

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KENDALI FUZZY MENGUNAKAN MIKROKONTROLER PADA HOPPER-CONVEYOR PLANT

Zaidir Jamal<sup>1</sup>, Oyas Wahyunggoro<sup>2</sup>, Adha Imam Cahyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

<sup>1</sup>Email: zaidirj72@gmail.com

<sup>2</sup>Email: oyas@ugm.ac.id

<sup>3</sup>Email: adha.imam@ugm.ac.id

## Abstrak

*Hopper-conveyor plant* banyak digunakan di industri pada umumnya digerakkan motor induksi. Saat ini motor induksi dioperasikan pada kecepatan yang bervariasi sejak dikembangkan *inverter variable speed drive*. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan kendali fuzzy untuk mengendalikan aras di *hopper* berbasis mikrokontroler. Fungsi segi tiga sebagai keanggotaan, fuzzifikasi digunakan *singleton*. Kendali fuzzy dirancang tujuh partisi dengan 19 aturan dan lima partisi dengan 15 aturan. *Center of Average (CoA)* digunakan sebagai defuzzifikasi. Sensor jarak ultra sonik digunakan untuk mengukur aras, keluaran tegangan sebagai kalang umpan balik kendali. Pada implementasinya aras diamati menggunakan program akuisisi data. Hasil penelitian menghasilkan operasi kendali fuzzy tujuh dan lima partisi dapat direalisasikan pada mikrokontroler, partisi tujuh menunjukkan tidak ada *over shoot* tetapi *rise time* tujuh partisi lebih besar dari lima partisi.

**Kata kunci:** kendali, fuzzy, mikrokontroler

## 1. Pendahuluan

*Hopper-conveyor plant* digunakan luas di industri pada umumnya digerakkan oleh motor induksi tiga phasa. Pada industri kecil/ sedang operator akan mengoperasikan *conveyor* sesuai keadaan isi *hopper*, *conveyor* akan dimatikan apabila *hopper* telah penuh atau sebaliknya. Apabila motor sering dihidupkan dan dimatikan maka akan mengganggu sistem tenaga listrik akibat arus *starting* motor yang besar. Bahan baku juga akan tumpah atau terjadi kekosongan apabila operator lalai.

Motor induksi banyak digunakan di industri karena *robustness* yang tinggi, reabilitas, biaya rendah, efisiensi tinggi, kemampuan *self starting* yang baik, sederhana dan *rugged structure* [1-3] dan dapat bekerja dalam waktu lama tanpa perawatan [4]. Motor induksi umumnya dioperasikan pada kecepatan tetap, seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan maka motor induksi dioperasikan pada variasi

kecepatan yang sebelumnya didominasi oleh motor DC.

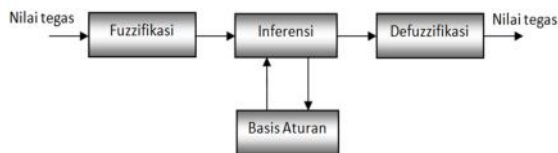
Studi perancangan dan implementasi kendali fuzzy pada sistem tangki telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian ini merancang bangun kendali fuzzy untuk mempertahankan aras (*level*) bahan baku *solid* di *hopper*.

## 2. Tinjauan Pustaka

Terdapat dua tipe *Fuzzy logic Controller (FLC)* yang populer yaitu Mamdani dan Takagi-Sugeno. FLC pertama kali diperkenalkan oleh Mamdani dan Assilian (1975) [5], telah berkembang menjadi aplikasi yang luas. FLC metode Mamdani keluaran berupa himpunan *fuzzy*, mesin inferensi menggunakan *Max-Min* atau *Max-Product* dan defuzzifikasi menggunakan metode *Centroid*. Berbeda dengan sistem kendali konvensional, FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan, yang dapat dikendalikan dengan operator manusia dengan tanpa mengetahui sifat dinamis dalam sistem tersebut [5].

FLC merupakan sistem fuzzy yang diaplikasikan secara khusus pada bidang kendali. FLC banyak diaplikasikan pada bidang kendali karena lebih humanis bila dibandingkan dengan kendali klasik karena FLC mempresentasikan pengetahuan operator atau pakar dalam mengoperasikan atau mengendalikan sistem/plant [5]. FLC biasanya memiliki dua masukan dan satu keluaran untuk sistem *Single Input Single Output* (SISO). Masukan FLC biasanya *error* ( $e$ ) dan *delta error* ( $\dot{e}$ ), keluaran perubahan sinyal kendali ( $u$ ).

Sistem fuzzy adalah sistem yang bekerja dengan besaran/nilai fuzzy dan menggunakan logika fuzzy. Sistem fuzzy terdiri dari fuzifikasi, mesin inferensi, basis aturan dan defuzifikasi seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Sistem fuzzy

Fuzifikasi merupakan proses transformasi nilai numerik ke nilai linguistik, dengan kata lain fuzifikasi merupakan pemetaan ruang input ke himpunan fuzzy yang didefinisikan pada semesta pembicaraan. Ada tiga macam fuzifikasi yaitu; *singleton*, *gaussian* dan segitiga, fuzifikasi *singleton* yang sering digunakan. Fuzifikasi *singleton* memberikan nilai keanggotaan 1 pada  $x^*$  dan 0 pada titik lainnya [6], dirumuskan:

$$\mu_A'(x) \begin{cases} 1 & \text{if } x = x^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Pada sistem fuzzy setiap nilai linguistik dari suatu peubah dinyatakan dengan keanggotaan fuzzy. Beberapa bentuk fungsi keanggotaan fuzzy yang digunakan adalah kurva segitiga, trapesium, *gaussian* dan *bell shaped*. Fungsi keanggotaan masukan-keluaran yaitu gabungan *support* himpunan fuzzy pada peubah linguistik harus mencakup semesta pembicaraan yang berdekatan (berhubungan) dengan derajat relasi mendekati nilai. Pada umumnya nilai dipilih pada titik *crossover* sebesar 0,5 [5].

Basis pengetahuan fuzzy adalah kumpulan aturan-aturan (*rules*) untuk menentukan keluaran dalam hal ini keluaran pengendali.

Salah satu metode menentukan aturan-aturan dibangun berdasarkan respon sistem [5][7]. Proposisi setelah *IF* disebut *anteseden*, sedangkan proposisi setelah *THEN* disebut *konsekuen*.

$$IF(x \text{ is } A1)AND (y \text{ is } B1)THEN (z \text{ is } C1) \quad (2)$$

Masukan FLC SISO adalah *error* ( $e$ ) dan *delta error* ( $\dot{e}$ ) dan keluarannya adalah perubahan sinyal kendali ( $u$ ), *error* adalah selisih *set point* ( $y_{sp}$ ) dengan nilai keluaran sebenarnya ( $y$ ), maka dirumuskan:

$$e(t) = y_{sp}(t) - y(t) \quad (3)$$

$$\dot{e}(t) = e(t) - e(t-1) \quad (4)$$

Inferensi yaitu proses mengubah masukan fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan (*IF-THEN Rules*) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan fuzzy. Dengan kata lain melakukan agregasi yaitu mengkombinasikan keluaran *IF-THEN* menjadi fuzzy set tunggal. Proses Inferensi atau penalaran berdasarkan operasi himpunan fuzzy. Beberapa operasi (operator) yang digunakan yaitu operasi gabungan (*union*) atau OR dari himpunan fuzzy A dan B dinyatakan sebagai  $A \cup B$  dalam logika fuzzy disebut *Max* dan Operasi irisan (*intersection*) atau AND dari himpunan fuzzy A dan B dinyatakan sebagai  $A \cap B$  dalam logika fuzzy disebut *Min* [8].

Defuzifikasi yaitu proses mengubah keluaran fuzzy yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzifikasi. Metode defuzifikasi yang sering digunakan adalah Metode *Center Of Area* (CoA) Pada kasus semesta pembicaraan diskrit dirumuskan:

$$z_{CoA}^* = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (5)$$

Dengan  $n$  adalah banyaknya level kuantisasi (nilai linguistik) peubah,  $z_j$  adalah nilai numerik pada level kuantisasi ke- $j$  dan  $\mu_j$  adalah nilai derajat keanggotaan  $z_j$  pada himpunan C. Metode *Mean of Maximum* (MoM) menentukan aksi yang mewakili nilai rerata (*mean*) dari fungsi keanggotaannya mencapai maksimum.

Pada kasus semesta pembicaraan diskrit dinyatakan pada persamaan berikut:

$$z^*_{MoM} = \sum_{j=1}^m \frac{z_j}{m} \quad (6)$$

Dengan  $z_j$  adalah nilai suport fungsi keanggotaan maksimum  $\mu_C(z_j)$ ,  $m$  adalah banyaknya nilai suport.

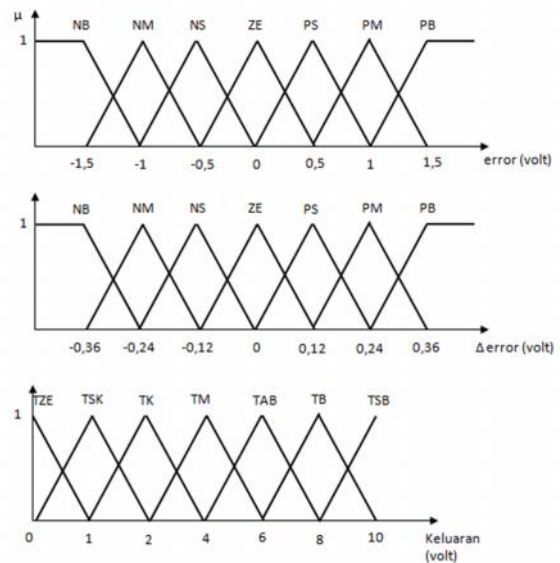
### 3. Metodologi

Komponen-komponen diskrit dan tepadu dirancang bangun menjadi modul kendali *fuzzy* berbasis mikrokontroler ATmega 32. Penggerak motor induksi tiga fasa menggunakan *inverter speed drive* Hitachi WJ-200-007SF. Untuk mendeteksi jarak menggunakan modul *customize* sensor jarak ultra sonik telah dilengkapi dengan program akuisisi data. Miniatur *hopper-conveyor plant* digerakkan oleh motor induksi tiga phasa 0,5 HP, putaran direduksi dengan *gear box* perbandingan 10:1.

Perancangan dimulai dengan pengukuran keluaran sensor ultra sonik yang akan digunakan sebagai masukan kendali (*process value*). Pengukuran sinyal *command frequency* inverter dengan memasang potensio, tegangan sinyal ini digunakan untuk menentukan keluaran kendali *fuzzy* yaitu 0-10 volt.

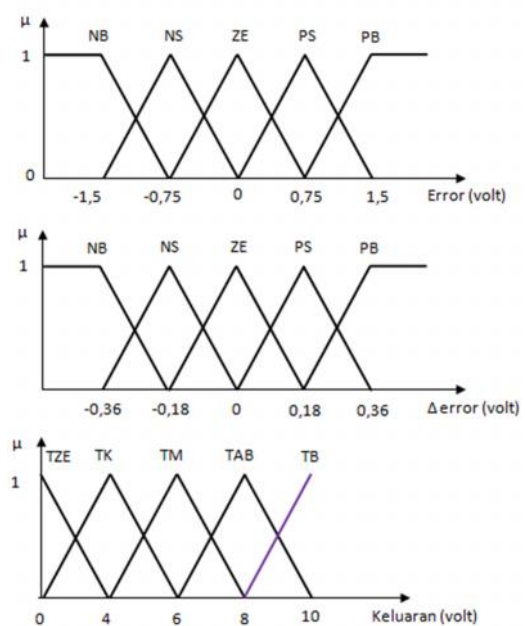
Fuzifikasi menggunakan *singleton* dengan fungsi keanggotaan segitiga. Rentang himpunan *error* dari -1,5 sampai +1,5 volt, himpunan *delta error* dari -0,36 sampai +0,36 volt dan himpunan keluaran dari 0 sampai 10 volt. *Set point* pada aras 20 cm dengan keluran sensor ultra sonik pada 4 volt.

Fungsi keanggotaan segitiga dengan bahu tujuh partisi seperti pada gambar 2, peubah linguistik himpunan *error* NB= Negatif Big, NM= Negatif Medium, NS= Negatif Small, ZE= Zero, PS= Positif Small, PM= Positif Medium, PB= Positif Big. Peubah linguistik himpunan *error* NB= Negatif Big, NM= Negatif Medium, NS= Negatif Small, ZE= Zero, PS= Positif Small, PM= Positif Medium, PB= Positif Big. Peubah linguistik himpunan keluaran TZE= Tegangan Zero, TSK= Tegangan Sangat Kecil, TK= Tegangan Kecil, TM= Tegangan Medium, TAB= Tegangan Agak Besar, TB= Tegangan Besar, TSB= Tegangan Sangat Besar.



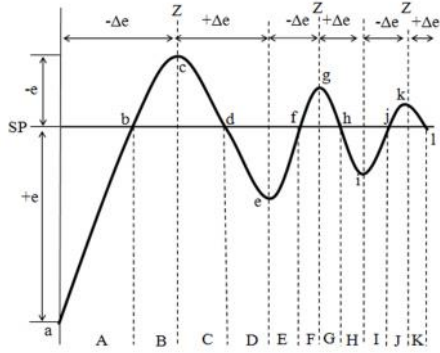
Gambar 2 Fungsi keanggotaan tujuh partisi

Fungsi keanggotaan untuk lima partisi *fuzzy* seperti pada gambar 3, peubah linguistik himpunan *error* NB= Negatif Big, NS= Negatif Small, ZE= Zero, PS= Positif Small, PB= Positif Big. Peubah linguistik himpunan *error* NB= Negatif Big, NS= Negatif Small, ZE= Zero, PM= Positif Medium, PB= Positif Big. Peubah linguistik himpunan keluaran TZE= Tegangan Zero, TK= Tegangan Kecil, TM= Tegangan Medium, TAB= Tegangan Agak Besar, TB= Tegangan Besar.



Gambar 3 Fungsi keanggotaan lima partisi

Aturan-aturan ditetapkan berdasarkan respon undak sistem, untuk memudahkan perancangan respon undak dipetakan seperti gambar 4.



Gambar 4 Pemetaan respon undak

Aturan-aturan untuk tujuh partisi pada tabel 1, lima partisi pada tabel 2.

Mekanisme inferensi fuzzy menggunakan operator *max-min* sedangkan defuzifikasi menggunakan metode COA.

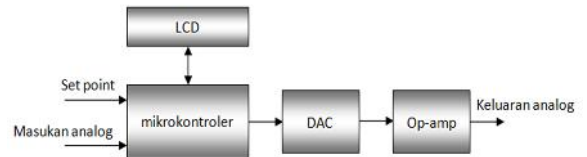
Perangkat keras kendali fuzzy terdiri dari tiga bagian yaitu rangkaian minimum mikrokontroler Atmega 32, penampil LCD, DAC+penguat operasi (*op-amp*) seperti pada gambar 5. Agar realisasi perangkat keras kompak maka bagian-bagian direalisasikan dalam satu modul seperti pada gambar 6.

Tabel 1 Aturan tujuh partisi

Aturan ke-	E	CE	CU
1	PB	ZE	TSB
2	PM	ZE	TB
3	PS	ZE	TAB
4	ZE	NB	TM
5	ZE	NM	TK
6	ZE	NS	TSK
7	NB	ZE	TM
8	NM	ZE	TK
9	NS	ZE	TSK
10	ZE	PB	TSB
11	ZE	PM	TB
12	ZE	PS	TAB
13	ZE	ZE	ZE
14	PB	NS	TB
15	NB	NS	TM
16	NB	PS	TM
17	NS	PB	TSB
18	PS	NS	TZE
19	NS	PS	TZE

Tabel 2 Aturan lima partisi

Aturan ke-	E	CE	CU
1	PB	ZE	TB
2	PS	ZE	TAB
3	ZE	NB	TM
4	ZE	NS	TK
5	NB	ZE	TM
6	NS	ZE	TK
7	ZE	PB	TB
8	ZE	PS	TAB
9	ZE	ZE	ZE
10	PB	NS	TAB
11	NB	NS	TM
12	NB	PS	TM
13	PB	PS	TB
14	PS	NS	TZE
15	NS	PS	TZE



Gambar 5 Blok perangkat keras kendali



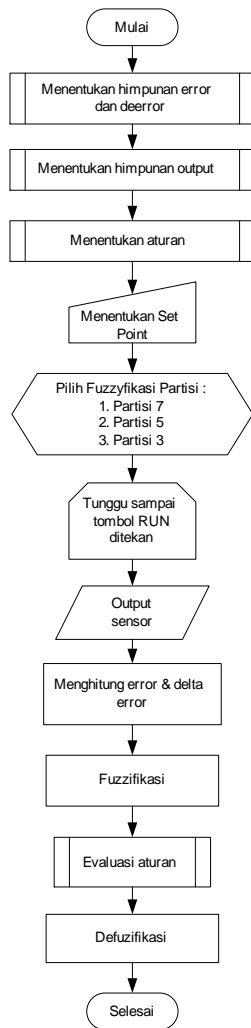
Gambar 6 Realisasi kendali fuzzy

Diagram alir proses program ditunjukkan pada gambar 7, program menggunakan BASCOM AVR. Selanjutnya program disimpan di *flash* memori mikrokontroler melalui *downloader*.

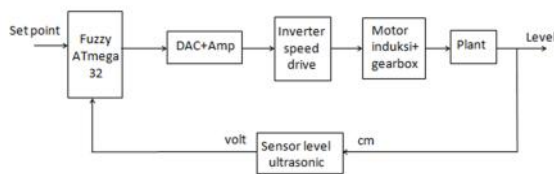
#### 4. Hasil Dan Pembahasan

Sebelum kendali diimplementasikan ke *hopper-conveyor plant* dilakukan pengujian apakah perangkat keras dan perangkat lunak telah bekerja menggunakan program akuisisi data melalui komunikasi serial. Diagram blok

implementasi ditunjukkan pada gambar 8, *set-up* implementasi pada gambar 9.



Gambar 7 Diagram alir proses program

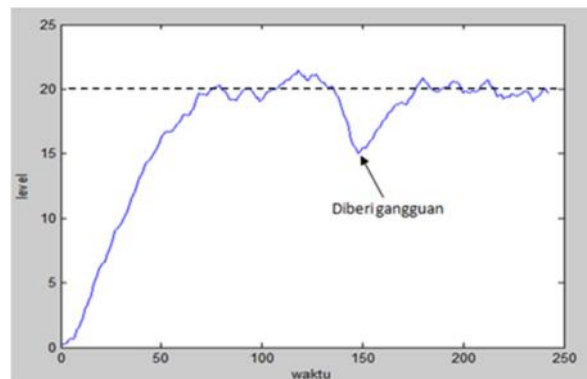


Gambar 8 Diagram blok implementasi

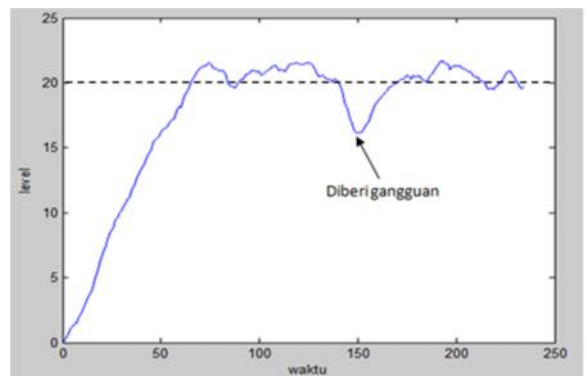


Gambar 9 *Set-up* implementasi

Respon sistem diamati dengan program akuisisi data, respon untuk tujuh partisi pada gambar 10, lima partisi pada gambar 11. Pada partisi lima masih terdapat *over shoot*, pada partisi tujuh tidak ada *over shoot* namun *rise time* lebih lambat dari lima partisi. Indeks kinerja kendali fuzzy tujuh dan lima partisi ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 10 Respon tujuh partisi



Gambar 11 Respon lima partisi

Item Kinerja	FLC	
	7 partisi	5 partisi
Rise time (detik)	250	250
% over shoot	0,0530	0,0548
IAE	3,3089	3,3174

## 5. Kesimpulan

Kendali fuzzy tujuh partisi dan lima partisi dapat direalisasikan pada mikrokontroler dan dapat diimplementasikan pada *hopper-conveyor plant* dengan baik. Hal ini terlihat dari respon sistem, aras dapat dipertahankan disekitar *set point*. Pada partisi tujuh menunjukkan tidak adanya *over shoot* tetapi *rise time* tujuh partisi lebih besar dari lima partisi dengan kata lain lebih lambat responnya. Dalam mengatasi gangguan kendali juga memberikan kinerja yang baik.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Divya, "Speed Control of Induction Motor Using Fuzzy-PI Controller Fuzzy-PI Controller", (2010), Dalam *Proceedings of 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE)*.
- [2] E. Walid, at all, "V/F Control of Squirrel Cage Induction Motor Drives Without Flux or Torque Measurement Dependency," *International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, vol. 2, (2011), p. 16,.
- [3] P. Javier, and Mauricio, Rotela, "Direct Torque Control for Sensorless Induction Motor Drives Using an Improved H-Bridge Multilevel Inverter," *IEEE*, (2009), pp. 1110-1115,.
- [4] L. Mao-Fu, Chen Chang and Wen-Yuh Chiou, "Design Of Fuzzy Logic Controller For An Induction Motor Speed Drive," *IEEE SICE '97*, 1997, pp. 1071-1076,.
- [5] A.R.W. Dwi, *Sistem Kendali Cerdas*, (2011), Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [6] W. Oyas, Nordin B Saad, "Development of Fuzzy-Logic-Based Self Tuning PI Controller for Servomotor," (2008), Dalam *Proceeding of IEEE 10th Intl. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision Hanoi, Vietnam*.
- [7] Guanrong Chen, Trung Tat Pham, "Fuzzy Set, Fuzzy Logig, and Fuzzy Control System", (2001), CRC Press, Houston Texas.
- [8] T. Sutojo dkk, "Kecerdasan Buatan", (2011), ANDI, Yogyakarta.