



# Sistem Crane dengan Pengontrol Fuzzy untuk Meredam Ayunan

Irwing Antonio T. Candra dan Muliady

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha, Bandung

Jl. Suria Sumantri 65, Bandung 40164, Indonesia

irwingantonio@gmail.com, mld\_ang@yahoo.com

**Abstrak:** Sistem *crane* digunakan untuk memindahkan *container* dari satu tempat ke tempat lainnya tanpa membuat ayunan yang dapat membuat isi *container* tersebut rusak, penempatan isi *container* yang berantakan, dan kemungkinan terjadinya kecelakaan misalnya *container* tersebut lepas dari pengait *crane*. Pada penelitian ini, model sistem *crane* dibuat dari kerangka besi dengan tinggi 80 cm, dan jarak perpindahan 180 cm yang digerakkan oleh dua buah motor DC. Metoda kontrol yang digunakan logika *fuzzy* dengan tujuan ayunan yang terjadi maksimum  $15^\circ$  saat *crane* berpindah posisi. *Input* dari sistem inferensi *fuzzy* adalah sudut ayunan dan posisi *crane*, sedangkan *output* berupa tegangan yang masuk ke motor DC 24 volt penggerak *crane*. Sensor-sensor yang digunakan adalah potensiometer putaran ganda sebagai sensor sudut dan sensor jarak ultrasonik sebagai sensor posisi. Model sistem *crane* dikontrol dengan menggunakan pengontrol mikro ATmega16. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa model sistem *crane* dengan pengontrol *fuzzy* mampu memindahkan beban 300 gr, 500 gr, dan 1 kg pada jarak 10 cm, 45 cm, 90 cm, 135 cm, dan 180 cm. Ayunan maksimum terjadi  $14,1^\circ$  saat membawa beban 500 gr berpindah sejauh 135 cm. Dengan pengontrol *fuzzy* pemindahan jarak yang pendek menunjukkan kinerja yang jauh lebih baik daripada pengontrol *on-off*.

**Kata kunci:** Logika *Fuzzy*, Model Sistem *Crane*, ATmega16, Sensor Jarak Ultrasonik, Sensor Sudut Potensiometer Putaran Ganda

**Abstract:** *Crane systems are used for transporting a container from one place to another without making a swing. The swing in the container must not happen because contents of the container can be broken, disorganized placement, and chance of accidents will arise if container became loose from the crane hook. In this research, crane system model is construct using a metal frame with 80 cm height and 180 cm length of crane track. The control method is fuzzy logic with the objective to make the maximum swinging angle is  $15^\circ$  when the crane is moving. Input for fuzzy inference system are swing angle and crane position, while the output voltage send to a 24 volt DC motor that move the crane. Sensors used are multiturn potentiometer as angle sensor and ultrasonic sensor as position sensor. Crane system model is controlled using ATmega16 microcontroller. Based on the tests, it can be concluded that the crane system with fuzzy controller is able to move a 300 gr, 500 gr, and 1 kg load with 10 cm, 45 cm, 90 cm, 135 cm, and 180 cm distance. The maximum swinging angle is  $14.1^\circ$ , when the crane travelled 135 cm with 500 gr load. Those tests show that the performance of the crane system model with fuzzy controller is better than a conservative on-off control method.*

**Keywords:** Fuzzy Logic, Crane System Model, ATmega16, Ultrasonic Distance Sensor, Multiturn Potentiometer Angle Sensor

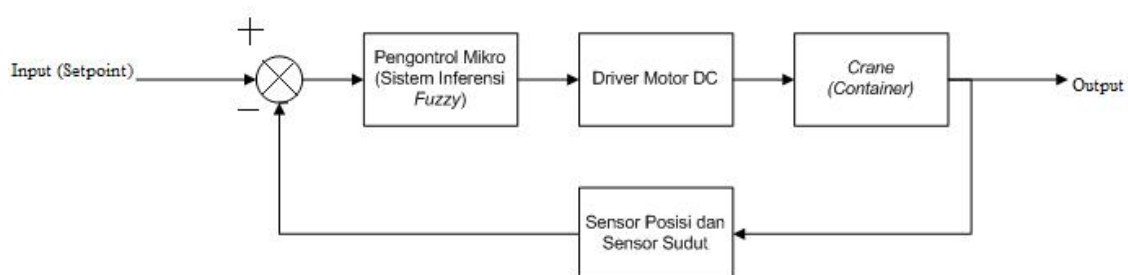
## I. PENDAHULUAN

Dunia teknologi dan industri berkembang dengan pesat. Hal ini ditandai dengan banyaknya sistem industri yang dibuat menjadi serba otomatis, sehingga hasilnya dapat lebih optimal dan efisien. Pada industri umumnya terdapat sistem *crane* untuk memindahkan *container* atau benda dari satu tempat ke tempat lainnya. *Crane* yang hanya menggunakan pengontrol *on-off* yang dioperasikan oleh manusia biasanya menimbulkan ayunan yang lalu distabilkan dengan menggunakan tangan. Pada sistem *crane* yang telah otomatis cara ini tidak dapat dilakukan, sehingga ayunan yang timbul dapat menyebabkan posisi *crane* menjadi tidak akurat, serta banyak menyita waktu untuk mengaturnya<sup>[1]</sup>. Ayunan pada *container* tidak boleh terlalu besar, mengingat isi dari *container* tersebut bisa rusak, berantakan, dan kemungkinan terjadinya kecelakaan misalnya *container* tersebut lepas dari pengait *crane*. Besar sudut ayunan pada *container* dapat dikurangi dengan menggunakan metode logika *fuzzy* untuk mengontrol laju *crane*. Metode logika *fuzzy* mampu mengadaptasi ketrampilan operator dalam mengontrol gerakan *crane*, sehingga pengontrol dapat mengendalikan sistem yang parameternya belum diketahui atau berubah.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah membuat pengontrol *fuzzy* yang dapat mengontrol *crane* otomatis agar diperoleh sudut ayunan yang lebih kecil dibandingkan dengan pengontrol *on-off* pada saat proses pemindahan *container*. Penelitian ini dibatasi ruang lingkungannya sebagai berikut:

1. *Crane* memiliki dua *Degree of Freedoms*, akan tetapi yang dikontrol dengan pengontrol *fuzzy* hanya satu *Degree of Freedom*, yaitu pada pergerakan *crane* ke kiri dan kanan.
2. Barang yang dipindahkan hanya 1 buah dengan bobot maksimum 1000 gram.
3. Ayunan sudut seminimal mungkin didefinisikan yaitu  $\pm 5^\circ$  pada saat *container* mencapai posisi yang diinginkan, dan  $\pm 15^\circ$  pada proses pemindahan *container*.

## II. PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM CRANE



Gambar 1. Diagram blok sistem *crane*

Motor DC yang menggerakkan *crane* akan menyebabkan terjadinya ayunan pada tali *crane*. Ayunan tersebut akan dideteksi oleh sensor sudut yang akan mengirimkan hasil pembacaannya ke pengontrol mikro bersama-sama dengan hasil pembacaan sensor posisi. Sistem Inferensi *Fuzzy* akan memroses *input* tersebut kemudian menghasilkan sinyal keluaran

ke *driver* motor DC. *Driver* motor DC akan menghasilkan tegangan yang sesuai untuk menggerakkan motor DC dengan kecepatan tertentu agar ayunan yang terjadi pada *crane* memenuhi kriteria yang telah ditetapkan pada perumusan masalah. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

### II.1. Perancangan dan Realisasi Sensor Sudut

Sensor sudut dalam penelitian ini berupa potensiometer putaran ganda bernilai 100kOhm. Poros dari potensiometer tersebut dihubungkan dengan suatu poros tambahan yang dirancang agar ikut berputar apabila tali *crane* bergerak dengan sudut tertentu sehingga sudut ayunan dapat dideteksi dengan potensiometer.

Pemasangan potensiometer putaran ganda ini sedemikian rupa sehingga menghasilkan tegangan 0 volt apabila diputar ke sudut  $-90^\circ$ , dan 0,25 volt bila diputar ke sudut  $+90^\circ$ . Nilai tegangan tersebut nantinya akan dibaca oleh pengontrol mikro melalui ADC (*analog to digital converter*). Konversi nilai ADC menggunakan tegangan referensi 5 volt, maka dibutuhkan *input* dengan range 0-5 volt, sehingga dirancang rangkaian penguat tegangan sebesar 20 kali.

Rangkaian pengolah sinyal dibuat dari IC LM324. Dengan menggunakan konfigurasi penguatan *non inverting*, dengan penguatan 20 kali,  $V_{in\ max} = 0,25$  volt dan  $V_{out\ max} = 5$  volt. Nilai tegangan 0-5 volt akan dikonversi oleh pengontrol mikro menjadi nilai ADC. Berdasarkan uji coba secara empiris diperoleh hubungan antara nilai ADC dengan sudut membentuk suatu garis yang mendekati liner yaitu  $a = 0,74b - 83,7$  dengan  $a$  adalah nilai sudut dan  $b$  adalah nilai ADC yang terbaca potensiometer.

### II.2. Sensor Jarak Ultrasonik

Sensor jarak ultrasonik PING mempunyai tiga buah pin yaitu pin ground, pin tegangan 5 volt, dan pin sinyal. Pin ground dan pin tegangan 5 volt dihubungkan ke sumber tegangan, sedangkan pin sinyal dihubungkan ke pengontrol mikro. Sensor PING bekerja berdasarkan suatu algoritma yang diprogram pada pengontrol mikro. Algoritma ini berisi perintah agar pengontrol mikro mentrigger sensor sehingga memancarkan gelombang ultrasonik lalu menunggu gelombang pantulan yang diterima. Lama waktu yang terukur akan dikalkulasi menjadi jarak.

### II.3. Perancangan dan Realisasi Sistem Inferensi Fuzzy

Perancangan sistem inferensi *fuzzy* menggunakan bantuan *software* MATLAB dengan Fuzzy Logic Toolbox. Sistem inferensi *fuzzy* pada penelitian ini menggunakan metode penalaran Takagi-Sugeno-Kang (Sugeno). Metode penalaran ini dinilai efektif dalam perhitungan karena hasil *output* dari sistem inferensi berupa persamaan matematika. Proses dalam sistem inferensi *fuzzy* ini meliputi *crisp input*, *fuzzification*, *rule evaluation*, *defuzzification*, dan *crisp output* <sup>[2],[3]</sup>.

#### A. Crisp Input

Sistem inferensi *fuzzy* menerima *crisp input* dari sensor sudut dan sensor posisi. *Crisp input* ini kemudian melalui proses *fuzzification* dengan *membership function* dari masing-masing *input*, sehingga nilai *crisp input* berubah menjadi suatu derajat keanggotaan dengan nilai antara 1 atau 0. Penggunaan parameter sudut dan posisi sebagai nilai *crisp input* didasarkan atas tujuan dari pengontrolan sistem *crane*, yaitu mencapai posisi yang diinginkan dengan ayunan

seminimal mungkin pada *container*.

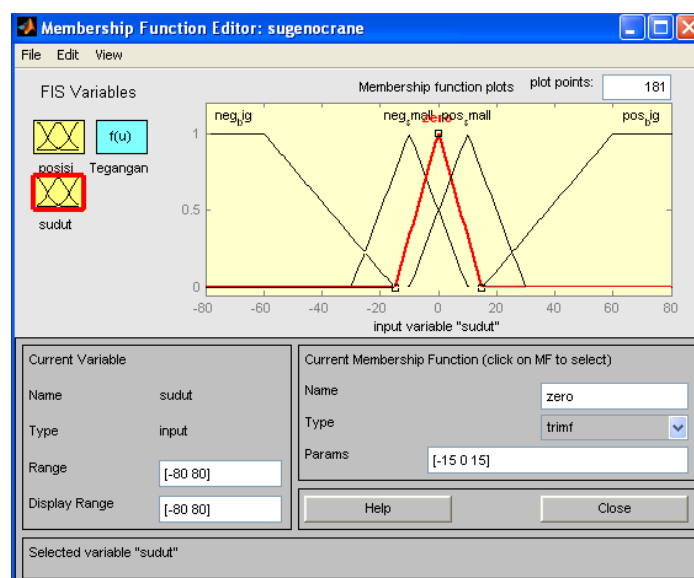
## B. Fuzzification

Pada proses ini, *crisp input* yang telah diterima diubah menjadi himpunan *fuzzy* dengan cara dipetakan pada suatu *membership function* untuk tiap-tiap *input*. Pemilihan bentuk-bentuk pada tiap parameter dari *membership function* ditentukan berdasarkan intuisi dan pengalaman operator dalam mengontrol *crane*.

### B.1. Input Sudut

*Membership function* sensor sudut disusun oleh fungsi segitiga dan trapesium. Pada *membership function* ini terdapat beberapa kriteria di dalamnya yaitu:

1. Neg\_big  
Fungsi dari *neg\_big* dibentuk oleh fungsi trapesium. Kriteria *neg\_big* atau *negative big*, berarti sudut yang terbentuk tertinggal dari laju *container* dengan nilai sudut yang besar.
2. Neg\_small  
Fungsi dari *neg\_small* dibentuk oleh fungsi segitiga. Kriteria *neg\_small* artinya sama dengan kriteria *neg\_big*, hanya sudut yang terbentuk bernilai kecil.
3. Zero  
Fungsi dari *zero* terbentuk oleh fungsi segitiga. Apabila termasuk dalam kriteria ini maka dapat diasumsikan sudut ayunan tidak terjadi.
4. Pos\_small  
Fungsi segitiga adalah fungsi pembentuk dari fungsi *pos\_small*. Kriteria *pos\_small* berarti *positive small*, yang berarti sudut yang terbentuk mendahului *container* dengan nilai sudut yang kecil.
5. Pos\_big  
Fungsi penyusun *pos\_big* adalah trapesium. Kriteria *pos\_big* artinya sama dengan kriteria *pos\_small*, hanya saja nilai sudut yang dihasilkan lebih besar.



Gambar 2. Pengaturan *membership function* input sudut pada MATLAB

Pengaturan *membership function* dari *input* sensor sudut pada *Fuzzy Logic Toolbox* dapat dilihat pada Gambar 2. Pengaturan dari *membership function* pada *Fuzzy Logic Toolbox* dilakukan dengan menggeser nilai yang diinginkan pada grafik setelah sebelumnya mendefinisikan jumlah anggota dalam satu *membership function*.

Nilai sudut yang diterima oleh sensor akan diproses menjadi nilai *Degree of Membership* (DOM). Nilai DOM tersebut akan diproses selanjutnya pada tahap *rule evaluation*.

### B.2. Input Posisi

*Membership function* sensor posisi juga disusun oleh fungsi trapesium dan segitiga. Kriteria yang terdapat pada *membership function* ini adalah:

1. Zero

Kriteria ini disusun oleh fungsi segitiga. Kriteria zero berarti *container* telah mencapai posisi yang dituju.

2. Close

Fungsi segitiga adalah fungsi yang menyusun kriteria ini. Kriteria close berarti posisi *container* sedang dekat dengan titik yang dituju.

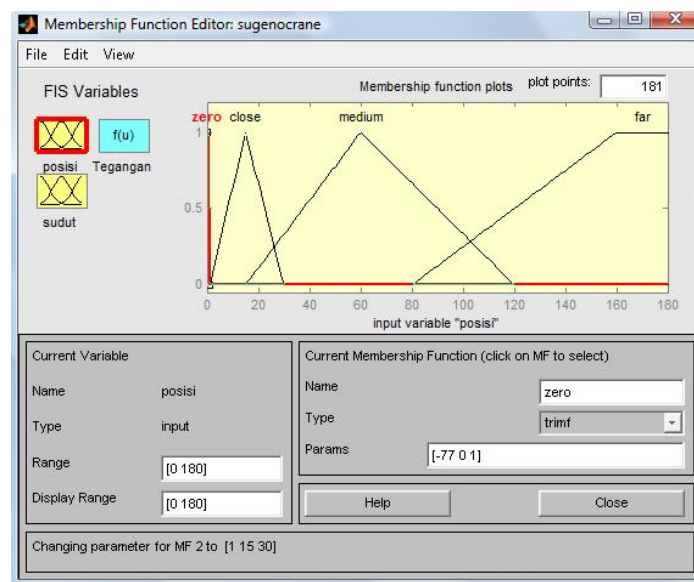
3. Medium

Kriteria medium dibentuk oleh fungsi segitiga. Kriteria ini memiliki arti bahwa posisi *container* berada pada posisi yang lumayan dekat dengan titik yang dituju.

4. Far

Kriteria far dibentuk oleh fungsi trapesium. Kriteria ini berarti posisi *container* berada jauh dari titik tujuan.

Pengaturan *membership function* sensor posisi terdapat pada Gambar 3.



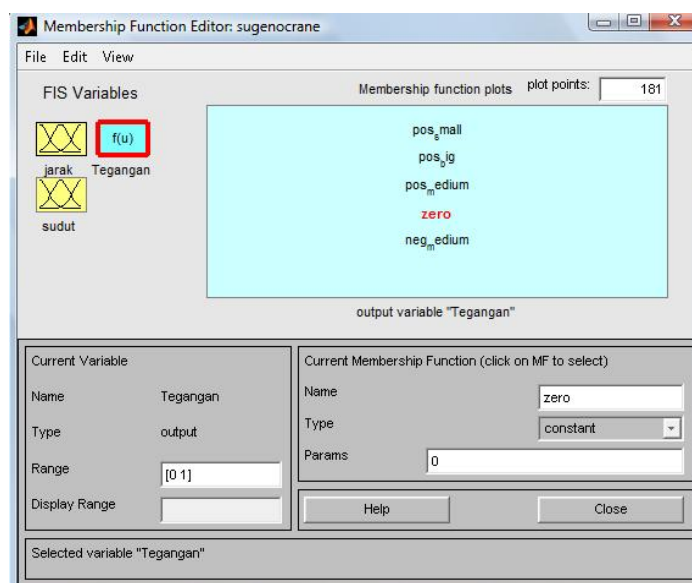
Gambar 3. Pengaturan *membership function* input posisi pada MATLAB

### B.3. Output Tegangan

*Membership function* juga dibuat pada bagian *output*. Gambar 4 menunjukkan *membership function* pada *output*. Pada metode Sugeno, *membership function* dari *output* Tegangan tersusun atas persamaan garis. Karena Metode Sugeno yang dipilih memiliki orde 0,

maka bentuk dari *membership function* adalah suatu nilai konstan, yang memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Neg\_medium  
Kriteria neg\_medium berarti *negative medium*, maksudnya adalah motor akan berputar searah dengan jarum jam (berlawanan dengan arah tujuan) dengan tegangan yang sedang.
2. Zero  
Kriteria zero berarti motor berhenti berputar.
3. Pos\_low  
Kriteria pos\_low berarti *positive low*, yang berarti bahwa motor akan berputar berlawanan arah dengan jarum jam (searah dengan arah tujuan) dengan tegangan yang rendah.
4. Pos\_medium  
Kriteria pos\_medium artinya adalah *positive medium*, yang berarti bahwa motor akan berputar berlawanan arah dengan jarum jam (searah dengan arah tujuan) dengan tegangan yang sedang.
5. Pos\_high  
Kriteria pos\_high berarti *positive high*, yang artinya motor akan berputar berlawanan arah dengan jarum jam (searah dengan arah tujuan) dengan tegangan yang tinggi.



Gambar 4. Membership function output tegangan.

### C. Rule Evaluation

Jumlah maksimal *rules* yang ada adalah jumlah dari *membership function* dari input sudut dikalikan dengan jumlah *membership function* dari sensor posisi, yaitu  $5 \times 4 = 20$ . Akan tetapi, tidak semua dari 20 *rules* tersebut mungkin terjadi dalam proses pengontrolan *crane*, sehingga jumlah *rules* dapat dikurangi dengan tujuan menyederhanakan perhitungan pada proses *rule evaluation*.

Tahap *rule evaluation* merupakan penentu dari kecerdasan suatu sistem berbasis *fuzzy*. Sistem *crane* pada Tugas Akhir ini memiliki 10 *rules*, yaitu:

1. IF posisi = far AND sudut = zero THEN Tegangan = pos\_medium
2. IF posisi = far AND sudut = neg\_small THEN Tegangan = pos\_high
3. IF posisi = far AND sudut = neg\_big THEN Tegangan = pos\_high
4. IF posisi = medium AND sudut = neg\_small THEN Tegangan = pos\_medium
5. IF posisi = medium AND sudut = neg\_big THEN Tegangan = pos\_low
6. IF posisi = medium AND sudut = pos\_small THEN Tegangan = pos\_medium
7. IF posisi = close AND sudut = zero THEN Tegangan = pos\_low
8. IF posisi = close AND sudut = neg\_small THEN Tegangan = neg\_medium
9. IF posisi = close AND sudut = pos\_small THEN Tegangan = pos\_low
10. IF posisi = zero AND sudut = zero THEN Tegangan = zero

Pemilihan 10 *rules* tersebut didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Posisi *far* dengan sudut *pos\_small* dan *pos\_big* tidak mungkin terjadi karena posisi *far* adalah bagian awal dari pergerakan *crane* yang diprogram agar *crane* bergerak dengan kecepatan penuh, sehingga sudut yang terjadi tidak mungkin bernilai positif (*pos\_small* dan *pos\_big*).
2. Posisi *medium* dengan sudut *zero* tidak mungkin terjadi karena ketika mencapai posisi *medium*, *crane* baru saja keluar dari keadaan bergerak dengan kecepatan penuh sehingga pasti terjadi ayunan. Pada posisi *medium* dengan sudut *pos\_big* juga tidak mungkin terjadi karena *crane* tidak diprogram untuk berhenti mendadak yang dapat mengakibatkan ayunan sudut bernilai positif dan besar.
3. Posisi *close* dengan sudut *neg\_big* dan *pos\_big* tidak mungkin terjadi karena saat berada pada posisi *close*, *crane* diprogram untuk bergerak dengan kecepatan lambat atau sedang, sehingga tidak mungkin terjadi simpangan sudut yang besar.
4. Posisi *zero* dengan sudut *neg\_big*, *neg\_small*, *pos\_big* dan *pos\_small* tidak dicantumkan agar ketika *crane* berada pada posisi *zero*, *crane* tidak bergerak lagi karena sudah mencapai posisi tujuan. Sebenarnya hasilnya akan sama apabila pada bagian *consequent* dari kondisi-kondisi tersebut dicantumkan *outputnya zero*, tetapi demi penyederhanaan perhitungan maka pada bagian tersebut dikosongkan.
5. Kriteria *pos\_big* walaupun tidak digunakan dalam perancangan kali ini tetap dimasukkan agar sistem inferensi *fuzzy* mudah dimodifikasi apabila sistem *crane* digunakan dalam suatu keadaan ekstrim misalnya keadaan tertiuap angin yang kencang.

Pembuatan *Rule Blocks* pada *Fuzzy Logic Toolbox* dibuat dengan membuka jendela *Rule Editor*. Pada pengontrol mikro, nilai-nilai dari setiap derajat keanggotaan yang diperoleh pada proses sebelumnya dievaluasi sesuai *rules* yang ada sehingga didapat sejumlah bilangan yang akan masuk ke proses *defuzzification*.

#### D. Defuzzification

*Input* dari proses *defuzzification* adalah nilai-nilai yang didapat setelah semua *rules* dievaluasi. Pada metode Sugeno, nilai-nilai tersebut menggunakan metoda *Mean of Maximum* untuk mendapatkan nilai *output*.

Pada metoda *Mean of Maximum* (MOM), solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata *domain fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Komposisi aturan MOM jika menggunakan metoda Sugeno, maka proses *defuzzification* dilakukan dengan cara







Gambar 5. Pada rangkaian pengontrol ini digunakan sumber *clock* kristal (Q1) dengan frekuensi 11,0592 MHz. Atmel menganjurkan digunakan kapasitor dengan nilai antara 20 pF – 22 pF pada kaki-kaki kristal (C1 dan C2)<sup>[5]</sup>.

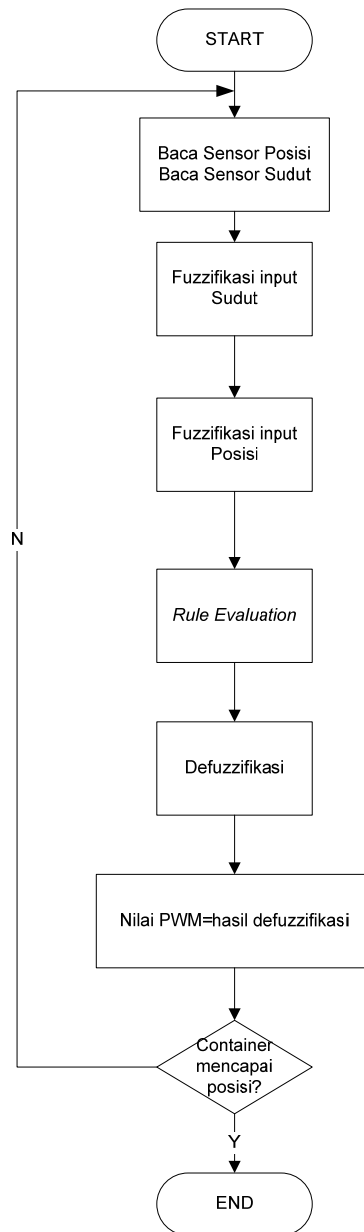
Rangkaian I/O dari pengontrol mikro mempunyai kontrol *directional* yang tiap bit dapat dikonfigurasi secara individu, maka dalam pengkonfigurasi I/O yang digunakan ada yang berupa operasi *port* ada pula yang dikonfigurasi tiap bit I/O. Berikut ini akan diberikan konfigurasi dari I/O pengontrol mikro tiap bit yang ada pada masing-masing *port* yang terdapat pada pengontrol mikro. Konfigurasi I/O pengontrol mikro:

1. Pin A0 digunakan untuk membaca nilai ADC pada sensor sudut yang telah melewati penguat tegangan op-amp.
2. Pin B0, B1, B2, dan B3 digunakan untuk mengatur arah putaran motor yang menggerakkan *crane* ke kiri dan kanan.
3. Port C digunakan untuk LCD *display*.
4. Pin D0 dan D1 digunakan sebagai *receiver* dan *transmitter* dalam komunikasi serial yang dipakai pada pengambilan data.
5. Pin D2 digunakan untuk membaca sensor Ultrasonik PING.
6. Pin D4 dan D5 digunakan untuk mengirim sinyal PWM yang mengontrol kecepatan motor yang menggerakkan *crane* ke kiri dan kanan.
7. Pin D6 digunakan untuk mengontrol rangkaian relay yang menggerakkan motor ke atas dan bawah.

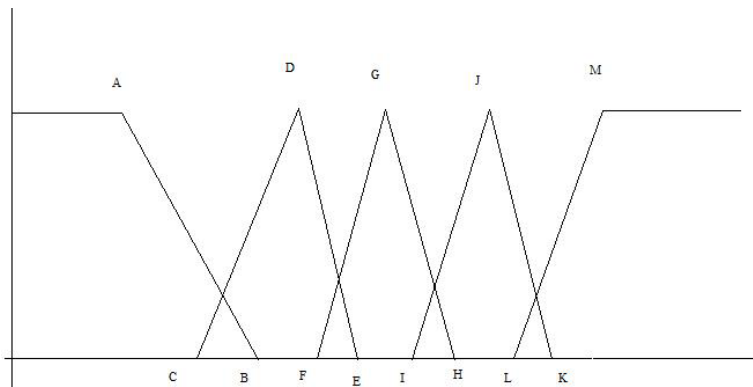
#### A. Perancangan Sistem Inferensi Fuzzy pada Pengontrol Mikro

Perancangan sistem inferensi *fuzzy* pada pengontrol mikro didasarkan dari hasil perancangan sistem inferensi *fuzzy* pada MATLAB *Fuzzy Logic Toolbox*. Pengontrol mikro pertama-tama membaca hasil dari sensor sudut dan sensor posisi. Nilai hasil pembacaan tersebut kemudian masuk ke proses *fuzzification* agar nilainya berubah menjadi kumpulan nilai-nilai *Degree of Membership* (DOM). Nilai-nilai DOM tersebut akan dievaluasi pada bagian *rule evaluation*, sedangkan pada *rule evaluation* sendiri terdapat proses implikasi dari setiap *rule* yaitu menggunakan implikasi AND sehingga didapat hasil terkecil dari nilai-nilai DOM yang ada dalam satu *rule*. Setelah didapat nilai-nilai dari proses *rule evaluation*, kemudian masuk ke proses *defuzzification*. Pada proses ini, nilai-nilai yang didapat setelah proses *rule evaluation* akan dimasukkan pada rumus *output* Sugeno orde 0 yang telah disebutkan sebelumnya. Nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai PWM yang mengontrol gerakan motor DC. Diagram alir dari sistem inferensi *fuzzy* pada pengontrol mikro ditunjukkan pada Gambar 6.

Proses *fuzzification* dari *input* sudut dibuat berdasarkan Gambar 7. Variabel A sampai M adalah nilai-nilai yang akan diatur dalam proses perancangan sistem inferensi *fuzzy*. Nilai variabel A sampai M berupa sudut, sedangkan sumbu y menunjukkan sumbu derajat keanggotaan.

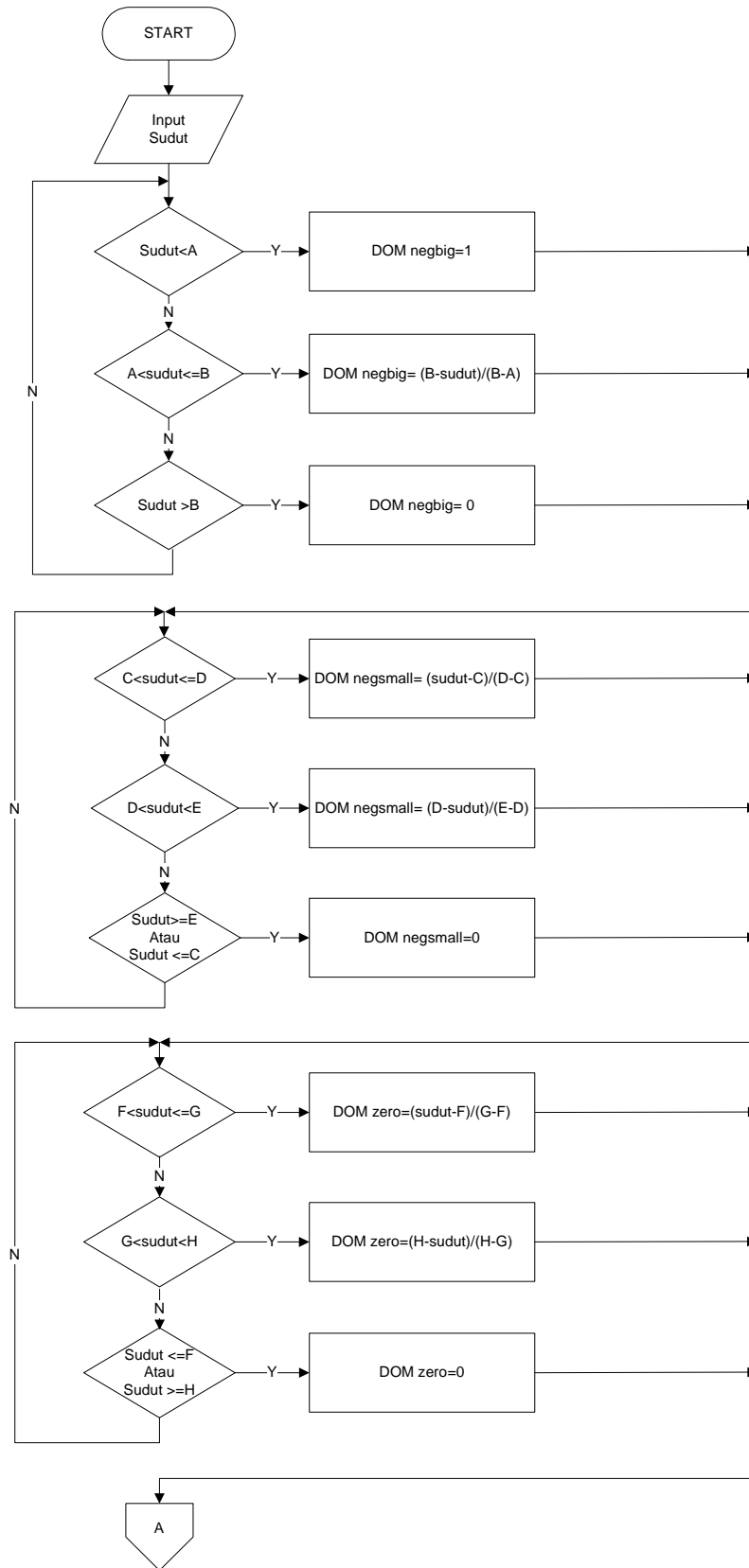


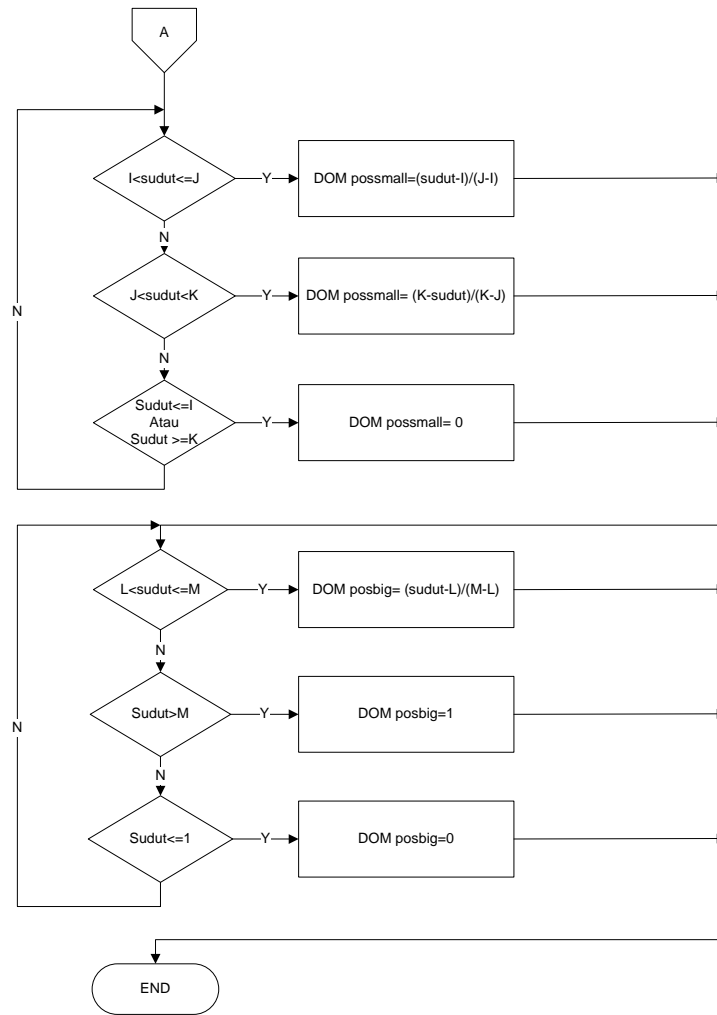
Gambar 6. Diagram alir sistem inferensi *fuzzy* pada pengontrol mikro



Gambar 7. Membership function input sudut

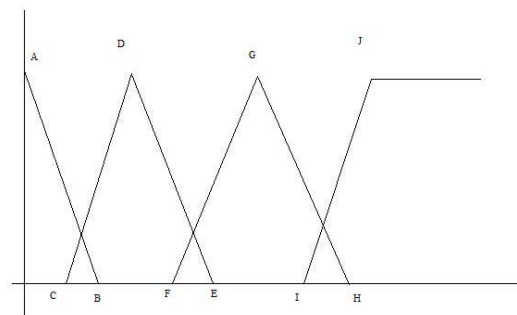
Diagram alir proses *fuzzification input* sudut dapat dilihat pada Gambar 8.





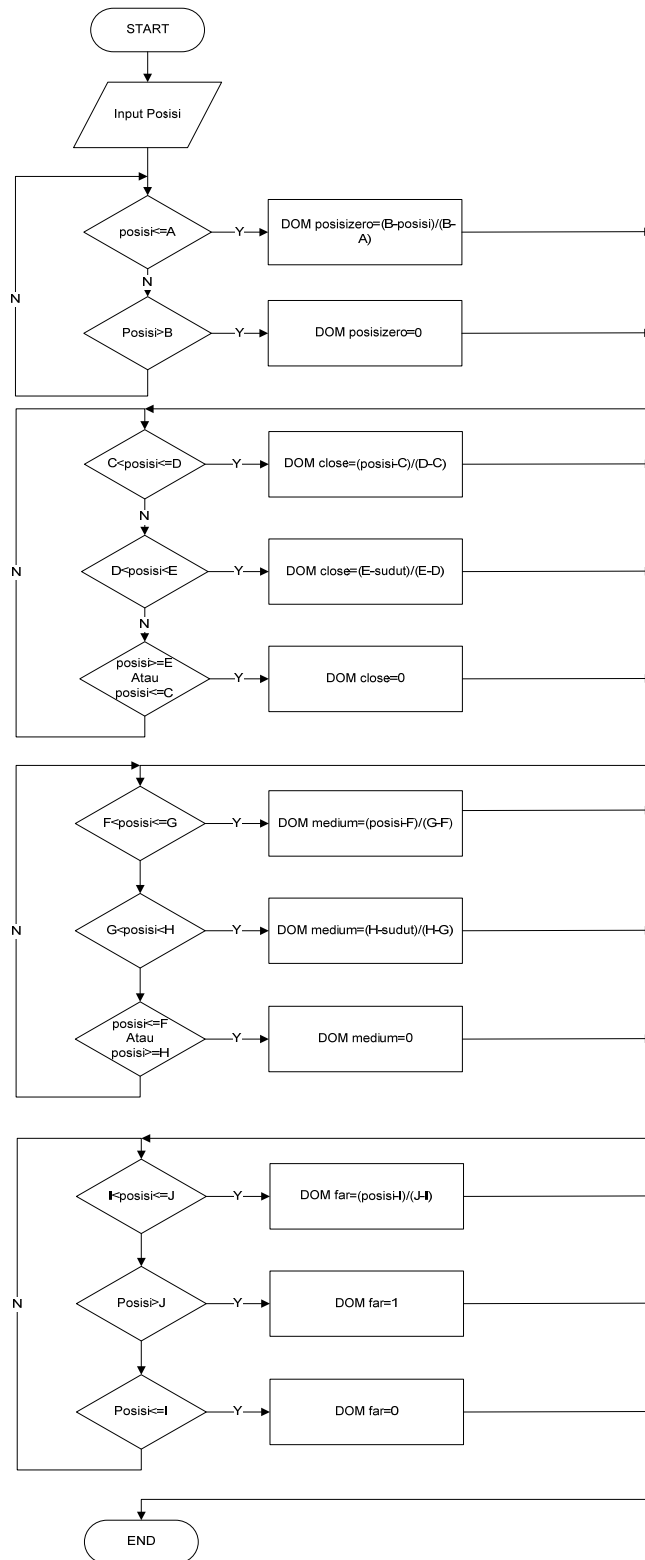
Gambar 8. Diagram alir proses *fuzzification input* sudut

Diagram alir proses *fuzzification input* sudut menunjukkan data *input* sudut masuk ke pengontrol mikro, lalu nilai *input* tersebut dievaluasi apakah lebih kecil dari nilai variabel A. Jika benar, maka nilai DOM neg\_big adalah 1. Apabila nilai sudut antara A dan B, maka DOM dari neg\_big adalah  $(B - \text{sudut}) / (B - A)$ . Apabila nilai sudut lebih besar dari B, maka nilai DOM neg\_big adalah 0. Setelah nilai DOM neg\_big didapat, maka dilanjutkan untuk mendapatkan nilai-nilai dari setiap DOM yang ada. Proses *fuzzification input* posisi diperoleh berdasarkan Gambar 9. Variabel A sampai J adalah nilai-nilai yang nantinya akan diatur dalam proses perancangan sistem inferensi *fuzzy*.



Gambar 9. *Membership function input* posisi

Proses *fuzzification* pada *input* posisi mirip dengan pada *input* sudut, yaitu nilai yang diterima pengontrol mikro dievaluasi satu persatu sehingga didapat nilai DOM untuk masing-masing kriteria. Diagram alir proses *fuzzification input* posisi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir proses *fuzzification input* posisi

Nilai-nilai batas *membership function* pada setiap *input* perlu diatur untuk mendapat hasil yang diinginkan. Pengaturan dilakukan pada *membership function input* posisi, lalu *input* sudut dan *output* dibarengi dengan pengamatan kinerja sistem dan pengaruh nilai *membership function*, dengan variasi beban dan perpindahan. Faktor yang mempengaruhi kinerja sistem antara lain simpangan maksimal sudut ayunan dan waktu untuk mencapai posisi 0 cm.

Hasil akhir setelah proses pengatur diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

1. *Membership function* pada *input* posisi:
2. Zero: Memiliki nilai puncak 0 cm dan nilai minimum 1 cm dan negatif tak berhingga.
3. Close: Memiliki nilai puncak 15 cm dan nilai minimum 1 cm dan 30 cm.
4. Medium: Memiliki nilai puncak 60 cm dan nilai minimum 15 cm dan 120 cm.
5. Far: Memiliki nilai minimum 80 cm dan nilai puncak 160 cm. Nilai di atas 160 cm berarti nilai DOM pada kriteria far adalah 1.

Berikut nilai *membership function* pada *input* sudut:

1. Neg\_big: Memiliki nilai maksimum  $-30^\circ$  dan nilai minimum  $-15^\circ$ . Nilai lebih kecil dari  $-30^\circ$  berarti nilai DOM pada kriteria neg\_big adalah 1.
2. Neg\_small: Memiliki nilai maksimum  $-10^\circ$  dan nilai minimum  $-30^\circ$  dan  $10^\circ$ .
3. Zero: Memiliki nilai maksimum  $0^\circ$  dan nilai minimum  $-15^\circ$  dan  $15^\circ$ .
4. Pos\_small: Memiliki nilai maksimum  $10^\circ$  dan nilai minimum  $-10^\circ$  dan  $30^\circ$ .
5. Pos\_big: Memiliki nilai maksimum  $30^\circ$  dan nilai minimum  $15^\circ$ . Nilai lebih besar dari  $60^\circ$  berarti nilai DOM pada kriteria pos\_big adalah 1.

Berikut nilai-nilai *membership function* pada *output*.

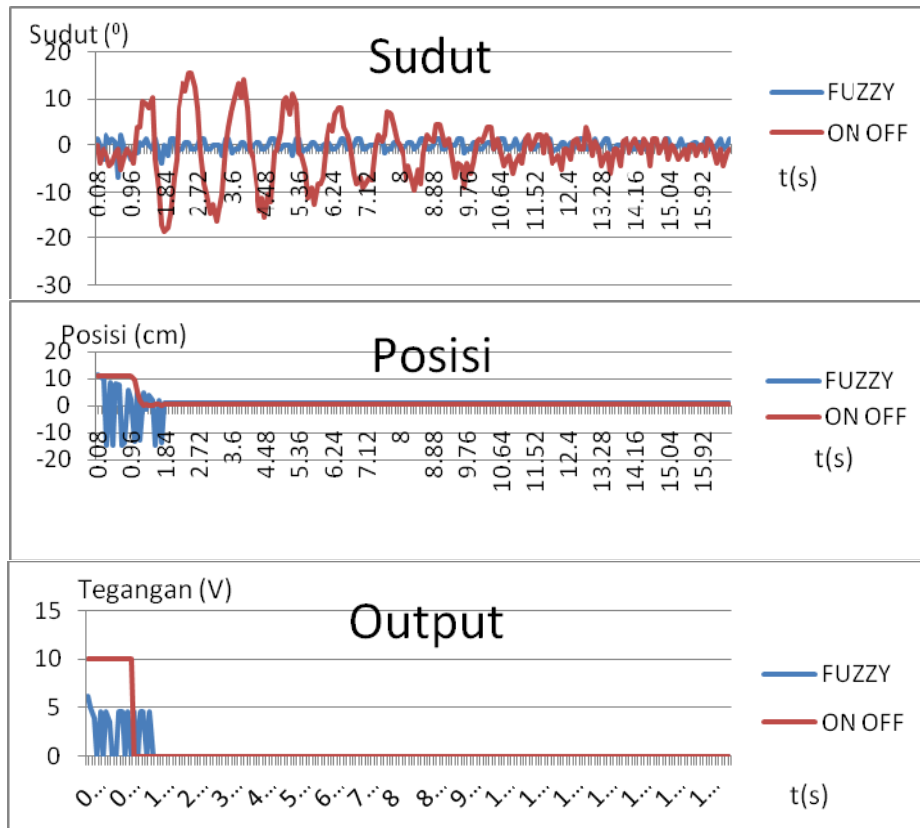
1. Neg\_medium: Memiliki nilai -10 volt.
2. Zero: Memiliki nilai 0 volt.
3. Pos\_low: Memiliki nilai 12 volt.
4. Pos\_medium: Memiliki nilai 15 volt.
5. Pos\_high: Memiliki nilai 21 volt.

### III. UJI COBA DAN ANALISIS

Sistem *crane* diuji dengan berbagai beban yaitu 300 gr, 500 gr, dan 1000 gr. Setiap pengujian dengan beban tersebut juga diuji dengan berbagai jarak yaitu 10 cm, 45 cm, 90 cm, 135 cm, dan 180 cm. Setiap pengujian dilakukan dua kali agar mendapat hasil yang lebih objektif. Pengujian sistem *crane* dengan menggunakan metode *on-off* dilakukan sebagai dasar dari perbandingan mengenai pengaruh dari pengontrolan dengan metode logika *fuzzy*. Metode pengontrolan yang digunakan adalah motor berputar dengan kecepatan sedang (tegangan 12 volt dari maksimum 24 volt) apabila *container crane* berjarak lebih dari 1 cm. Apabila mencapai posisi dekat dari 1 cm, maka motor akan berhenti.

#### III.1. Pengujian Beban 300 gr

Gambar 11 menampilkan respon untuk sudut *container*, posisi *container*, dan tegangan pengontrol dalam domain waktu, jika beban uji 300 gr dan berpindah 10 cm.



Gambar 11. Respon sistem crane dengan beban uji 300 gr dan berpindah 10 cm

Untuk pengujian dengan jarak perpindahan 45 cm, 90 cm, 135 cm, dan 180 cm selengkapny dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. RANGKUMAN UJI COBA BEBAN 300GR UNTUK BERBAGAI JARAK PERPINDAHAN

Beban 300 gr	Fuzzy			ON OFF		
	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)
10cm-percobaan 1	-6,7	1,7	1,7	-18,5	1,28	16,6
10cm-percobaan 2	-5,9	1,6	1,6	-20,6	0,88	19,8
45cm-percobaan 1	-7,4	4,4	4,4	11,7	1,52	12,2
45cm-percobaan 2	-7,5	4,7	4,7	-11,9	1,52	18,8
90cm-percobaan 1	-9,6	5,1	5,1	-18,5	2,4	19,8
90cm-percobaan 2	-12,6	5,1	5,1	-17,8	2,4	18,8
135cm-percobaan 1	13,2	5,5	5,5	-18,5	3,3	18,8
135cm-percobaan 2	-13,3	5,6	5,6	-16,3	3,1	25,2
180cm-percobaan 1	-10,4	7,2	7,2	-14,8	4,3	21,6
180cm-percobaan 2	10,3	7,1	7,3	-14,1	4,2	20,2

Pada pengujian dengan beban 300 gr, dapat dilihat bahwa sistem bekerja kurang baik pada jarak yang menengah, yaitu antara 90 cm sampai 135 cm. Hal ini dapat dilihat dari simpangan sudut ayunan maksimum yang terjadi pada jarak menengah tersebut paling besar, bahkan sempat mencapai nilai  $-13,3^\circ$ . Besarnya nilai simpangan sudut tersebut dikarenakan pada jarak yang menengah, sistem akan banyak mengalami perpindahan dari berbagai kondisi

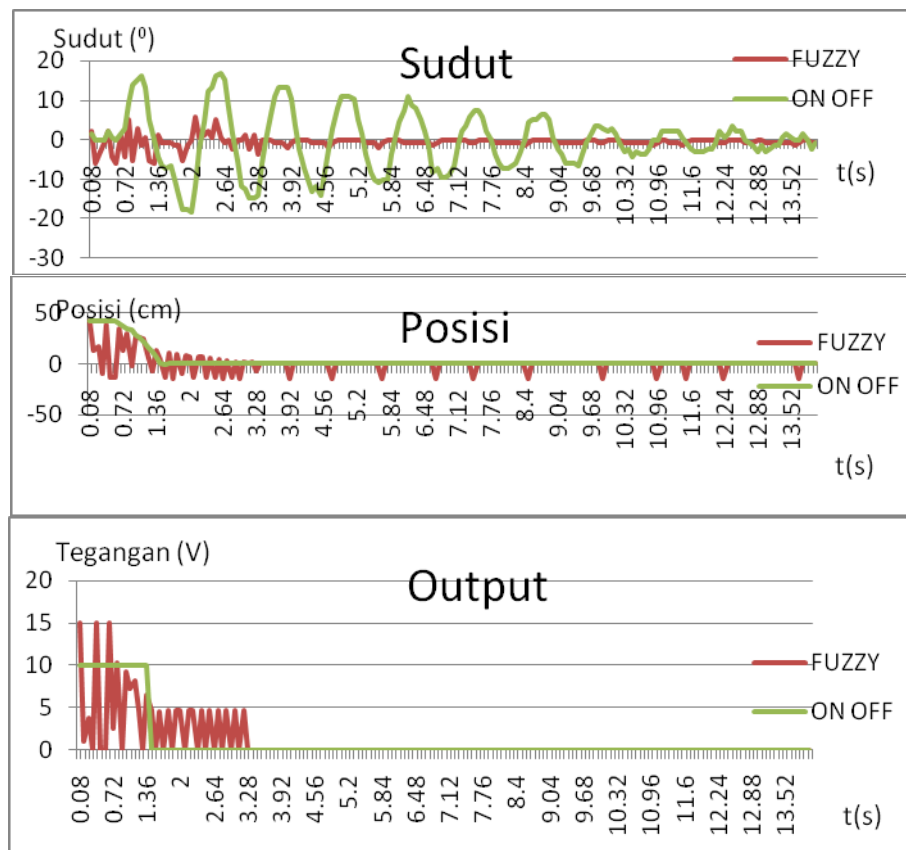


atau *rules* yang ada, sehingga kecepatan motor berubah-ubah dan kurang konstan. Hal ini berbeda dengan pengujian dengan jarak yang jauh (180 cm), ketika mencapai posisi menengah sistem cenderung menetap pada kondisi yaitu posisi medium dan sudut *neg\_small* sehingga kecepatan motor lebih konstan.

Faktor beban juga mempengaruhi respon sistem. Pada beban dengan massa yang kecil seperti 300 gr, momen inersia yang dimiliki juga kecil sehingga beban cenderung berayun bila dibandingkan dengan beban dengan massa yang lebih besar. Walaupun begitu, sistem dengan pengontrol *fuzzy* tetap bekerja lebih baik dibandingkan dengan metode pengontrolan *on-off* biasa dalam hal simpangan sudut ayunan.

### III.2. Pengujian Beban 500 gr

Gambar 12 menampilkan respon untuk sudut *container*, posisi *container*, dan tegangan pengontrol dalam domain waktu, jika beban uji 500 gr dan berpindah 45 cm.



Gambar 12. Respon sistem *crane* dengan beban uji 500gr dan berpindah 45cm

Untuk pengujian dengan jarak perpindahan 45 cm, 90 cm, 135 cm, dan 180 cm selengkapnyanya dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. RANGKUMAN UJI COBA BEBAN 500GR UNTUK BERBAGAI JARAK PERPINDAHAN

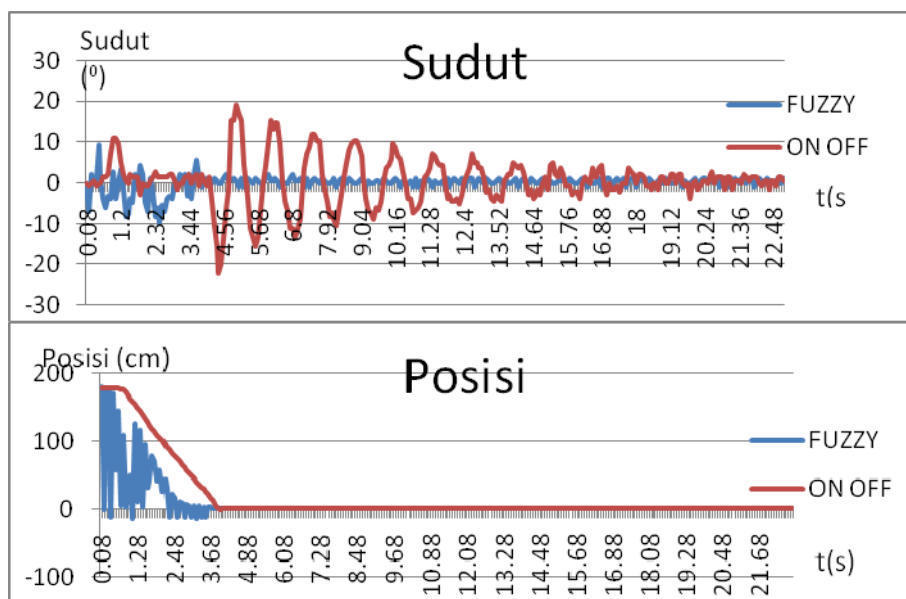
Beban 500gr	Fuzzy			ON OFF		
	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)
10cm-percobaan 1	-6,1	1,6	1,6	-26,72	0,72	18,8
10cm-percobaan 2	-7,4	1,5	1,5	-20,6	0,72	15,1
45cm-percobaan 1	-11,9	3,5	3,5	16,9	1,4	12,8
45cm-percobaan 2	-7,4	3,3	3,3	-17,8	1,8	16,4
90cm-percobaan 1	-12,4	4,9	4,9	-20	2,9	15,4
90cm-percobaan 2	-12,3	4,6	4,6	-19,3	2,3	15,9
135cm-percobaan 1	9,5	3,6	3,6	-11,9	3,3	14,9
135cm-percobaan 2	-14,1	4,7	4,7	-14,1	3,2	14,2
180cm-percobaan 1	-13	5,2	5,2	-19,3	3,44	14
180cm-percobaan 2	-12	6,1	6,1	-22,2	3,6	18,3

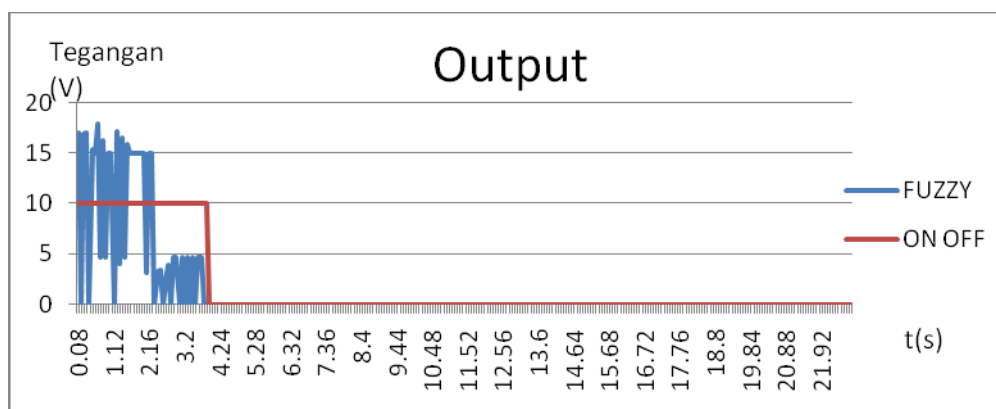
Sama seperti pengujian pada beban 300 gr, pada beban 500 gr sistem juga bekerja kurang baik apabila diuji pada jarak menengah dengan alasan yang sama. Beban 500 gr juga tidak memiliki perbedaan momen inersia yang signifikan dengan momen inersia pada beban 300 gr, hal ini terlihat dari simpangan sudut maksimum sempat mencapai  $-14,1^\circ$  pada jarak menengah, tidak berbeda jauh dengan ketika pengujian dengan beban 300 gr.

Walaupun begitu pada pengujian lainnya, sistem dapat bekerja cukup baik karena simpangan maksimum yang terjadi hanya sekitar  $5^\circ$ , dan pada saat mencapai posisi 0 sistem sudah mencapai keadaan ayunan seminimal mungkin. Keseluruhan pengujian juga membuktikan bahwa sistem masih bekerja lebih baik bila dibandingkan dengan metode pengontrolan *on-off* biasa.

### III.3. Pengujian Beban 1000 gr

Gambar 13 menampilkan respon untuk sudut *container*, posisi *container*, dan tegangan pengontrol dalam domain waktu, jika beban uji 1000 gr dan berpindah 180 cm.





Gambar 13. Respon sistem *crane* dengan beban uji 1000 gr dan berpindah 180 cm

Untuk pengujian dengan jarak perpindahan 45 cm, 90 cm, 135 cm, dan 180 cm selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3. RANGKUMAN UJI COBA BEBAN 1000GR UNTUK BERBAGAI JARAK PERPINDAHAN

Beban 1000 gr	Fuzzy			ON OFF		
	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)	Simpangan Maksimum (derajat)	Mencapai Posisi 0 (s)	Settling time ayunan (s)
10cm-percobaan 1	6,5	2,3	2,3	-20,8	0,7	15,4
10cm-percobaan 2	-6,8	2	2	-22,8	0,7	15,4
45cm-percobaan 1	-8,2	3,4	3,4	-21,5	1,8	17,3
45cm-percobaan 2	5,8	4	4	-15,62	1,4	16,8
90cm-percobaan 1	-11,1	4,7	4,7	-16,3	2,6	18,5
90cm-percobaan 2	-10,4	4,5	4,5	18,5	2,5	21,2
135cm-percobaan 1	-9,7	4,8	4,8	-22,2	3,4	26
135cm-percobaan 2	-10,4	3,2	3,2	-16,3	3,3	18,3
180cm-percobaan 1	-10,4	4,4	4,4	-19,3	4	19,2
180cm-percobaan 2	-9,7	3,7	3,7	-22,2	3,9	18,5

Pada pengujian dengan beban 1000 gr, sistem juga mengalami masalah yang sama dengan pengujian dengan beban 300 gr dan 500 gr. Tetapi momen inersia yang dimiliki oleh beban 1000 gr mengurangi simpangan sudut maksimum menjadi  $11,1^\circ$  saja. Sistem bekerja dengan baik saat diuji dengan jarak yang kecil. Dengan kondisi yang demikian, tetap dapat diambil kesimpulan bahwa sistem dapat bekerja lebih baik bila dibandingkan dengan pengontrol *on-off* biasa.

Dapat dilihat dari seluruh pengujian dengan berbagai macam beban dan jarak bahwa kinerja sistem *crane* dengan pengontrol *fuzzy* lebih bagus daripada metode *on-off* biasa. Hal ini dapat dilihat dari waktu *settling time* pada ayunan sudut yang lebih singkat, serta simpangan maksimal ayunan sudut yang lebih kecil. Pada semua pengujian, terlihat bahwa pada sistem *crane* dengan pengontrol *fuzzy* memiliki sudut ayunan ketika mulai bergerak, tetapi ketika mencapai posisi yang diinginkan (posisi 0cm), ayunan sudah tidak terjadi lagi. Hal ini berlawanan dengan sistem *crane* metode *on-off* yang terdapat ayunan pada beban tetap terjadi ketika beban mulai bergerak, dan malah makin besar nilainya ketika mencapai posisi yang diinginkan.

Pengujian beban pada sistem *crane* dengan pengontrol *fuzzy* menunjukkan bahwa

semakin berat beban, respon yang dihasilkan juga semakin bagus bila dilihat dari besarnya ayunan sudut yang terjadi. Hal ini dikarenakan pada beban yang memiliki massa yang besar, momen inersia yang dimiliki juga besar sehingga sistem cenderung tidak berayun apabila bergerak. Namun pada sistem yang tidak dikontrol dengan pengontrol *fuzzy* (metode *on-off*), sistem *crane* masih memiliki sudut ayunan yang besar sehingga peranan pengontrol *fuzzy* tetap diperlukan apabila ayunan sudut yang besar tidak diinginkan.

#### IV. KESIMPULAN

Dengan memperhatikan data dan analisis pada Bab III, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem inferensi *fuzzy* yang diimplementasikan pada pengontrol mikro dapat bekerja dengan baik sesuai desain yang dirancang pada MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. Pengujian perbandingan output rata-rata kesalahan adalah sebesar 1,38 volt. Sistem *crane* yang dikontrol dengan pengontrol *fuzzy* juga berhasil memindahkan barang dengan ayunan seminimal mungkin.
2. Pengaturan *membership function* memiliki dampak yang signifikan bagi sistem *crane*. Pada bagian perancangan, *membership function* untuk *input* sudut dipersempit nilainya sehingga sudut ayunan yang terbentuk semakin mengecil. Namun apabila nilai batas *membership function* tersebut dipersempit lagi, maka akan sistem akan terlalu sering berpindah kondisi sehingga ayunan sudut malah semakin besar.
3. Model sistem *crane* bekerja paling baik pada jarak yang kecil, yaitu 10 cm dan 45 cm. Hal ini terlihat dari simpangan sudut maksimum yang terbentuk adalah maksimal  $8,2^\circ$ . *Settling time* yang ada bernilai 1,5 sampai 2,3 detik untuk jarak 10 cm, 3,4 sampai 4,7 detik untuk jarak 45 cm, 4,5 sampai 5,1 detik untuk jarak 90 cm, dan 3,2 sampai 5,6 detik untuk jarak 135 cm pada semua jenis beban. Pada jarak 180 cm, untuk beban 300 gr dan 500 gr *settling time* bernilai 5,2 sampai 7,2 detik, sedangkan untuk beban 1000 gr hanya 3,7 sampai 4 detik. Hal ini terjadi akibat momen inersia pada beban 1000 gr yang cukup besar sehingga sistem tidak berpindah kondisi yang menyebabkan beban lebih cepat sampai ke posisi yang diinginkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_, Innovative Technology Summary Report, *Swing-Reduced Crane Control*, Department of Energy, United States of America, 1999
- [2] S. Kusumadewi, *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2002.
- [3] <http://www.mathworks.com/products/fuzzylogic/description1.html> (23 Mei 2010)
- [4] [http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php?view=article&catid=16:mikroprocessorkontroller&id=305:motor-dc&option=com\\_content&Itemid=15](http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php?view=article&catid=16:mikroprocessorkontroller&id=305:motor-dc&option=com_content&Itemid=15)
- [5] H. Andrianto, 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA16 Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)*, Bandung: Informatika, 2008.