

SIMULATION KENDALI SUDUT GERAKAN SATELIT MENGGUNAKAN FUZZY CONTROL SYSTEM

Agus Basukesti

Jurusan Teknik Elektro STT Adisutjipto Yogyakarta
Jl. Janti Blok-R Lanud-Adisutjipto
e-mail:agus_basukesti@yahoo.com

ABSTRACT

Fuzzy logic has a degree of membership in the range of 0 (zero) to 1 (one), in contrast to the digital logic that has only two values , namely 1 (one) or 0 (zero). Fuzzy logic is used to translate a quantity that is expressed using the language (linguistic), for example the amount of speed the vehicle speed is expressed with a slow, rather quickly, fast and very fast. In general, the fuzzy logic system there are four basic elements: base rules, decision-making, the process of fuzzification , and defuzzification. Fuzzy control system is a control structure that consists of a fuzzy system which has two inputs proportional and derivative. With the proportional gain G_p is, G_d is the derivative gain and G_o is strengthening output. This paper will describe the advantages of fuzzy control system, the simulation of the graph shows that the response of the fuzzy system is very close (0.5 rad) is in the emphatic system distorted (0.6 rad). This excess of fuzzy control with conventional control systems, so is widely used to improve existing methods .

Keywords: *fuzzification, defuzzification, the fuzzy logic system, base rules*

PENDAHULUAN

Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0(nol) hingga 1(satu), berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai yaitu 1(satu) atau 0(nol). Logika *fuzzy* digunakan untuk menerjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Secara umum dalam sistem logika *fuzzy* terdapat empat buah elemen dasar, yaitu:

1. Basis kaidah (*rule base*), yang berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar;
2. Suatu mekanisme pengambilan keputusan (*inference engine*), yang memperagakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*);

3. Proses fuzzifikasi (*fuzzification*), yang mengubah besaran tegas (*crisp*) ke besaran *fuzzy*;
4. Proses defuzzifikasi (*defuzzification*), yang mengubah besaran *fuzzy* hasil dari *inference engine*, menjadi besaran tegas (*crisp*).

Fuzzy Membership

Fuzzy Membership, jika X adalah suatu kumpulan obyek-obyek dan x adalah elemen dari X . Maka himpunan *fuzzy* A yang memiliki domain X didefinisikan sebagai:

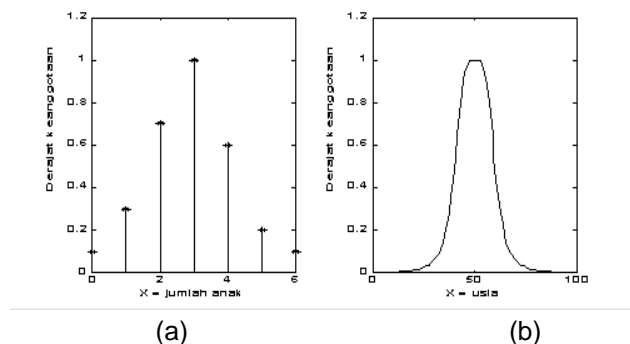
$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \} \quad (1)$$

dimana nilai $\mu_A(x)$ berada dalam rentang 0 hingga 1.

Terdapat dua cara yang lazim dalam merepresentasikan himpunan *fuzzy*, yang dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu :

1. $A = \sum_{x_i \in X} \mu_A(x_i) / x_i$, jika X adalah merupakan koleksi objek diskrit.

2. $A = \int_X \mu_A(x) / x$, jika X adalah merupakan koleksi objek kontinyu.



Gambar 1. Fungsi keanggotaan dengan semesta pembicaraan, (a).diskrit, b).kontinyu.

Fuzzy Membership Operation

Seperti pada himpunan klasik, himpunan fuzzy juga memiliki operasi himpunan yang sama yaitu gabungan (*union*), irisan (*intersection*) dan komplemen. Sebelumnya akan didefinisikan dulu mengenai himpunan bagian yang memiliki peranan penting dalam himpunan fuzzy.

1. Union (Gabungan)

Gabungan dari dua buah himpunan fuzzy A dan B adalah himpunan fuzzy C ditulis sebagai $C = A \cup B$ atau $C = A \text{ OR } B$, memiliki fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan A dan B yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ \mu_C(x) &= S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{\vee} \mu_B(x) \end{aligned} \tag{2}$$

dengan $\tilde{\vee}$ adalah operator biner untuk fungsi S dan biasa disebut sebagai operator *T-conorm* atau *S-norm*, yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- $S(1,1) = 1, S(0,a) = S(a,0) = a$ (*boundary*);
- $S(a,b) \leq S(c,d)$ jika $a \leq c$ dan $b \leq d$ (*monotonicity*);
- $S(a,b) = S(b,a)$ (*commutativity*);
- $S(a,S(b,c)) = S(S(a,b),c)$ (*associativity*).

2. Intersection (Irisan)

Irisan dari dua buah himpunan fuzzy A dan B adalah himpunan fuzzy C dituliskan

sebagai $C = A \cap B$ atau $C = A \text{ AND } B$, memiliki fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan A dan B yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &\vdots \\ \mu_C(x) &= T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \tilde{\wedge} \mu_B(x) \end{aligned} \tag{3}$$

dengan $\tilde{\wedge}$ adalah operator biner untuk fungsi T , yang biasa disebut sebagai operator *T-norm*, yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- $T(0,0) = 0, T(a,1) = T(1,a) = a$ (*boundary*);
- $T(a,b) \leq T(c,d)$ jika $a \leq c$ dan $b \leq d$ (*monotonicity*);
- $T(a,b) = T(b,a)$ (*commutativity*);
- $T(a,T(b,c)) = T(T(a,b),c)$ (*associativity*).

Fuzzy Set Membership Function

Fungsi-fungsi keanggotaan fuzzy terparameterisasi satu dimensi yang umum digunakan diantaranya adalah:

1. Fungsi keanggotaan segitiga, disifati oleh parameter $\{a,b,c\}$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{segitiga}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \tag{4}$$

bentuk yang lain dari persamaan di atas adalah

$$\text{segitiga}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \tag{5}$$

parameter $\{a,b,c\}$ (dengan $a < b < c$) yang menentukan koordinat x dari ketiga sudut segitiga tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2(a).

2. Fungsi keanggotaan trapesium, disifati oleh parameter $\{a,b,c,d\}$ yang didefinisikan sebagai berikut:

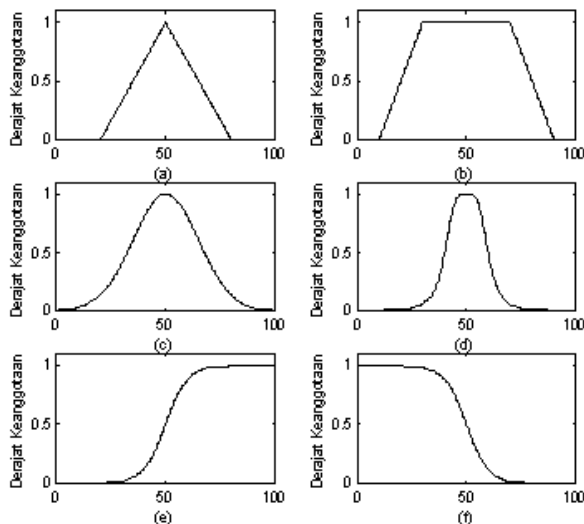
$$\text{trapesium}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (6)$$

parameter $\{a, b, c, d\}$ (dengan $a < b < c < d$) yang menentukan koordinat x dari keempat sudut trapesium tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2(b).

3. Fungsi keanggotaan Gaussian, disifati oleh parameter $\{c, s\}$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (7)$$

Fungsi keanggotaan Gauss ditentukan oleh parameter c dan s yang menunjukkan titik tengah dan lebar fungsi, seperti terlihat pada Gambar 2(c).



Gambar 2. Kurva fungsi keanggotaan, (a).segitiga($x; 20, 50, 80$), (b).trapesium ($x; 10, 30, 70, 90$), (c).gaussian($x; 50, 15$),

(d).bell($x; 10, 2, 50$), (e).sigmoid ($x; 0, 2, 50$) dan (f).sigmoid($x; -0, 2, 50$).

4. Fungsi keanggotaan *generalized bell*, disifati oleh parameter $\{a, b, c\}$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (8)$$

parameter b selalu positif, supaya kurva menghadap kebawah, seperti terlihat pada Gambar 2(d).

5. Fungsi keanggotaan sigmoid, disifati oleh parameter $\{a, c\}$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x-c)]} \quad (9)$$

parameter a digunakan untuk menentukan kemiringan kurva pada saat $x = c$. Polaritas dari a akan menentukan kurva itu kanan atau kiri terbuka, seperti terlihat pada Gambar 2.(d) dan 2.(e).

2.3 Fuzzy IF-Then Rule

Kaidah *fuzzy If-Then* (dikenal juga sebagai kaidah *fuzzy*, implikasi *fuzzy* atau pernyataan kondisi *fuzzy*) diasumsikan berbentuk:

Jika x adalah A maka y adalah B (10)

Dengan A dan B adalah nilai linguistik yang dinyatakan dengan himpunan *fuzzy* dalam semesta pembicaraan X dan Y . Sering kali “ x adalah A ” disebut sebagai *antecedent* atau *premise*, sedangkan “ y adalah B ” disebut *consequence* atau *conclusion*.

Kaidah *fuzzy if-then* “jika x adalah A maka y adalah B ” sering kali disingkat dalam bentuk $A \rightarrow B$ yang merupakan suatu bentuk relasi *fuzzy biner* R pada produk ruang $X \times Y$. Terdapat dua cara untuk menyatakan $A \rightarrow B$, yaitu sebagai *A coupled with B* dan *A entails B*. Jika dinyatakan sebagai *A coupled with B* maka didefinisikan sebagai berikut:

$$R = A \rightarrow B = A \times B = \int_{X \times Y} \mu_A(x) \tilde{*} \mu_B(y) / (x, y)$$

dengan $\tilde{*}$ adalah operator *T-norm*. Sedangkan jika dinyatakan sebagai *A entails B* maka didefinisikan sebagai berikut:

- *material implication*:

$$R = A \rightarrow B = \neg A \cup B; \tag{11}$$

- *propositional calculus*:

$$R = A \rightarrow B = \neg A \cup (A \cap B); \tag{12}$$

- *extended propositional calculus*:

$$R = A \rightarrow B = (\neg A \cap \neg B) \cup B; \tag{13}$$

- *generalization of modus ponens*:

$$\mu_R(x, y) = \sup \{c \mid \mu_A(x) \tilde{*} c \leq \mu_B(y) \text{ dan } 0 \leq c \leq 1\}; \tag{14}$$

dengan $R=A \rightarrow B$ dan $\tilde{*}$ adalah operator *T-norm*.

Fuzzy Reasoning

Kaidah dasar dalam menarik kesimpulan dari dua nilai logika tradisional adalah *modus ponens*, yaitu kesimpulan tentang nilai kebenaran pada *B* diambil berdasarkan kebenaran pada *A*. Sebagai contoh, jika *A* diidentifikasi dengan “tomat itu merah” dan *B* dengan “tomat itu masak”, kemudian jika benar kalau “tomat itu merah” maka “tomat itu masak”, juga benar. Konsep ini digambarkan sebagai berikut:

<i>premise</i> (kenyataan)	1	:	<i>x</i> adalah <i>A</i> ,
<i>premise</i> (kaidah)	2	:	jika <i>x</i> adalah <i>A</i> maka <i>y</i> adalah <i>B</i> .
<i>Consequence</i> (kesimpulan)		:	<i>y</i> adalah <i>B</i> .

Secara umum dalam melakukan penalaran, *modus ponens* digunakan dengan cara pendekatan. Sebagai contoh, jika ditemukan suatu kaidah implikasi yang sama dengan “jika tomat itu merah maka tomat itu masak”, misalnya “tomat itu kurang lebih merah,” maka dapat disimpulkan “tomat itu

kurang lebih masak”, hal ini dapat dituliskan seperti berikut:

<i>premise</i> (kenyataan)	1	:	<i>x</i> adalah <i>A'</i> ,
<i>premise</i> (kaidah)	2	:	jika <i>x</i> adalah <i>A</i> maka <i>y</i> adalah <i>B</i> .
<i>Consequence</i> (kesimpulan)		:	<i>y</i> adalah <i>B'</i> .

Dengan *A'* adalah dekat ke *A* dan *B'* adalah dekat ke *B*. Ketika *A*, *B*, *A'* dan *B'* adalah himpunan fuzzy dari semesta yang berhubungan, maka penarikan kesimpulan seperti tersebut dinamakan penalaran dengan pendekatan (*approximate reasoning*) yang disebut juga dengan *generalized modus ponens (GMP)*.

Untuk mendefinisikan penalaran fuzzy, dimisalkan *A*, *A'* dan *B* adalah himpunan fuzzy dari *X*, *X* dan *Y*, dengan $A \rightarrow B$ adalah suatu relasi *R* pada $X \times Y$. Kemudian himpunan fuzzy *B* diinduksikan oleh “*x* adalah *A*” dan kaidah fuzzy “jika *x* adalah *A* maka *y* adalah *B*” didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x, y)] \\ &= \vee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x, y)] \end{aligned} \tag{15}$$

atau sama dengan

$$B' = A' \circ R = A'(A \rightarrow B) \tag{16}$$

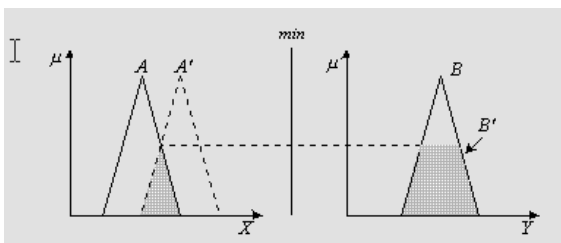
Kaidah Tunggal dengan Antecedent Tunggal

Kaidah tunggal dengan *antecedent* tunggal merupakan contoh yang paling sederhana dari formula pada Persamaan (15) dan setelah disederhanakan, Persamaan (15) menghasilkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= [\vee_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x))] \wedge \mu_B(y) \\ &= w \wedge \mu_B(y) \end{aligned} \tag{17}$$

dengan persamaan ini, terlebih dahulu dicari nilai maksimum dari

$\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x)$ (daerah warna gelap pada bagian *antecedent* pada Gambar 3), selanjutnya fungsi keanggotaan B' adalah bagian warna gelap pada Gambar 3 yang merupakan fungsi keanggotaan B yang terpotong oleh w .



Gambar 3. Penjelasan secara grafis dari *GMP* menggunakan implikasi Mamdani dan komposisi *max-min*.

Kaidah Tunggal dengan Antecedent Jamak

Kaidah *fuzzy if-then* dengan dua *antecedent*, biasanya ditulis sebagai “jika x adalah A dan Y adalah B maka z adalah C ”.

Masalah yang berhubungan dengan *GMP* dijelaskan dengan:

<i>premise 1</i> (kenyataan)	:	x adalah A' dan y adalah B' ,
<i>premise 2</i> (kaidah)	:	jika x adalah A dan y adalah B maka z adalah C .
<i>Consequence</i> (kesimpulan)	:	z adalah C' .

Kaidah *fuzzy* pada *premise 2* dapat dibawa ke bentuk sederhana yaitu “ $AxB \rightarrow C$ ” yang kemudian dapat diubah menjadi relasi

fuzzy ternary R_m , berdasarkan fungsi implikasi

Mamdani yaitu:

$$R_m(A,B,C) = (A \times B) \times C = \int_{x,y,z} \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \wedge \mu_C(z) / (x,y,z) \tag{18}$$

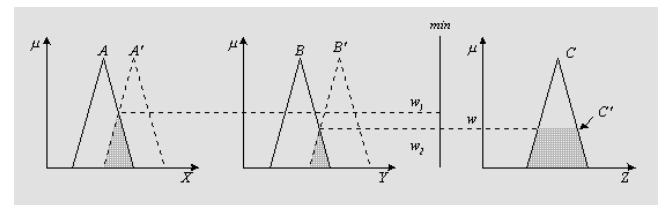
C' yang dihasilkan dapat dinyatakan sebagai

$$C' = (A' \times B') \circ (A \times B \rightarrow C)$$

sehingga

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(z) &= \vee_{x,y} [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y)] \wedge [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \wedge \mu_C(z)] \\ &= \vee_{x,y} \{ [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \} \wedge \mu_C(z) \\ &= \{ \vee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x)] \} \wedge \{ \vee_y [\mu_{B'}(y) \wedge \mu_B(y)] \} \wedge \mu_C(z) \\ &= (w_1 \wedge w_2) \wedge \mu_C(z) \end{aligned} \tag{19}$$

dimana w_1 dan w_2 adalah nilai maksimum dari fungsi keanggotaan $A \cap A'$ dan $B \cap B'$. Secara umum w_1 adalah merupakan derajat kompatibilitas antara A dan A' , demikian juga dengan w_2 . Karena bagian *antecedent* pada kaidah *fuzzy* dibangun dengan penghubung “and”, maka $w_1 \wedge w_2$ disebut *firing strength* atau derajat pencapaian dari kaidah *fuzzy*, yang menggambarkan derajat pencapaian dari kaidah untuk bagian *antecedent*. Secara grafis, proses ini ditunjukkan oleh Gambar 4, dimana MF yang dihasilkan yaitu C' adalah sama dengan MF C yang dipotong oleh *firing strength* w .



Gambar 4. *Aproximate reasoning* untuk *antecedent* jamak.

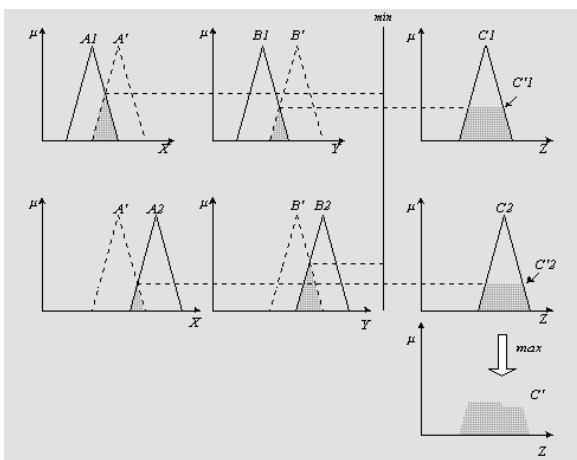
Kaidah Jamak dengan Antecedent Jamak

Untuk menjelaskan kaidah jamak, biasanya menganggap sebagai gabungan dari relasi *fuzzy* yang berhubungan dengan kaidah *fuzzy*. Karena itu, permasalahan *GMP* dituliskan sebagai:

premise 1 (kenyataan) : x adalah A' dan y adalah B' ,
premise 2 (kaidah 1) : jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1 .
Premise 3 (kaidah 2) : jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2 .

Consequence (kesimpulan) : z adalah C' .

Proses di atas secara grafis dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Penalaran fuzzy untuk kaidah jamak dengan antecedent jamak.

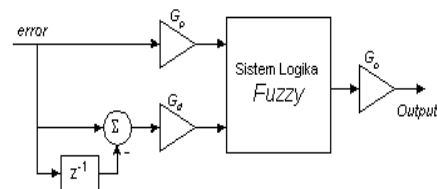
Proses di atas dapat dibuktikan dengan menggunakan dua buah relasi $R_1 = A_1 \times B_1 \rightarrow C_1$ dan $R_2 = A_2 \times B_2 \rightarrow C_2$, karena operator \circ adalah bersifat distributif terhadap operator U, maka selanjutnya gabungan dari dua relasi tersebut menjadi

$$\begin{aligned}
 C' &= (A' \times B') \circ (R_1 \cup R_2) \\
 &= [(A' \times B') \circ R_1] \cup [(A' \times B') \circ R_2] \\
 &= C'_1 \cup C'_2
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

dimana C'_1 dan C'_2 adalah kesimpulan fuzzy dari kaidah 1 dan 2.

METODE PENELITIAN

Diagram blok sistem kendali fuzzy yang akan disimulasikan adalah memiliki struktur pengendali fuzzy PD-like seperti terlihat dalam Gambar 1, yaitu sistem fuzzy yang memiliki dua masukan proporsional dan turunan, dengan G_p adalah penguatan proporsional, G_d adalah penguatan turunan dan G_o adalah penguatan keluaran.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem kendali fuzzy

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulation of Fuzzy Control System

Simulasi dimulai dengan menetapkan nilai kondisi awal dari plant, error dan pengendali. Kemudian langkah program memasuki proses looping yang berlangsung selama waktu yang kita inginkan (dengan mempertimbangkan waktu pencuplikan). Setiap memasuki iterasi ke-k, error(k) dihitung menggunakan Persamaan 1. Kemudian nilai perubahan error (turunan error) dihitung dengan Persamaan 2. Setelah nilai error dan perubahan error diperoleh, selanjutnya nilai tersebut dimasukan ke sistem logika fuzzy sehingga diperoleh keluaran yang akan digunakan sebagai masukan plant. Dengan masukan plant ini, maka keluaran plant dapat dihitung. Selanjutnya menuju iterasi berikutnya. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.

$$e(k) = r(k) - y(k-1) \quad (1)$$

$$\Delta e(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{\Delta t} \quad (2)$$

Sebelum mensimulasikan sistem kendali *fuzzy* menggunakan M-file Matlab secara keseluruhan, terlebih dahulu dituliskan fungsi-fungsi yang mendukung, supaya program utama tidak terlalu rumit. Fungsi-fungsi tersebut adalah fungsi untuk fuzzifikasi, fungsi pengendali *fuzzy* dan fungsi untuk *plant*. Berikut ini adalah listing program untuk mendeklarasikan fungsi-fungsi tersebut.

a. Fungsi untuk fuzzifikasi himpunan error/delta error negatif

```
function y=setiga_kr(x,a,b);
y=max(min(1,(b-x)/(b-a)),0);
```

b. Fungsi untuk fuzzifikasi himpunan error/delta error zero

```
function y=setiga_tg(x,a,b,c);
y=max(min((x-a)/(b-a),(c-x)/(c-b)),0);
```

c. Fungsi untuk fuzzifikasi himpunan error/delta error positif

```
function y=setiga_kn(x,a,b);
y=max(min(1,((x-a)/(b-a)),0);
```

d. Fungsi untuk pengendali fuzzy

```
function o=fuzz_satelit(x1,x2)

%fuzzifikasi masukan error
E_N=setiga_kr(x1,-1,0);
E_Z=setiga_tg(x1,-1,0,1);
E_P=setiga_kn(x1,0,1);

%fuzzifikasi masukan perubahan error
Ce_N=setiga_kr(x2,-1,0);
Ce_Z=setiga_tg(x2,-1,0,1);
Ce_P=setiga_kn(x2,0,1);

%menghitung fired weight tiap kaidah fuzzy
f1=min(E_N,Ce_N);%0
f2=min(E_N,Ce_Z);%0
f3=min(E_Z,Ce_N);%0
```

```
f4=min(E_N,Ce_P);%0
f5=min(E_Z,Ce_Z);%0
f6=min(E_P,Ce_N);%0
f7=min(E_Z,Ce_P);%1
f8=min(E_P,Ce_Z);%1
f9=min(E_P,Ce_P);%1
f=[f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9];
```

```
%data titik tengah membership
keluaran untuk tiap rule
y=[-1 -1 -1 0 0 0 1 1 1]; %lebar
membershipnya adalah 2
%menghitung y_Fuzzy1
num=0;
den=0;
for k=1:9
num=num+((2*(f(k)-(f(k)^2)/2))*y(k));
den=den+((2*(f(k)-(f(k)^2)/2))*y(k));
end
o=num/den;
```

e. Fungsi untuk plant satelit

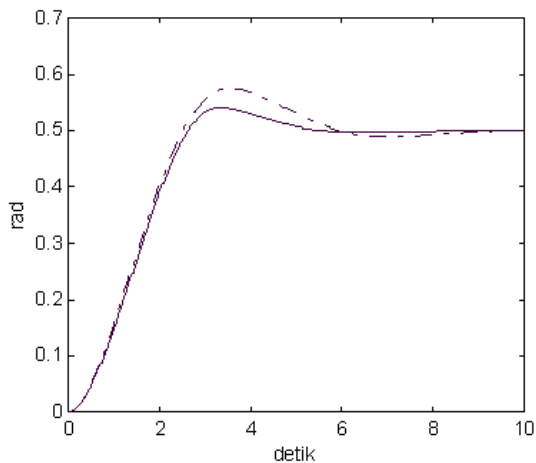
```
function
[x1,x2]=f_satelit(dt,u_0,x1_0,x2_0);
a1=u_0;
b1=x2_0;
a2=u_0;
b2=(x2_0+dt*(b1/2));
a3=u_0;
b3=(x2_0+dt*(b2/2));
a4=u_0;
b4=(x2_0+dt*(b3));
x1=x1_0+(dt/6)*(b1+2*b2+2*b3+b4);
x2=x2_0+(dt/6)*(a1+2*a2+2*a3+a4);
```

Fungsi-fungsi di atas adalah digunakan dalam program utama dari simulasi sistem kendali sudut satelit. Setiap fungsi disimpan dengan nama file seperti nama fungsinya, sehingga ketika dipanggil dalam program utama maka fungsi yang bersangkutan akan langsung dijalankan komputer. Listing program utama simulasinya adalah sebagai berikut:

```
clear;
x1(1)=0;
x2(1)=0;
y(1)=0;
dt=0.01;
u(1)=1;
r=0.5
e(1)=-r;
```

```
gp=1;
gd=1;
go=1;
for n=1:1000
    k=n+1;
    e(k)=r-y(k-1);
    de(k)=100*(e(k)-e(k-1));
    u(k)=go*fuzz_satelit(gp*e(k),gd*de(k));
```

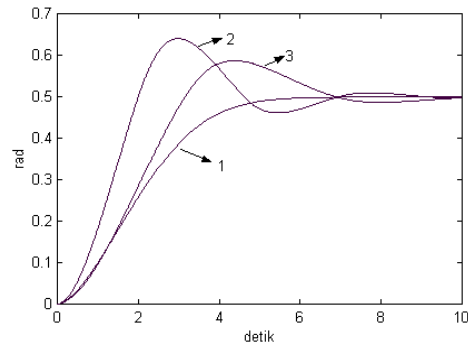
```
%u(k)=e(k);
[x1(k),x2(k)]=f_satelit(dt,u(k-1),x1(k-1),x2(k-1));
y(k)=x1(k);
end
t=linspace(0,10,1001);
figure;
plot(t,y);
xlabel('detik');
ylabel('rad');
```



Gambar 3. Tanggapan sudut satelit terhadap acuan 0,5 rad dengan G_p , G_d dan $G_o = 1$

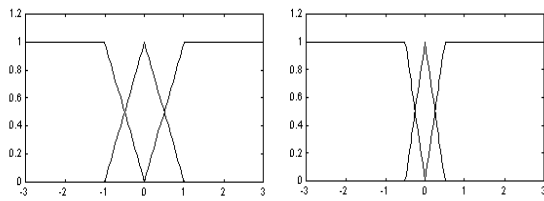
Program utama di atas adalah mensimulasikan sistem kendali sudut satelit dengan waktu pencuplikan sebesar 10 mdet, selama 10 detik. Dengan G_p , G_d dan G_o sebesar 1, serta acuan 0,5 rad. Jika program utama tersebut dijalankan (dieksekusi) maka akan didapatkan grafik tanggapan (dengan garis tebal) seperti terlihat dalam Gambar 4.7, sedangkan grafik tanggapan dengan garis putus-putus adalah grafik tanggapan sistem dengan menggunakan defuzzifikasi yang kedua (bobot tiap kaidah dikalikan

dengan titik tengah fungsi keanggotaan keluaran). Gambar 4.8 adalah grafik tanggapan sistem kendali dengan nilai G_p , G_d dan G_o yang diubah. Grafik bertanda 1 adalah untuk $G_p=0.5$, $G_d=1$ dan $G_o=1$, grafik bertanda 2 adalah untuk $G_p=1$, $G_d=0.5$ dan $G_o=1$, sedangkan grafik bertanda 3 adalah untuk $G_p=1$, $G_d=1$ dan $G_o=0.5$.



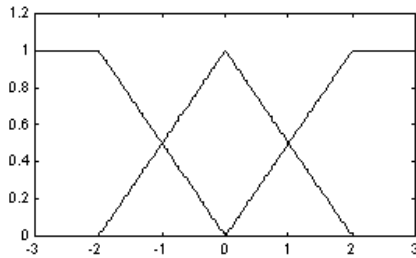
Gambar 4. Tanggapan posisi satelit dengan nilai penguatan yang berbeda.

Dari penjelasan di atas, nilai penguatan pengendali yang berbeda, akan memberikan hasil tanggapan sistem yang berbeda pula. Terdapat dua besaran penguatan yang dapat ditala, yaitu penguatan pada sisi masukan dan sisi keluaran. Penguatan pada sisi masukan adalah G_p dan G_d sedangkan penguatan pada sisi keluaran adalah G_o . Jika dilihat dari bentuk fungsi keanggotaan, perubahan nilai penguatan pengendali memiliki persamaan dengan perubahan lebar dasar dan skala titik tengah segitiga himpunan keanggotaan masukan maupun keluarannya. Jika penguatan masukan diperbesar, maka akan setara dengan pengecilan lebar dasar dan skala titik tengah segitiganya dan demikian sebaliknya akan memperbesar lebar dasar dan skala titik tengah segitiga himpunan masukannya. Sedangkan untuk penguatan keluaran, jika diperbesar maka akan setara dengan memperbesar skala titik tengah dan lebar himpunan *fuzzy* keluarannya. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.



(a)

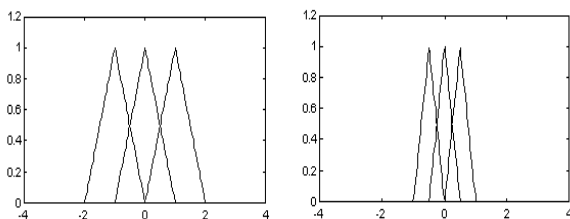
(b)



(c)

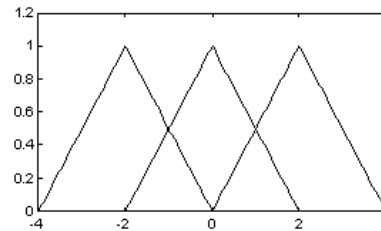
Gambar 5. Perubahan penguatan masukan setara dengan perubahan fungsi keanggotaan fuzzy.

Gambar 5(a) adalah bentuk fungsi keanggotaan masukan dengan penguatan sebesar 1, Gambar 5(b) adalah untuk penguatan sebesar 2, sedangkan Gambar 5(c) adalah untuk penguatan 0,5.



(a)

(b)



(c)

Gambar 6. Perubahan nilai penguatan keluaran setara dengan perubahan bentuk fungsi keanggotaan fuzzy keluaran

Gambar 6(a) adalah bentuk fungsi keanggotaan dengan penguatan sebesar 1, Gambar 6(b) adalah untuk penguatan sebesar 0.5, sedangkan Gambar 6(c) adalah untuk penguatan sebesar 2.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi Gambar 3 bahwa . tanggapan sudut satelit terhadap acuan 0,5 rad dengan G_p , G_d dan $G_o = 1$ pada system kendali fuzzy, sangat cepat menuju 0,5 rad dari pada sistem kendali konvensional.

Selanjutnya hasil pada gambar 4 adalah untuk $G_p=0.5$, $G_d=1$ dan $G_o=1$, grafik tanpa mengalami osilasi menuju 0,5 rad, dengan kata lain bahwa kendali system fuzzy dapat dengan mudah dan cepat menuju ke- stabilan.

Referensi

- [1] Jang, J.S.R., Sun, C.T., E. Mizutani., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall, New Jersey,1997.
- [2] Sri Widodo Th., *Sistem Neuro Fuzzy*, Graha Ilmu, Yogyakarta,2005
- [3] Fausett L., *Fundamentals of Neural Networks*, Prentice-Hall, New Jersey,1994.
- [4] Kosko B., *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice-Hall, New Jersey,1992.
- [5] Chester M., *Neural Networks A Tutorial*, Prentice-Hall, New Jersey,1993.