem Kendali Berbasis Logika Fuzzy pada Pengendalian Eksitasi Generator Sinkron

Rifdian I.S¹

Margono²

¹Program Studi Teknik Listrik Bandar Udara

²Program Studi Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara

Politeknik Penerbangan Surabaya

Email : rifdian.anto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menguraikan implementasi suatu sistem kendali yang berbasis logika fuzzy pada pengendalian tegangan keluaran generator dengan sumber eksitasi konverter AC-DC PWM. Logika fuzzy digunakan untuk menentukan besarnya sinyal control komparator PWM sehingga diperoleh lebar pulsa switching bagi komponen konverter daya sumber eksitasi. Prototipe sistem pengendalian diwujudkan melalui perangkat keras yang terdiri dari generator, sistem eksitasi PWM dan kontroler logika fuzzy yang direalisasikan melalui pemrograman Visual Basic pada PC. Nilai tegangan output dari generator adalah $383 V_{line-to-line}$ dengan nilai tegangan eksitasi sebesar $84.5 V_{dc}$ untuk kondisi tanpa beban. Duty cycle yang diperlukan adalah 37.2% dengan frekuensi switching sebesar 15 kHz. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan sistem kendali ini untuk menjaga nilai tegangan keluaran generator pada nilai yang diinginkan (setting) untuk berbagai variasi pembebanan maupun variasi putaran penggerak mula.

Kata-kata kunci : tegangan keluaran generator, kendali fuzzy, prototipe

PENDAHULUAN

Generator sinkron memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan generator asinkron. Kelebihan-kelebihan itu antara lain adalah bahwa pada saat generator sinkron dioperasikan independent, faktor daya yang diinginkan sebagai respon faktor beban adalah memungkinkan, selain itu pengaturan yang lebih mudah terhadap frekuensi dan tegangan keluaran yang dapat dijaga konstan meskipun penggerak mula (*Prime Mover*) frekuensinya tidak tetap. Sumber eksitasi DC yang berasal dari sumber eksternal pun dapat diatur lebih mudah.

Untuk menjaga output generator tetap pada kondisi operasi yang normal walaupun dengan tingkat beban dan kecepatan penggerak mula yang bervariasi, generator dilengkapi dengan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Pengontrolan yang digunakan pada AVR umumnya masih menggunakan komponen analog dengan aksi kontrol konvensional seperti kontrol proporsional, kontrol integral dan kontrol derivatif. (Abul R.Hasan, 1994)

Saat ini telah berkembang suatu teknologi dimana pengontrolan konvensional tidak lagi digunakan, digantikan dengan suatu sistem yang dapat meniru pola pikir manusia dalam melakukan pengontrolan. Sistem ini disebut dengan sistem kendali logika fuzzy. Sistem kendali logika fuzzy merupakan suatu metoda pengontrolan dimana dalam melakukan pengontrolan, sistem kendali ini berdasarkan kebiasaan-kebiasaan atau pengalaman yang diwujudkan dalam aturan-aturan yang dinamakan *if-then rules*. Metode pengontrolan fuzzy memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan metode pengontrolan konvensional, yaitu kendali fuzzy tidak memerlukan model matematis sistem secara detail sehingga cocok untuk diterapkan pada sistem yang sulit untuk dimodelkan secara matematis. Sistem kendali fuzzy juga cenderung meminimalkan *overshoot* dan kecenderungan ini dapat memperhalus operasi dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan.

Ketersediaan mikroprosesor yang cukup murah saat ini juga mendorong para *engineer* untuk mulai menerapkan pengontrolan secara digital dengan memanfaatkan teknologi komputer. Kontrol mikroprosesor ini memiliki fleksibilitas serta dapat meningkatkan performa sistem.

Dalam penelitian ini, implementasi sistem kendali logika *fuzzy* yang dipadukan dengan teknologi komputer dilakukan pada jenis generator sinkron. Implementasi dilakukan dengan merancang dan membuat prototipe pembangkitan tenaga listrik melalui generator sinkron, kontroler dan personal komputer.

KARAKTERISTIK PEMBANGKITAN TEGANGAN KELUARAN GENERATOR

Pada generator sinkron, apabila rotor diputar oleh suatu penggerak mula (*prime mover*) dan kumparan medan diberi arus DC I_f ; tegangan (E_o) yang terinduksi pada kumparan jangkar stator dirumuskan dengan (Zuhail,1995) :

$$E_o = c n \Phi \quad (1)$$

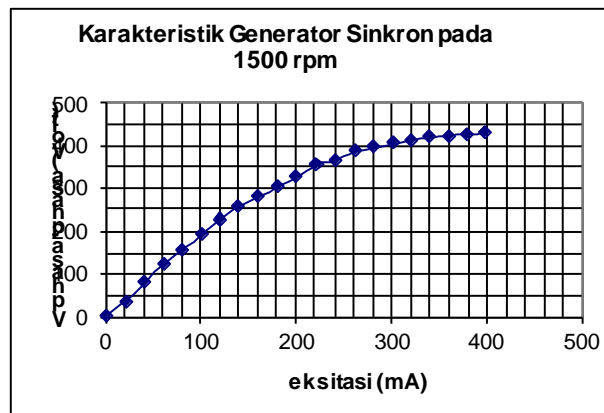
Dimana ;

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = fluks magnet yang dibangkitkan oleh I_f

Dari hubungan tersebut diatas, meskipun relasi antara tegangan terbangkitkan dan fluks magnet yang dibangkitkan oleh I_f adalah linear, namun dalam prakteknya, oleh adanya sifat nonlinearitas inti besi sebagai jalur fluks, maka hubungan antara E_o dan I_f tidaklah merupakan garis lurus. Gambaran hasil pengujian pada suatu generator sinkron 0,3 KW, 400/380, 50 Hz yang diputar pada kecepatan 1500 rpm memberikan hasil pengujian sebagaimana gambar 1 berikut :

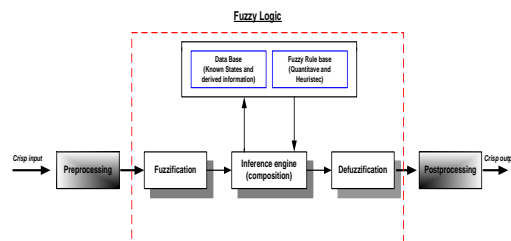


Gambar 1. Nonlinearitas relasi antara tegangan keluaran generator sinkron terhadap besar eksitasi

SISTEM KENDALI BERBASIS FUZZY

Sistem kendali *Fuzzy logic* pertama kali diperkenalkan kepada publik sekitar tahun 1965 oleh Prof.Lotfi Zadeh dari Universitas Kalifornia (Barkley). Sistem ini memiliki kelebihan dimana pemodelan dari suatu sistem yang kompleks dapat dibuat dengan sedikit data numerik. Hal ini sulit dilakukan oleh pemodelan sistem yang lain.

Kendali logika *fuzzy* terdiri dari tiga komponen utama yaitu *fuzzification*, *inference engine*, dan *defuzzification* seperti pada gambar di bawah ini (Zulhamdi,2006) :



Gambar 2. Blok-blok fungsional sistem *fuzzy*

Secara fungsional blok-blok dari sistem kendali logika *fuzzy* di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

Preprocessing

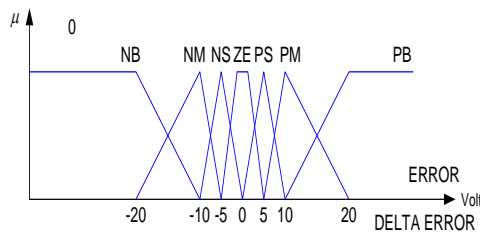
Bagian ini merupakan bagian awal dari sistem kendali *fuzzy*. Parameter yang akan dikendalikan masih merupakan nilai *crisp* yang harus dinormalisasi. Bentuk fisis blok ini berupa peralatan pengkondisi sinyal yang terdiri dari sensor dan ADC.

Pada sistem pengendalian tegangan yang dirancang, parameter input berupa tegangan *keluaran generator*. Selanjutnya dari nilai ini akan diperoleh *nilai error tegangan*, yaitu deviasi antara seting tegangan keluaran yang diinginkan terhadap nilai tegangan yang terukur. Selain itu, juga akan diperoleh *nilai delta error*, yaitu laju perubahan *error tegangan*.

Fuzzification

Masing-masing parameter input yang telah ternormalisasi, oleh *fuzzification* diubah ke dalam bentuk bahasa (linguistic) yang bersesuaian dan kemudian dinyatakan pada fungsi keanggotaan yang sesuai. Dari fungsi keanggotaan ini bisa diketahui berapa derajat keanggotaan atau $\mu_A(x)$ dari masing-masing input x . Keseluruhan interval / fungsi keanggotaan parameter ini membentuk semesta himpunan *fuzzy* (*universe of discourse*).

Pada sistem kendali yang dirancang, input *error tegangan* dan laju perubahan error tegangan (*delta error*) akan diubah nilainya ke dalam 7 derajat keanggotaan himpunan *fuzzy*. Masing-masing himpunan *fuzzy* merepresentasikan level-level error dan delta error. ketujuh tingkatan error dan delta error tersebut yaitu : Negatif Big (NB), Negatif Medium (NM), Negatif small (NS), Zerro (ZE), Positif Small (PS), Positif Medium (PM), dan Positif Big (PB). Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah gabungan antara fungsi keanggotaan trapezoid, triangular, L shaped, dan Γ shaped. Grafik fungsi keanggotaan input *fuzzy* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Parameter *delta error* yang dibagi atasi 7 fungsi keanggotaan

Inference Engine

Inference Engine memetakan *fuzzy* input menjadi *fuzzy* output. Pemetaan ini didasarkan pada sejumlah *fuzzy If – Then rules*. *If – Then rules* terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

- *The antecedent part (premise)* yaitu kata di antara *if* dan *then* yang merupakan input *fuzzy*.
- *The consequent part (conclusion)* yaitu kata setelah *then* yang merupakan output *fuzzy*.

Dengan demikian *fuzzy if then rules* merupakan penghubung antara *antecedent* (input *fuzzy*) dengan *consequent* (output *fuzzy*) yang bersesuaian. Sehingga *If then rules* dapat dituliskan dengan :

$$\begin{aligned} &\text{IF(antecedent)} \\ &\text{THEN(consequent)} \end{aligned} \quad (2)$$

Pada sistem kendali tegangan yang dirancang, sistem *fuzzy* memiliki lebih dari satu input yaitu error tegangan dan laju perubahan error tegangan (*delta error*). Maka dalam membuat *fuzzy if – then rules*, pada bagian *antecedent* dapat digunakan operator *And* atau *Or*.

Defuzzification

Suatu sistem *fuzzy* akan mengeluarkan *output* berupa himpunan *fuzzy* (*fuzzy output*). Untuk dapat berinteraksi dengan sistem di luar, maka perlu mengubahnya menjadi suatu data *crisp* (tegas). Dengan proses defuzzifikasi maka himpunan *fuzzy* hasil inferensi akan diubah menjadi suatu data *crisp* tunggal. Data *crisp* tunggal inilah yang merupakan sinyal kontrol. Pada sistem kendali tegangan yang dirancang

output proses defuzzifikasi berupa nilai *crisp* tegangan yang menjadi *input* komparator yang nantinya akan mengendalikan *duty cycle* sinyal PWM.

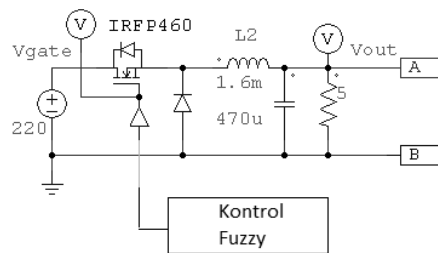
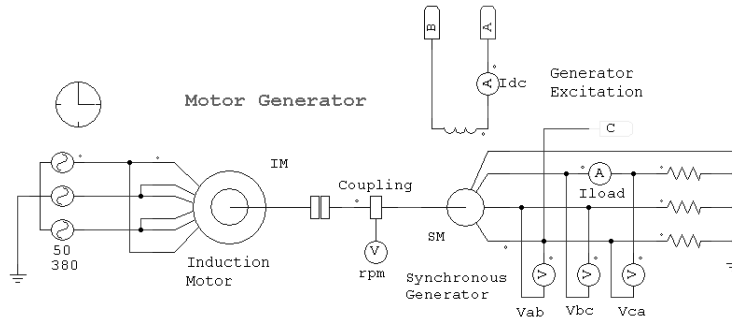
Postprocessing

Output analog (*crisp output*) hasil defuzzifikasi belumlah nilai aktual untuk input pada sistem yang akan dikontrol, oleh sebab itu nilai ini perlu didenormalisasi terlebih dahulu supaya jangkauan semestanya sesuai untuk input kontroler. Dalam hal ini *crisp* output pada semesta *fuzzy* harus disesuaikan (*scaling*) dengan satuan teknik (*engineering units*) seperti volt, meter, atau jam.

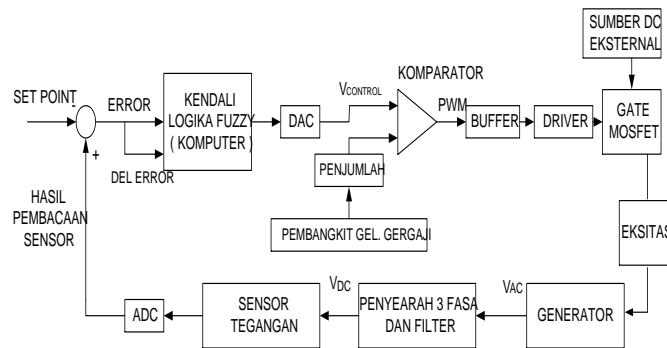
SISTEM YANG DIRANCANG

Untuk merealisasikan sistem kendali tegangan keluaran generator dalam penelitian ini, maka dibuat suatu sistem yang secara diagram digambarkan sebagai mana gambar 9 dan 10 berikut.

Gambar 9. Sistem perangkat keras motor-generator



Gambar 10. Buck converter yg dikontrol dengan logika fuzzy



Gambar 11. Realisasi sistem kendali *fuzzy* tegangan keluaran generator

Untuk mendapatkan tegangan keluaran generator yang konstan, maka tegangan output generator yang sudah disearahkan diukur oleh sensor dan diumpankanbalikkan ke rangkaian pengendali eksitasi. Sinyal error (selisih antara *set point* dan hasil pembacaan sensor) dan sinyal perubahan error (error

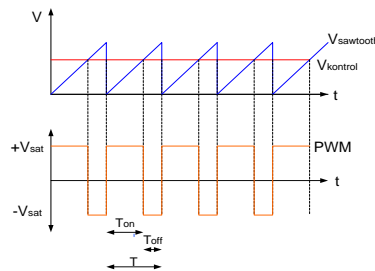
sekarang dikurangi error sebelumnya) diolah komputer dengan kendali logika fuzzy. Hasil kendali logika fuzzy ini berupa sinyal V kontrol yang dikirim ke komparator sehingga komparator akan menghasilkan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang dikendalikan oleh V kontrol. Sinyal PWM ini digunakan sebagai sinyal *switching* untuk mengendalikan *gate* MOSFET yang menyalurkan arus eksitasi ke generator hingga generator menghasilkan tegangan output yang diinginkan. Semakin besar *duty cycle* sinyal PWM maka arus eksitasi yang dialirkan akan semakin besar dan tegangan output generator juga akan naik.

Rangkaian penyearah tiga fasa dan filter digunakan untuk mendapatkan tegangan searah sebagai sinyal kendali dan memisahkan dari sinyal daya. Sinyal ini kemudian disensor oleh rangkaian sensor tegangan dengan menggunakan *voltage divider*.

Keluaran dari sensor diumpungkan ke suatu rangkaian ADC (*Analog to digital converter*) yang mengubah nilai analog tegangan sensor ke dalam nilai digital yang ekuivalen sehingga dapat diproses oleh komputer. Sebagai interface antara komputer dengan ADC atau pun DAC digunakan PPI 8255.

Kendali logika fuzzy yang direalisasikan dengan program komputer berfungsi untuk mengolah input error tegangan dan delta error sehingga menghasilkan output sinyal kontrol. Sinyal kontrol yang dihasilkan merupakan respon pengendali terhadap input dalam usahanya untuk mencapai output yang diinginkan. Sinyal kontrol yang berupa tegangan nantinya akan dikirim ke DAC (*Digital to Analog Converter*) yang mengubah sinyal kontrol digital yang dihasilkan oleh kendali logika fuzzy (komputer) menjadi sinyal kontrol analog yang ekuivalen kemudian meneruskannya ke rangkaian komparator.

Komparator berfungsi untuk menghasilkan sinyal kontrol bagi mekanisme pensaklaran modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation* ; PWM) bagi komponen saklar statis konverter DC-DC yang sebagai sumber eksitasi generator. Prinsip dasar teknik pensaklaran modulasi lebar pulsa (PWM) adalah membandingkan antara gelombang *carier* yang dapat berupa gelombang gigi gergaji (V_{carier}) dengan sinyal tegangan kontrol (V_{kontrol}) yang merupakan sinyal tegangan searah. Hasil perbandingan ini adalah gelombang pulsa persegi yang *duty cycle*-nya berubah menurut besarnya sinyal kontrol. Pembentukan sinyal PWM dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 12. Pembentukan sinyal gate saklar statis melalui mekanisme PWM

Mode pensaklarannya adalah sebagai berikut :

- Jika $V_{\text{kontrol}} > V_{\text{carier}}$, maka pulsa yang dihasilkan dianggap pulsa dalam kondisi on.
- Jika $V_{\text{kontrol}} < V_{\text{carier}}$, maka pulsa yang dihasilkan dianggap pulsa dalam kondisi off.

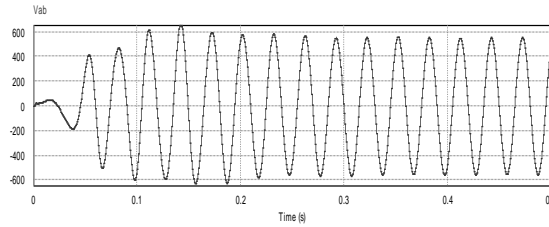
Jika V_{kontrol} dinaikkan maka pulsa on yang dihasilkan akan lebih lama (lebar) dan kalau V_{kontrol} diturunkan maka pulsa on yang dihasilkan akan lebih pendek (sempit).

Rangkaian konverter DC-DC menggunakan komponen MOSFET yang merupakan rangkaian pengatur besarnya eksitasi yang akan diumpungkan ke generator. Besar-kecilnya tegangan tersebut bergantung pada lebar pulsa *gate* yang dihasilkan dari mekanis PWM sebelumnya. Komponen MOSFET daya dipilih sebagai komponen pensaklaran karena dapat bekerja dengan kecepatan *switching* sangat tinggi, yaitu dalam orde nanodetik.

HASIL PENELITIAN

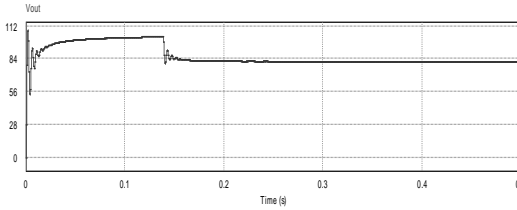
Pada bagian ini akan digambarkan hasil pengukuran keluaran tegangan terminal generator untuk berbagai tingkat pembebanan maupun tingkat putaran penggerak mula. Terlihat bahwa untuk berbagai

variasi pembebanan, tegangan generator cenderung stabil pada nilai seting yang diberikan, dari gambar grafik ini juga dapat dibandingkan dengan nilai output keluaran generator tanpa pengendalian tegangan.



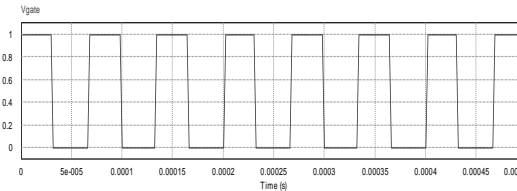
Gambar 13. Tegangan *line to line* pada output generator

Tegangan output generator yang dihasilkan adalah tegangan tiga fasa 380 V. Dari pengukuran tegangan output generator adalah 383 V (rms). Untuk nilai V_{ab} , V_{bc} dan V_{ca} bernilai hampir sama.



Gambar 14. Tegangan output buck converter yg dikontrol dengan logika fuzzy

Tegangan output pada buck converter berubah-ubah sesuai dengan tegangan output tegangan generator. Perubahan ini diatur oleh sinyal control dari logika fuzzy yang dipengaruhi oleh error terhadap set point yang ditetapkan. Untuk kondisi tanpa beban, tegangan output dari buck converter adalah 84,5 Vdc.

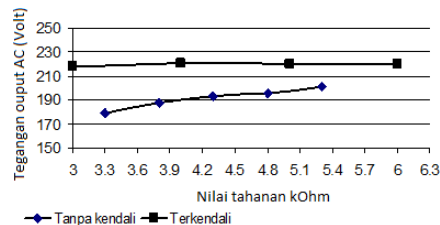


Gambar 15. Sinyal gate untuk Mosfet

Pada gambar 15, sinyal gate merupakan output dari logika fuzzy untuk mengatur *duty cycle* pada *buck converter*. Output dari *buck converter* ini digunakan untuk mengatur tegangan eksitasi pada generator. Untuk kondisi tanpa beban, duty cycle yang diperoleh adalah 37,2 %.

Pada gambar 16, terlihat dengan pengontrolan fuzzy, tegangan output generator menjadi lebih stabil untuk nilai beban yang bervariasi. Tegangan output per fasanya konstan pada tegangan 219,71 Volt.

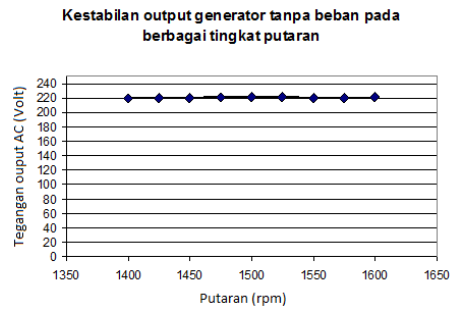
Tegangan output pada berbagai variasi beban dengan output tanpa beban adalah 219.71 V



Gambar 16. Perbandingan nilai tegangan fasa dari output generator terkendali dan tanpa kendali

Gambar 17 menunjukkan tegangan output generator yang stabil pada berbagai variasi kecepatan penggerak mula. Nilai tegangan yang terukur merupakan nilai rms yang menunjukkan nilai efektif tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan pada berbagai variasi kecepatan ini meskipun

memberikan nilai tegangan yang sama namun dengan frekwensi yang berubah menurut tingkat kecepatan penggerak mula.



Gambar 17. Tegangan output generator untuk berbagai tingkat kecepatan penggerak mula

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan , maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengendalian tegangan keluaran generator dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kendali berbasis *fuzzy logic*
2. Hasil pengukuran tegangan terminal menunjukkan bahwa untuk berbagai tingkat pembeban generator, sistem kendali fuzzy dapat mempertahankan nilai tegangan setting yang diberikan, demikian pula untuk berbagai tingkat kecepatan penggerak mula, tegangan ouput yang dihasilkan memberikan nilai yang hampir sama.
3. Tegangan output generator adalah $383 V_{\text{line to line}}$ dengan tegangan per phasanya adalah 219,71 Volt. Tegangan eksitasi untuk tanpa beban adalah $84,5 V_{\text{dc}}$ dengan duty cycle 37,2 % pada frekuensi switching sebesar 15 kHz.
4. Telah dapat diwujudkan suatu prototipe pengendalian eksitasi generator dengan menggunakan kontroler logika *fuzzy*

Referensi

- [1] Hasan, Abul R., A.H.M. Sadrul Ula. 1994. *Design and Implementation of a Fuzzy Controller Based Automatic Voltage Regulator for a Synchronous Generator*. IEEE Transactions on Energy Conversin, Vol.9, NO.3, September 1994.
- [2] J.P.Rey. 2002. *Lecture Notes Principles of Fuzzy Logic*. Noordelijke Hogeschool Leeuwarden.
- [3] Malvino.Barmawi. 1994. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jilid 1. Edisi 3. Jakarta : Erlangga.
- [4] Malvino.Barmawi. 1996. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jilid 2. Edisi 3. Jakarta : Erlangga.
- [5] Mohan,Ned. Tore M.Undeland. William P.Robins. 1995. *Power Electronics : Converters, Applications, and Design*. Second Edition. New York : John Wiley and Sons.
- [6] Panduan untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mikro Hidro.
- [7] Panjaitan,R. 2000. *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*. Bandung : Tarsito.
- [8] Setiawan, Budi. 2004. *Perancangan dan Pembuatan Regulator DC Menggunakan Buck-Boost*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro UNAND. Padang.
- [9] Wasito.S. 2001. *Vademekum Elektronika*. Edisi 2. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- [10] Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- [11] Zulhamdi. 2006. *Simulasi Hybrid PI-Fuzzy Kontroler pada Sistem Weight Feeder Conveyor*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro UNAND. Padang.