

APLIKASI PENGENDALIAN LOGIKA SAMAR (FLC) UNTUK KENDALI POSISI MOTOR DC SEBAGAI PENENTU TEGANGAN ANODA AKSELERATOR IMPLANTASI ION

Budi Santosa

P3TM – BATAN Yogyakarta

Achmad Balza, Robby Christian

Jurusan Teknik Nuklir Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK

APLIKASI PENGENDALIAN LOGIKA SAMAR (FLC) UNTUK KENDALI POSISI MOTOR DC SEBAGAI PENENTU TEGANGAN ANODA AKSELERATOR IMPLANTASI ION. Unjuk kerja akselerator implantasi ion dipengaruhi oleh intensitas ion dopan. Salah satu variabel penentu intensitas ion dopan ini adalah tegangan anoda akselerator. Tegangan anoda akselerator diatur melalui pengaturan posisi motor DC yang terkopel dengan variak satu fase. Makalah ini membahas pengaturan posisi motor DC, sebagai penentu tegangan anoda akselerator, menggunakan kendali logika samar. Hasil eksperimen menunjukkan kendali logika samar ini mampu memberikan respon yang cepat tanpa adanya overshoot serta mampu menanggapi perubahan setpoint dengan baik.

ABSTRACT

APPLICATION OF FUZZY LOGIC CONTROL SYSTEM ON DC MOTOR POSITION TO REGULATE THE ANODE VOLTAGE OF AN ION IMPLANTATION ACCELERATOR. The performance of an ion implantation accelerator is mainly determined by its ion beam intensity. Among of those intensity-regulating variables is the anode's voltage. This voltage is furthermore regulated by controlling the position of a DC motor which is coupled to a single-phase variac. This paper discuss the controlling position of a DC motor, to regulate accelerator's anode voltage, using Fuzzy Logic Controller (FLC). The experimental results show that FLC is able to give fast responses having no overshoot, and also capable of responding well to changes in setpoints.

PENDAHULUAN

Akselerator merupakan alat yang dirancang untuk mempercepat gerakan partikel-partikel bermuatan, seperti proton dan elektron. Akselerator implantasi ion merupakan akselerator yang digunakan khusus untuk menembakkan partikel bermuatan dan mencangkokkannya ke suatu materi target^[1]. Prinsip kerjanya dimulai dari tahap eksitasi sumber ion. Ion yang terbentuk lalu dipercepat dan difokuskan melalui lensa magnetik. Berkas ion tersebut kemudian ditembakkan ke materi target pada cawan Faraday. Oleh karena itu,

hasil implantasi yang dilakukan akselerator dipengaruhi oleh intensitas berkas ion yang datang. Berkas ion ini dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu tegangan anoda, induksi elektromagnet, tekanan gas dan volume efektif gas.

Dalam penelitian ini, ditinjau pengendalian terhadap tegangan anoda untuk meningkatkan unjuk kerja akselerator implantasi ion. Pengendalian tegangan anoda diwujudkan dalam bentuk sistem kendali posisi motor DC yang terkopel dengan variak satu fase. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengendalikan

motor menggunakan kendali MPC^[2], dan kendali PI^[3]. Adapun perangkat keras yang digunakan untuk mengatur tegangan anoda ditunjukkan pada Gambar 1. Perangkat keras tersebut terdiri dari komputer, *driver* motor DC, motor DC terkopel variak satu fase, dan rangkaian pengkondisian sinyal. Komputer sebagai unit pengendali dihubungkan dengan domain analog melalui kartu antarmuka yang terdiri dari DAC dan ADC 8 bit. Driver penggerak motor DC mengkonversi tegangan keluaran DAC menjadi sinyal penggerak motor. Melalui *driver* tersebut, motor dapat berputar baik searah maupun berlawanan arah jarum jam. Posisi sikat motor dalam variak satu fase menentukan besarnya pembagian tegangan yang dilakukan oleh variak. Tegangan keluaran variak dilewatkan rangkaian pengkondisian sinyal sebelum diumpankan ke ADC. Dari hasil pengamatan daerah kerja motor terhadap masukan DAC diperoleh daerah *cut-off*, pada daerah tersebut motor tidak dapat bergerak searah maupun berlawanan jarum jam.

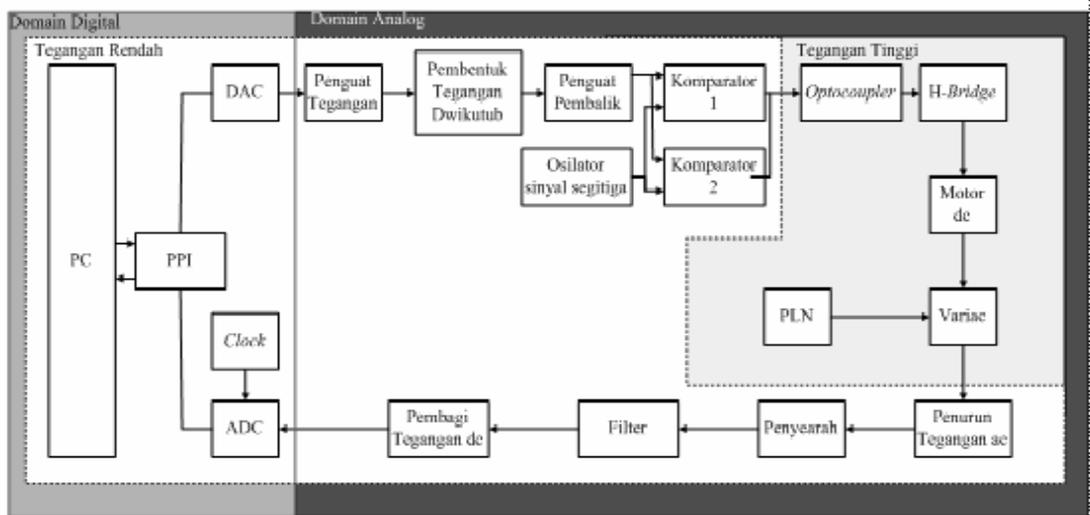
Untuk mengatasi hal tersebut didalam makalah ini akan dirancang pengendalian logika tersamar (*'Fuzzy'*). Salah satu keuntungan penggunaan kendali *fuzzy* adalah dapat mengendalikan suatu proses/system yang bersifat tidak linier. Selain itu, kendali logika samar juga dapat memiliki kemampuan pembelajaran (*learning*).

Kendali logika samar merupakan cabang dari ilmu kendali cerdas. Perkembangan dan aplikasinya belakangan ini telah banyak menggantikan kendali konvensional. Sejak diperkenalkan pada tahun 1965, kendali logika samar telah digunakan untuk pengendalian proses sementasi, pergerakan robot, pergerakan motor, operasi kereta otomatis, dan banyak lagi. Faktor kunci dari perancangan kendali logika samar adalah penyusunan fungsi keanggotaan dan aturan-aturan yang digunakan. Penyusunan fungsi keanggotaan diperlukan untuk menentukan nilai logika samar tiap variabel masukan dan keluaran. Aturan-aturan diperlukan untuk menghubungkan masukan kendali dengan keluaran kendali yang sesuai.

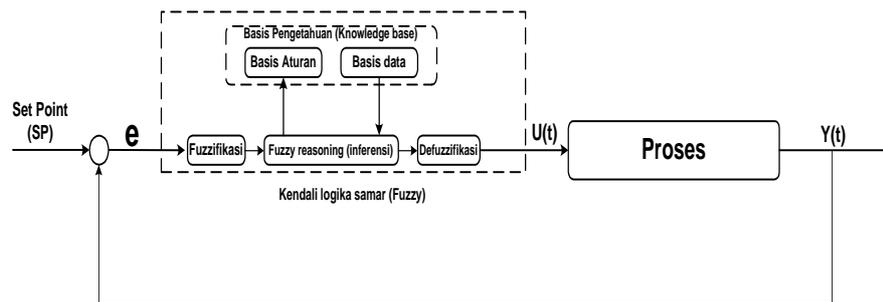
TEORI

Struktur Dasar Kendali Logika Samar

Di dalam struktur dasar sistem kendali logika samar^[4], terdapat 4 bagian penting. Yang menjadi penyusun struktur dasar dari sistem kendali logika samar, yaitu : fuzzifikasi, basis pengetahuan (*knowledge base*), inferensi (*reasoning*), defuzzifikasi, seperti yang dilukiskan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram blok pengendalian tegangan tinggi anoda akselerator implantasi ion ^[3].



Gambar 2. Sistem kendali logika samar.

Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan mempunyai fungsi penting didalam sistem kendali logika samar, karena semua proses : Fuzzifikasi, inferensi, defuzzifikasi bekerja berdasarkan pengetahuan yang ada pada basis pengetahuan. Basis pengetahuan dibagi menjadi dua bagian yaitu ; basis data dan basis aturan. Basis data berisikan definisi-definisi mengenai parameter *fuzzy*, seperti himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya telah didefinisikan untuk setiap variabel linguistik yang ada. Basis aturan berisikan aturan kendali *fuzzy* yang dijalankan untuk mencapai tujuan pengendalian. Tiap aturan kendali dapat berujud implikasi dan pernyataan kondisional *IF – Then (Bila – maka)*.

Aturan-aturan *IF – Then* yang ada dikelompokkan dan disusun kedalam bentuk Fuzzy Associative Memory (FAM). Aturan yang dibuat harus dapat mengatasi semua kombinasi –kombinasi keluaran yang terjadi, dan harus dapat menghasilkan sinyal kendali yang sesuai dengan tujuan pengendalian.

Inferensi

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu masukan ke suatu keluaran (sinyal kendali) dalam domain fuzzy. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan-aturan fuzzy yang terdapat pada basis aturan, dan teknik penalaran yang berfungsi sebagai logika pengambilan putusan.

Kendali Logika Samar

Cara kerja kendali logika samar dimulai dari bagian fuzzifikasi. Sinyal *error* sebagai hasil perbedaan antara sinyal keluaran sistem dengan *Set point* ($SP = demand$), diumpangkan ke blok fuzzifikasi. Dalam blok fuzzifikasi, sinyal *error* dipetakan dari bentuk *crisp* (himpunan linguistik *Fuzzy*) ke bentuk *fuzzy* dengan bantuan blok basis data. Nilai *fuzzy* sinyal *error* digunakan untuk menentukan nilai *fuzzy* keluaran kendali dengan menggunakan blok basis aturan. Proses tersebut dinamakan inferensi, dan berlangsung pada blok *fuzzy reasoning*. Ada beberapa metode inferensi yang umum digunakan, yaitu Mamdani, Larsen, Max-Min dan *Arithmetic*. Nilai *fuzzy* keluaran kendali ini kemudian diubah ke bentuk *crisp* pada blok defuzzifikasi. Metode defuzzifikasi sendiri terbagi menjadi dua yaitu *Maximum of Mean* (MOM) dan *Center of Area* (COA). Bentuk *crisp* keluaran kendali inilah yang kemudian diumpangkan ke *plant* sebagai sinyal kendali $u(t)$. Didalam perancangan kendali fuzzy digunakan metoda inferensi Mamdani, sedangkan metoda defuzzifikasi digunakan MOM (*'Maximum of Mean'*).

METODA PENELITIAN

Penentuan Waktu Cuplik (*Sampling Time*)

Penentuan waktu cuplik dilakukan dengan metode tanggapan frekuensi terhadap fungsi alih (*transfer function*) system yang dibuat. Adapun fungsi alih tersebut diperoleh dengan teknik identifikasi parameter system. Pengamatan tanggapan frekuensi dari model

dalam bentuk diagram *Bode*, akan diperoleh frekuensi *cut off* sistem. Dengan memperhatikan aturan Nyquist

$$f_s \geq 2f_h \tag{1}$$

dengan f_h dan f_s masing-masing adalah lebar pita frekuensi sistem dan frekuensi cuplik (*sampling frequency*), maka diperoleh waktu cuplik t_s (*sampling time*) sebesar :

$$t_s = \frac{1}{f_s} \tag{2}$$

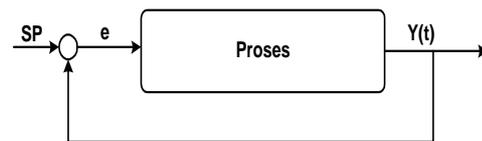
Pengamatan Daerah Kerja Motor DC

Pengamatan dilakukan dengan mengamati pengaruh kecepatan putar motor DC terhadap masukan nilai DAC. Dari hasil pengamatan diharapkan dapat digunakan sebagai dasar, untuk menyusun fungsi keanggotaan *fuzzy* dari sinyal kendali.

Simulasi Pengendalian Sistem

Pengamatan dilakukan berdasarkan diagram simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun data yang diambil adalah data sinyal kesalahan e (sinyal *error*) dan sinyal keluaran $y(t)$. Data sinyal kesalahan digunakan untuk menyusun fungsi keanggotaan dari sinyal kesalahan. Sedangkan data sinyal keluaran $y(t)$

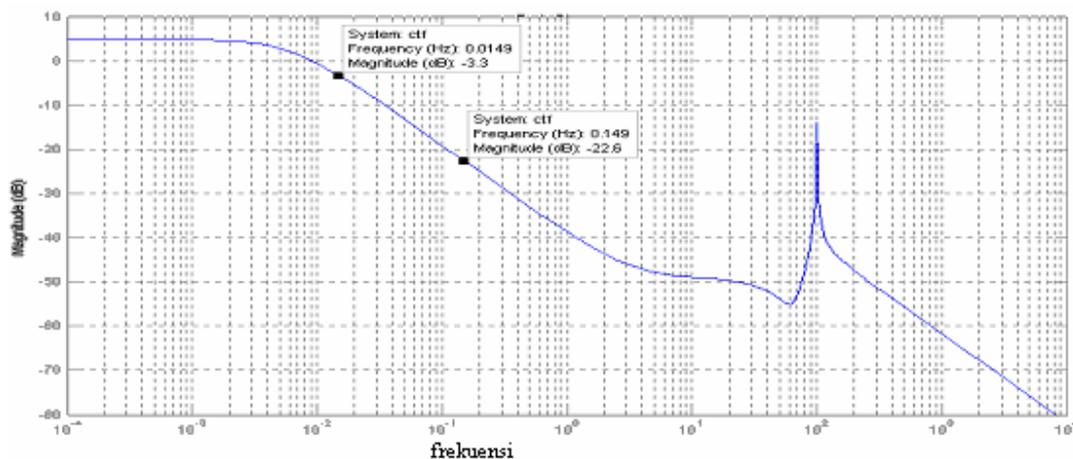
dengan memperhatikan daerah kerja motor DC digunakan untuk menyusun fungsi keanggotaan *fuzzy* sinyal kendali. Fungsi keanggotaan pada sinyal masukan digunakan dua buah fungsi yaitu fungsi sinusoidal dan segitiga, untuk sinyal keluaran fungsi segitiga yang dimodifikasi sebagai akibat adanya daerah mati dari motor DC. Simulasi pengendalian selain digunakan untuk menentukan keanggotaan *fuzzy*, juga digunakan untuk membuat aturan aturan *fuzzy*.



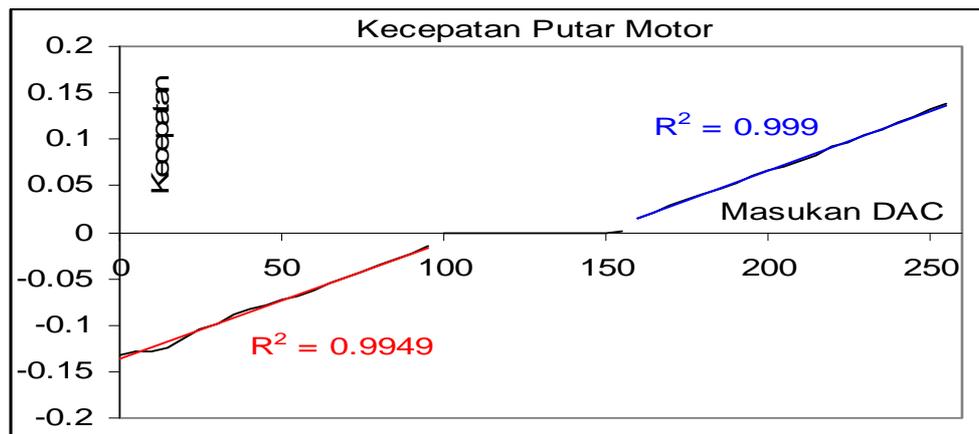
Gambar 3. Diagram simulasi Pengendalian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan tanggapan frekuensi dari sistem proses yang dibuat digambarkan dalam diagram Bode^[5], dan dapat dilihat pada gambar 4. Dari diagram bode tersebut diperoleh frekuensi cuplik minimal untuk merekonstruksi sinyal keluaran *plant* hingga 1 dekade di atas frekuensi *cut-off* adalah 0,3 Hz. Namun untuk menghindari aliasing akibat gangguan sinusoidal PLN (50/60 Hz) maka frekuensi cuplik minimal adalah 120 Hz. Percobaan selanjutnya digunakan frekuensi cuplik sebesar 200 Hz.



Gambar 4. Diagram bode model.



Gambar 5. Daerah kerja motor.

Respon motor terhadap variasi masukan DAC dapat dilihat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa masukan DAC dari 0 sampai 100 menyebabkan motor berputar berlawanan arah jarum jam, sedangkan masukan DAC 155 sampai 255 menyebabkan motor berputar searah jarum jam. Selain itu, motor memiliki daerah *cut-off* dimana motor tidak berputar, yaitu pada masukan DAC dari 100 sampai 155 desimal.

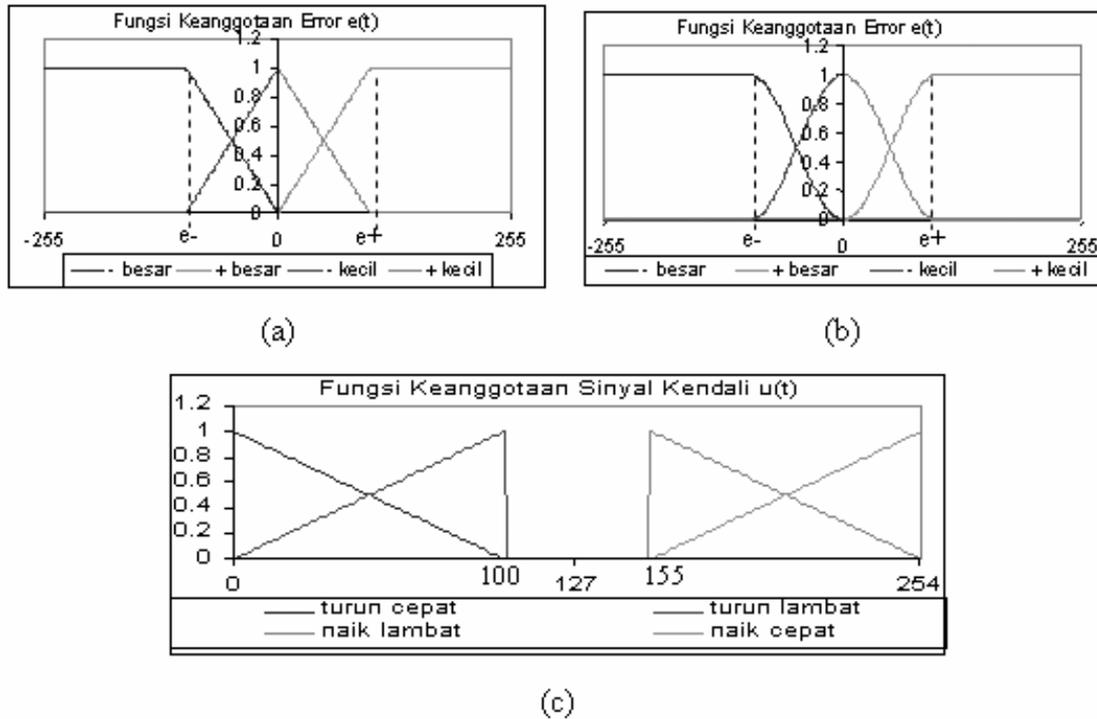
Berdasarkan informasi atas daerah kerja motor dan karakteristik respon yang diinginkan, dilakukan perancangan kendali logika samar. Perancangan fungsi keanggotaan variabel masukan (*error*) dan keluaran (sinyal kendali) ditunjukkan pada Gambar 6. Fungsi keanggotaan sinyal *error* dibedakan menjadi dua, segitiga dan sinusoidal, yang mana penentuan fungsi keanggotaan optimal dilakukan melalui simulasi. Hipotesis awal adalah fungsi keanggotaan sinusoidal mampu menghasilkan respon yang lebih cepat, serta memiliki kemampuan peredaman gangguan (*noise-susceptibility*) yang lebih baik daripada fungsi keanggotaan segitiga. Fungsi keanggotaan sinyal kendali dirancang untuk mengakomodasi dua buah *limiter*, yaitu *anti cut-off limiter* dan *range-limiter*. Penggunaan kedua *limiter* ini sesuai dengan daerah kerja motor yang telah ditentukan sebelumnya, dan diharapkan dapat memperbaiki

karakteristik respon transien. Perancangan kendali ini menggunakan metode inferensi MAMDANI dan metode defuzifikasi MOM^[4]. Aturan-aturan *fuzzy* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Bila *error* positif besar maka motor bergerak cepat searah jarum jam.
2. Bila *error* positif kecil maka motor bergerak lambat searah jarum jam.
3. Bila *error* negatif besar maka motor bergerak cepat berlawanan arah jarum jam.
4. Bila *error* negatif kecil maka motor bergerak lambat berlawanan arah jarum jam.

Selain itu, ditambahkan satu aturan *crisp* untuk menghentikan motor ketika *error* sama dengan nol.

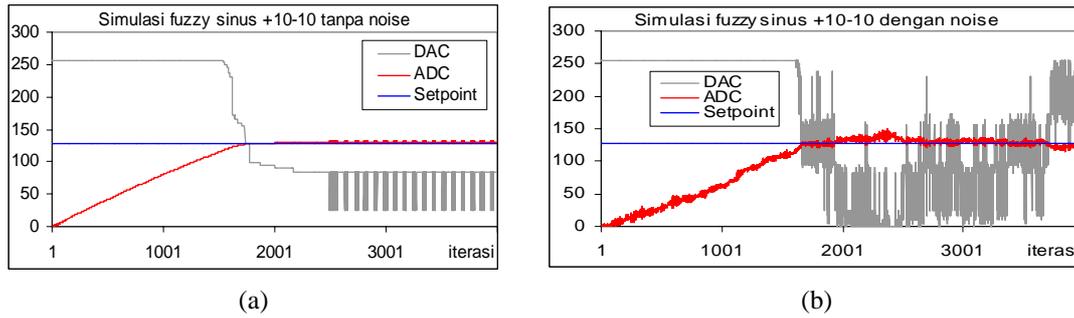
Penentuan fungsi keanggotaan yang optimal dilakukan melalui simulasi pengendalian atas model matematis dari *plant*. Perbandingan hasil simulasi pengendalian diberikan pada Tabel 1. *Setpoint* yang digunakan adalah 127 dengan nilai awal $y=0$. Dari perbandingan ini dapat disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan yang memberikan respon terbaik adalah fungsi keanggotaan sinusoidal dengan $e+ = 10$ dan $e- = -10$. Grafik simulasi pengendalian ini diberikan pada Gambar 7.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan kendali logika samar.

Tabel 1. Perbandingan simulasi pengendalian logika samar.

Fungsi keanggotaan	Waktu naik (detik)	Lewatan maksimum (%)	Waktu tetap (detik)	Kesalahan keadaan tunak (%)
Segitiga +10 dan -10 tanpa noise	6,94	3,94	7,38	3,15
Segitiga +20 dan -20 tanpa noise	7,29	6,30	7,40	6,30
Sinus +10 dan -10 tanpa noise	6,94	3,94	7,38	3,15
Sinus +20 dan -20 tanpa noise	7,44	7,09	7,39	7,09
Segitiga +10 dan -10 dengan noise	7,945	18,11	7,58	29,92
Segitiga +20 dan -20 dengan noise	7,935	15,75	16,83	24,41
Sinus +10 dan -10 dengan noise	6,855	17,32	12,19	16,54
Sinus +20 dan -20 dengan noise	6,495	18,90	-	28,35

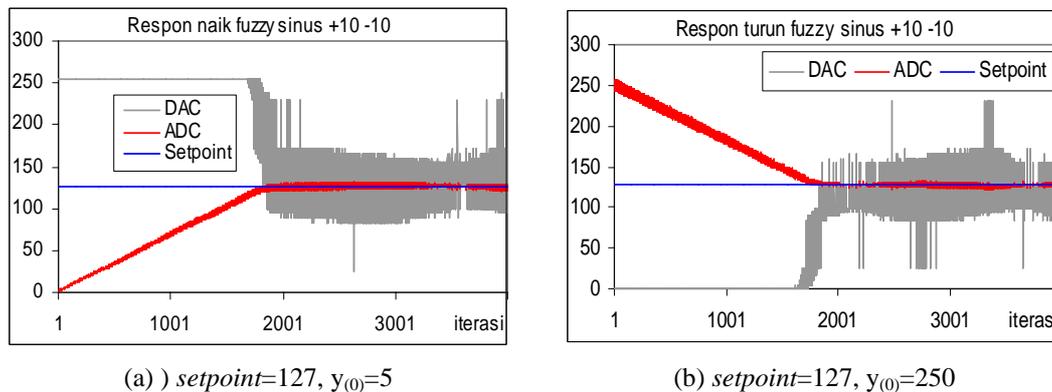


Gambar 7. Simulasi pengendalian logika samar dengan fungsi keanggotaan sinusoidal $e^+ = 10$ dan $e^- = -10$, $setpoint = 127$, $y(0) = 0$.

Setelah optimalisasi kendali, dilakukan akusisi kalang tertutup menggunakan kendali teroptimisasi dengan masukan tangga. Hasil akusisi ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 2. Perbedaan respon kendali terhadap model dengan respon kendali terhadap *plant* dikarenakan adanya perbedaan sinyal gangguan. Pada simulasi, gangguan yang disimulasikan tidak mencakup sinyal AC sinusoidal yang terdapat pada *plant*. Ini mengakibatkan perbedaan sinyal

error, yang berpengaruh terhadap keluaran kendali.

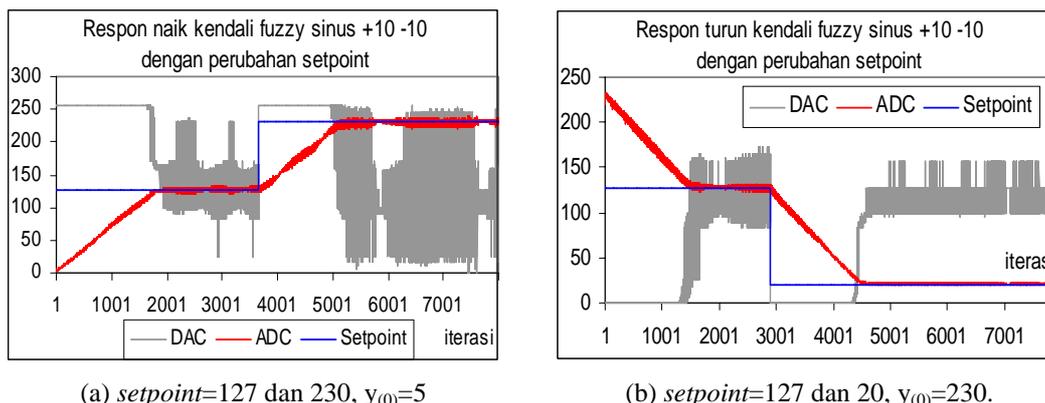
Pengujian respon kendali lebih lanjut dilakukan dengan perubahan *setpoint*. Hasil akusisi data kendali dengan perubahan *setpoint* ditunjukkan pada Gambar 9. Dari gambar ini dapat disimpulkan bahwa kendali logika samar tersebut mampu merespon perubahan *setpoint* dengan baik.



Gambar 8. Respon kendali logika samar.

Tabel 2. Karakteristik respon kendali logika samar.

Putaran motor	Waktu naik (detik)	Lewatan maksimum (%)	Waktu tetap (detik)	Kesalahan keadaan tunak (%)
Naik	7,28	3,94 (4,7 V)	8,56	1,57 (1,88 V)
Turun	7,7	3,94 (4,7 V)	8,4	0,7 (0,94 V)



Gambar 9. Respon kendali logika samar dengan perubahan *setpoint*.

KESIMPULAN

Kendali logika samar telah berhasil diterapkan untuk mengendalikan posisi motor DC akselerator implantasi ion. Kendali ini mampu memberikan respon yang cepat dengan tingkat *overshoot* rendah dan *offset* kecil. Selain itu kendali logika samar juga mampu merespon dengan baik perubahan *setpoint*. Fungsi keanggotaan optimal yang didapat melalui simulasi adalah sinusoidal dengan $e+=10$ dan $e=-10$. Semakin besar nilai $e+$ dan atau $e-$ yang digunakan, respon kendali semakin lambat namun faktor peredaman gangguannya semakin baik. Sebaliknya, semakin kecil nilai $e+$ dan atau $e-$ yang digunakan, respon kendali akan semakin cepat namun faktor peredaman gangguannya semakin buruk

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ZULFIKAR, *Generator Crockroft-Walton Untuk Sumber Tegangan Tinggi Akselerator Implantasi Ion*, Skripsi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 1987.
- [2] ACHMAD, BALZA, *Pengaturan Kecepatan Motor Menggunakan Kendali Prediktif Berbasis Model (MPC) Untuk Mendukung Sistem Penggerak Batang Kendali Reaktor Nuklir*, Makalah pada Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah

Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, 2000.

- [3] JAYAWIKARTA, CEPI, *Rancang Bangun Sistem Kendali Posisi Motor DC Terbebani Variak Satu Fase Menggunakan Metode Chopper (Diimplementasikan Pada Pengendalian Tegangan Tinggi Anoda Akselerator Implantasi Ion)*, Skripsi Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2004.
- [4] KUSWADI, SON, *Kendali Cerdas (Intelligent Control)*, EEPIS Press, Surabaya, 2000.
- [5] OGATA, KATSUHIKO, *Teknik Kontrol Automatis*, Erlangga, Jakarta, 1997

TANYA JAWAB

Djoko SP.

- Apa yang dimaksud dengan logika samar (FLC)?
- Apakah sudah dapat diaplikasikan secara on-line pada mesin implantor ion di P3TM?

Budi Santosa

- Yang dimaksud logika samar didalam makalah ini adalah *Fuzzy logic controller* (FLC) atau kendali logika samar. Didalam FLC, sinyal kendali yang didapat, berasal

dari hasil pengolahan serangkaian himpunan *fuzzy* berdasarkan aturan yang ada pada basis pengetahuan, sedangkan himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang keanggotaannya memiliki nilai derajat keanggotaan kontinyu antara 0 sampai 1.

- Belum diaplikasikan secara *on-line*, masih dalam bentuk wacana.

Subarkah

- Apa yang dimaksud dengan metoda inferensi MAMDANI dan metode defuzifikasi MOM (*means of maximum*).

Budi Santosa

- Metoda inferensi MAMDANI adalah metoda untuk mengolah dua himpunan *fuzzy* secara tranformasi, sehingga diperoleh nilai fuzzy berdasarkan aturan

IF x is A (himpunan *fuzzy*) THEN y is B (himpunan *fuzzy*)

Sedangkan metode defuzifikasi MOM adalah metoda untuk mendapatkan nilai nyata atau tertentu, berdasarkan serangkai aturan aturan yang ada didalam FAM (*fuzzy associative memory*).