

**SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN ALIRAN UDARA PADA WIND TUNNEL  
DENGAN UMPAN BALIK KECEPATAN ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN  
KONTROL LOGIKA FUZZY**

**PUBLIKASI JURNAL SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

**AZWAN MAHADIN KUSUMA**

**NIM. 105060307111028 - 63**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**MALANG**

**2016**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp& Fax. 0341 554166 Malang 65145

KODE  
PJ-01

PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

NAMA : AZWAN MAHADIN KUSUMA  
NIM : 105060307111028- 63  
PROGRAM STUDI : TEKNIK KONTROL  
JUDUL SKRIPSI : SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN ALIRAN UDARA  
PADA *WIND TUNNEL* DENGAN UMPAN BALIK KECEPATAN  
ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA  
FUZZY

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing 1

Dr. Ir. Bambang Siswoyo, MT.  
NIP. 19621211 198802 1 001

Pembimbing 2

Ir. Purwanto, MT.  
NIP. 19540424 198601 1 001



# SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN ALIRAN UDARA PADA WIND TUNNEL DENGAN UMPAN BALIK KECEPATAN ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY

Azwan Mahadin Kusuma,<sup>1</sup> Dr. Ir. Bambang S, MT.<sup>2</sup>, Ir. Purwanto, MT.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, <sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: [azwan.mahadin@yahoo.com](mailto:azwan.mahadin@yahoo.com)<sup>1</sup>, [bsiswojo@ub.ac.id](mailto:bsiswojo@ub.ac.id)<sup>2</sup>, [purwanto@ub.ac.id](mailto:purwanto@ub.ac.id)<sup>2</sup>

*Wind tunnel adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamika untuk mempelajari karakteristik aliran udara. Wind tunnel digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamis untuk menganalisis kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang. Untuk membangkitkan aliran udara pada wind tunnel, yaitu dengan cara mengatur putaran propeller atau baling-baling yang di kendalikan melalui motor penggerak (motor induksi 3 fasa) dan menggunakan sensor air flow untuk mengetahui kecepatan aliran udaranya. Motor penggerak tidak sepenuhnya sebagai pengontrolan kecepatan aliran udara, namun spesifikasi propeller juga sangatlah berpengaruh pada kecepatan aliran udara. Dengan itu untuk keperluan uji spesimen, perlu distabilkan kecepatan aliran udaranya dengan diperlukannya sistem kontrol kecepatan aliran udara berdasarkan experience of operator (metode berdasarkan pengalaman operator) dengan melihat respon output nya. Penelitian ini menggunakan Kontrol Logika Fuzzy (KLF) metode Mamdani dengan output single tone. Pada penelitian ini diberi setpoint 10 m/s dan menghasilkan respon steady state 5,6 detik dan ketika sistem diberi gangguan menghasilkan respon recovery time sebesar 1600 ms.*

**Kata kunci:** Wind Tunnel, Kontrol Logika Fuzzy, Aliran Udara, Propeller.

## I. PENDAHULUAN

Adanya minat atau ketertarikan yang cukup besar pada bidang industri terkait dengan penggunaan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) baru-baru ini. Hal ini dikarenakan pesawat tanpa awak yang bisa digunakan untuk membawa muatan, baik peralatan elektronik maupun muatan lainnya yang mampu dikendalikan secara jarak jauh oleh pilot atau mengendalikan diri sendiri secara otomatis. Pesawat ini memiliki prinsip terbang menggunakan hukum aerodinamika melalui sayap untuk mengangkat dirinya secara otomatis. Seringkali penggunaan UAV dimanfaatkan untuk penelusuran tempat-tempat yang susah/sulit dijangkau dengan manusia, seperti pegunungan, lembah dan lokasi penambangan.

Dalam mendesain UAV, dibutuhkan rangka pesawat (*frame*) yang terdiri dari badan pesawat (*fuselage*), sayap (*wing*), *stabilizer horizontal* dan *vertikal*. Kerangka ini memiliki karakteristik berupa gaya angkat yang perlu adanya alat bantu uji berupa *wind tunnel*.

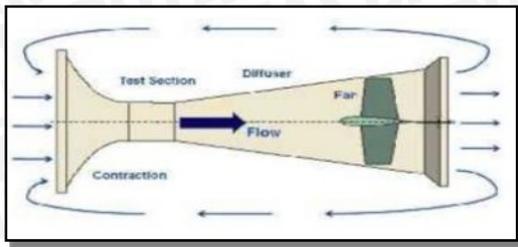
*Wind tunnel* atau terowongan angin digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamis. *Wind tunnel* dikembangkan dalam menganalisis efek angin yang bergerak atau disekitar objek padat.

Pada kecepatan aliran udara, spesifikasi *propeller* sangat berpengaruh, dimana beberapa spesifikasi *propeller* diantaranya yaitu bobot *propeller*, diameter *propeller*, *pitch propeller*, jumlah *propeller*, dan luas *propeller*. Maka dari itu untuk keperluan uji spesimen model pesawat, perlu distabilkan kecepatan aliran udaranya. Untuk itu diperlukan sistem kontrol kecepatan aliran udara dengan berdasarkan *experience of operator* (metode berdasarkan pengalaman operator) dengan melihat respon outputnya, maka dipilih metode Kontrol Logika Fuzzy (KLF).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

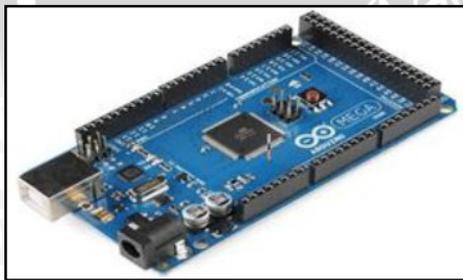
*Wind tunnel* adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamika untuk mempelajari karakteristik aliran udara. *Wind tunnel* digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamis untuk menganalisis kinerja mekanika terbang dari suatu benda terbang. *Wind tunnel* juga banyak digunakan dalam pengujian berbagai kondisi benda dalam aliran udara seperti konstruksi gedung pencakar langit, lingkungan perkotaan dan lain-lain.. Bentuk *wind tunnel* dapat dilihat pada Gambar 1. ([www.grc.nasa.gov](http://www.grc.nasa.gov)).



Gambar 1. Model Wind Tunnel

### B. Arduino Mega2560

Mikrokontroler ini berfungsi sebagai pengaturan kerja alat agar dapat bekerja secara sistematis, dengan program yang telah di input kedalam mikrokontroler sehingga output keluaran akan bekerja sesuai dengan program assambler tersebut. Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 (datasheet ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Gambar 2 merupakan Arduino Mega2560. (<http://arduino.cc>).



Gambar 2. Bentuk Arduino Mega2560

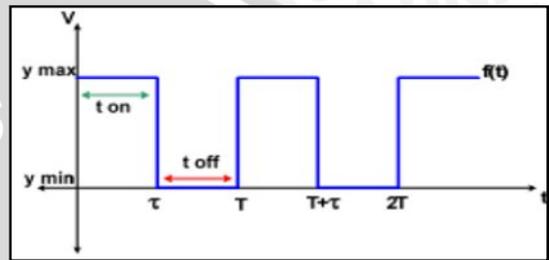
### C. VFD (Variable Frequency Drive)

VFD adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik AC (Alternating Current) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. VFD semakin populer karena kemampuannya untuk mengontrol kecepatan motor induksi. VFD mengontrol kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi untuk nilai disesuaikan pada sisi mesin sehingga memungkinkan motor listrik dengan cepat dan mudah menyesuaikan kecepatan dengan nilai yang diinginkan. VFD sering disebut dengan *inverter* adalah solusi aplikasi yang membutuhkan kemampuan pengaturan motor lebih lanjut, misal pengaturan putaran motor sesuai bebannya atau sesuai nilai yang kita inginkan.

### D. PWM (Pulse Width Modulation)

Pengaturan lebar pulsa modulasi atau PWM merupakan salah satu teknik yang “ampuh” yang

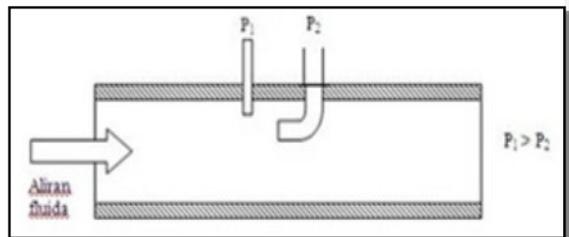
digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan di berbagai bidang yang sangat luas, salah satu diantaranya adalah kendali kecepatan (*speed control*), kendali sistem tenaga (*power control*), pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi (*measurement and communication*). Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*). (Prabowo, Brilliant Adhi, 2009). Berikut merupakan gambar sinyal PWM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk Sinyal PWM

### E. Tabung Pitot (Sensor Air Flow)

Tabung pitot atau sensor *air flow* merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu tekanan fluida. Biasanya tabung pitot ini digunakan pada pesawat untuk mengukur kecepatan dari suatu pesawat. pipa terbuka kecil dimana permukaannya bersentuhan langsung dengan aliran. Pada tabung pitot ini terdiri dari 2 pipa, yaitu *Static Tube* (untuk mengukur tekanan statis) dan *Dinamic tube* (untuk mengukur tekanan dinamis). Gambar 4 menunjukkan prinsip kerja sensor. (<https://id.wikipedia.org/wiki/tabung-pitot.shtml>)



Gambar 4. Bentuk Sinyal PWM

### F. Kontrol Logika Fuzzy (KLF)

Kontrol logika fuzzy adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan fuzzy yang mempresentasikan mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel *input* ke variabel *output* dengan pernyataan If – Then.

Kontrol ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Lalu dengan aturan fuzzy, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran fuzzy. Setelah itu hasil ini akan diubah

kembali menjadi bentuk numerik melalui proses defuzzifikasi. (Yan, Ryan dan Power, 1994).

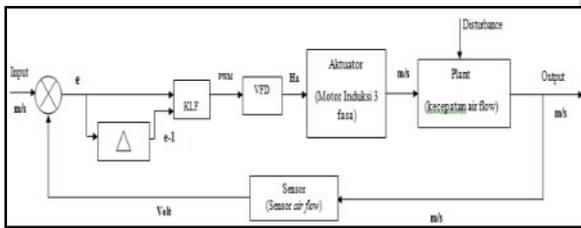
### III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada perancangan ini meliputi 2 bagian, yaitu Perancangan perangkat keras dan Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma KLF).

#### A. Perancangan Perangkat Keras

##### a. Diagram Blok Sistem

Sebelum melakukan perancangan sistem, terlebih dahulu membuat diagram blok agar mempermudah tahapan dalam pengerjaan. Berikut diagram blok ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

##### b. Baling-baling (*Propeller*)

Berdasarkan spesifikasi ukuran *wind tunnel* 150cmx150cm, maka *propeller* yang digunakan yaitu berukuran 147cm. Berikut adalah gambar bentuk fisik *propeller* yang digunakan, dan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Fisik *Propeller*

##### c. Arduino Mega2560

Perancangan ini menggunakan modul Arduino Mega2560 sebagai pusat proses pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa untuk menggerakkan propeller. Untuk mendukung mikrokontroler, modul ini memiliki spesifikasi yaitu 54 pin digital *input/output*, di mana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack* power, *header* ICSP, dan tombol *reset*.

##### d. Motor Induksi 3 Fasa

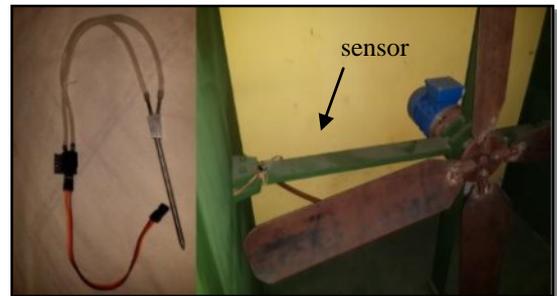
Perancangan ini menggunakan motor induksi 3 fasa, motor induksi ini memiliki *range* frekuensi *output* yaitu 0 sampai 400 Hz. Fungsi dari motor induksi ini adalah sebagai penggerak *propeller*. Dalam perancangan ini sangat dibutuhkan perubahan putaran motor induksi 3 fasa, dimana dibutuhkan putaran motor yang fleksibel untuk mengubah kecepatan putaran *propeller*. Berikut motor induksi 3 fasa diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Motor Induksi 3 Fasa

##### e. Tabung Pitot (*Sensor Air Flow*)

Perancangan sistem ini menggunakan sensor *air flow* dengan tujuan untuk pembacaan nilai kecepatan aliran udara. Untuk nilai keluaran sensor sudah berupa tegangan analog. Bentuk fisik sensor *air flow* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Bentuk Fisik *Sensor Air Flow*

##### f. *Variable Frequency Drive* (VFD)

VFD merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi pada motor. Pengaturan nilai frekuensi ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran motor yang diinginkan. Dalam perancangan ini sangat dibutuhkan perubahan putaran motor induksi 3 fasa, di mana dibutuhkan putaran motor yang fleksibel untuk mengubah kecepatan putaran *propeller*. Gambar 9 merupakan bentuk fisik VFD.



Gambar 9. Bentuk Fisik VFD

**g. Kontrol Logika Fuzzy (KLF)**

Perancangan sistem ini memilih metode KLF karena pada perancangan menggunakan 2 input dan 1 output, yaitu input berupa *crisp error* dan *crisp change error* serta *crisp output*. Adapun nilai *error* dan *change error* dapat dijelaskan kedalam persamaan (1) dan (2) berikut:

$$Error (e) = Sp - fb \quad (1)$$

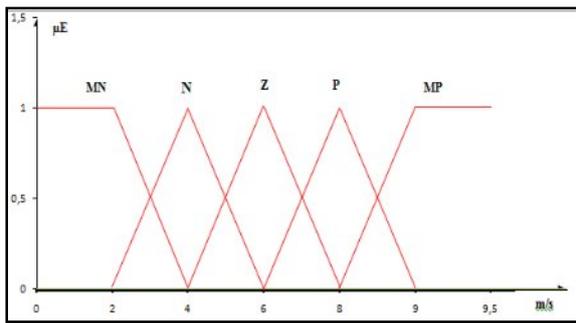
$$Change Error (\Delta) = Error (e) - Error (e-1) \quad (2)$$

dimana:

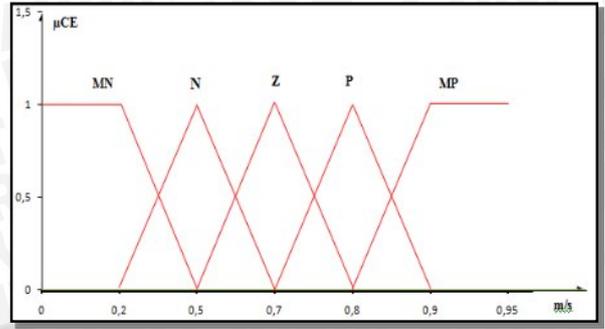
$Sp$  = Setpoint (nilai input atau nilai yang diinginkan)  $fb$  = feedback (nilai pembacaan sensor)

$Error(e)$  = Error pada waktu sekarang  
 $Error(e-1)$  = Error pada waktu sebelumnya

Dari persamaan diatas, didapat fungsi keanggotaan input fuzzy untuk *error* dan *change error*. Berikut fungsi keanggotaan ditampilkan pada Gambar 9 dan 10.

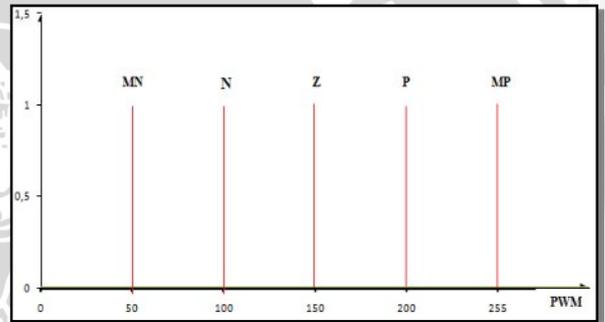


Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Input Error



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Input Change Error

Setelah melalui proses pengelompokan *input craps error*, kemudian didapat fungsi keanggotaan *craps output*. Fungsi keanggotaan keluaran ini merupakan *input* untuk mengubah frekuensi pada motor induksi AC 3 fasa, dengan *input* yaitu berupa nilai PWM dengan hasil perhitungan defuzzifikasi. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *output* dapat dilihat pada gambar 11 dibawah.



Gambar 11. Fungsi Keanggotaan Keluaran PWM

Selanjutnya fungsi *rule* melakukan penalaran menggunakan fuzzy *input* dan fuzzy *rule* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan fuzzy *output* sebagai penentu keluaran. Dari data yang dibuat, terdapat 5 suku fungsi *input* dan memberikan 25 macam *rule*. Berikut hasil ditunjukkan pada Tabel 1.

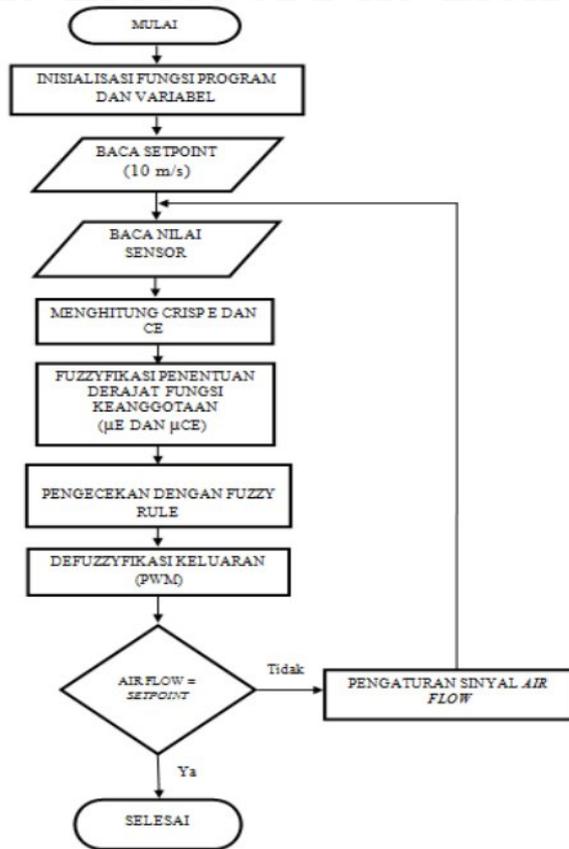
Tabel 1. Fuzzy Rule

		ERROR				
		MN	N	Z	P	MP
CHANGE ERROR	MN	MP	MP	MP	P	Z
	N	MP	MP	P	Z	N
	Z	P	P	Z	N	MN
	P	P	Z	N	MN	MN
	MP	Z	N	MN	MN	MN

**B. Perancangan Perangkat Lunak**

Untuk perancangan perangkat lunak ini menggunakan *software* Arduino Mega2560. Berikut struktur *flowchat* dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah.

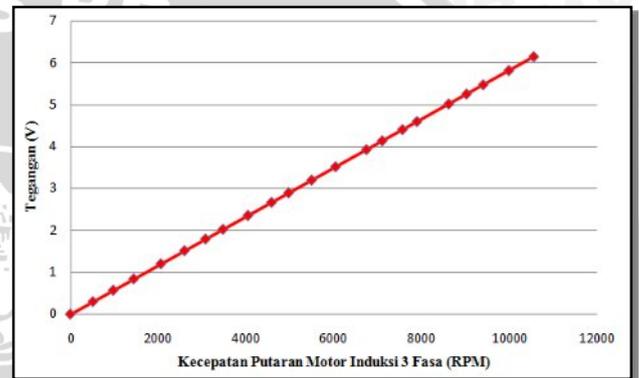




Gambar 12. Flowchart

16	7562	8,82	4,41
17	7891	9,20	4,60
18	8614	10,04	5,02
19	9019	10,52	5,26
20	9398	10,96	5,48
21	9982	11,64	5,82
22	10549	12,30	6,15
23	11040	13,04	6,25

Setelah melakukan pengujian sensor *air flow*, sensor dapat bekerja dengan baik, yaitu bernilai *linear*. Adapun grafik antara kecepatan putaran motor induksi 3 fasa terhadap tegangan keluaran sensor dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Hubungan Kecepatan Putaran Motor dengan Tegangan Keluaran Sensor Air Flow

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

##### A. Pengujian Sensor Air Flow

Pengujian sensor *air flow* ini bersifat *open loop*, artinya tanpa kontroler, berikut data dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Air Flow

No	Kecepatan putaran (rpm)	Kecepatan air flow (m/s)	Tegangan Keluaran (Volt)
1	0	0	0
2	515	0,60	0,30
3	979	1,14	0,57
4	1443	1,68	0,84
5	2063	2,41	1,20
6	2601	3,03	1,52
7	3078	3,59	1,79
8	3476	4,05	2,03
9	4044	4,72	2,36
10	4581	5,34	2,67
11	4970	5,80	2,90
12	5495	6,41	3,20
13	6038	7,04	3,52
14	6742	7,86	3,93
15	7101	8,28	4,14

##### B. Pengujian Respon Aktuator

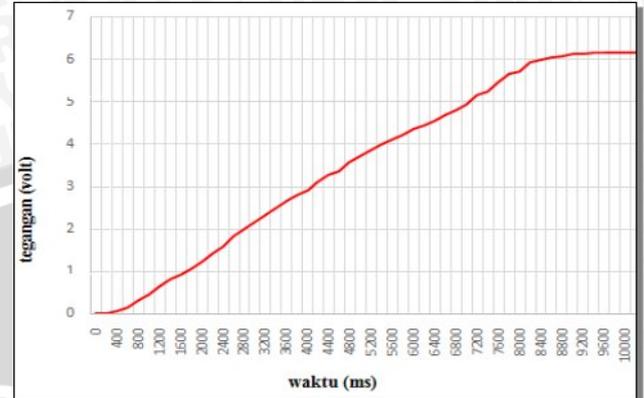
Pengujian ini juga bersifat *open loop*, dilakukan untuk mengetahui apakah motor induksi 3 fasa ini bekerja sesuai fungsinya, yaitu sebagai penggerak *propeller*. Selain itu juga untuk mendapatkan hubungan tegangan keluaran dan waktu. Tabel hubungan tegangan keluaran terhadap waktu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aktuator

t (ms)	V out (volt)
0	0
200	0,001
400	0,05
600	0,15
800	0,31
1000	0,45
1200	0,65
1400	0,8
1600	0,9
1800	1,05

2000	1,23
2200	1,42
2400	1,57
2600	1,82
2800	1,98
3000	2,15
3200	2,32
3400	2,49
3600	2,65
3800	2,79
4000	2,92
4200	3,1
4400	3,28
4600	3,35
4800	3,57
5000	3,72
5200	3,84
5400	3,98
5600	4,1
5800	4,22
6000	4,35
6200	4,42
6400	4,55
6600	4,69
6800	4,78
7000	4,92
7200	5,15
7400	5,23
7600	5,46
7800	5,64
8000	5,71
8200	5,92
8400	5,98
8600	6,04
8800	6,05
9000	6,12
9200	6,13
9400	6,14
9600	6,15
9800	6,15
10000	6,15
10200	6,15
10400	6,15

Berikut grafik keluaran tegangan motor induksi AC 3 fasa terhadap waktu, grafik dapat dilihat pada Gambar 14.

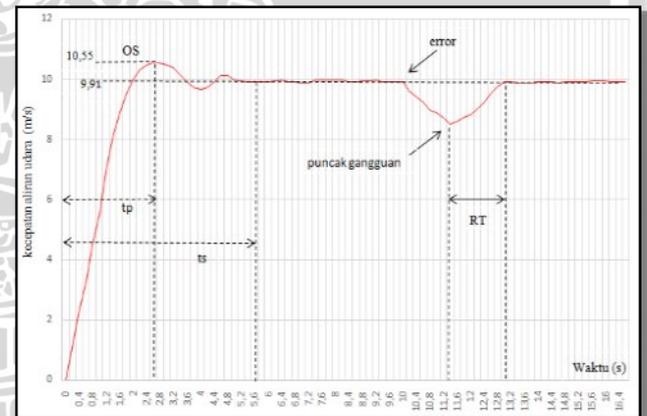


Gambar 14. Grafik Respon Aktuator

### C. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem pada percobaan ini adalah pengujian sistem menggunakan kontroler. Dengan tujuan adalah untuk mengetahui bagaimana respon sistem jika diberi *setpoint*.

Adapun hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian Sistem dengan Setpoint Kecepatan Aliran Udara Sebesar 10 m/s

Dari pengujian keseluruhan sistem, didapat respon sistem sebagai berikut :

1. *Peak Time* terjadi pada detik 2,6
2. *Steady State* terjadi pada detik 5,6
3. *Maximum Overshoot (MO)* sebesar :

$$= \frac{\text{overshoot system} - \text{setpoint}}{\text{setpoint}} \times 100\%$$

$$= 5,5 \%$$

4. *Error Steady State (ESS)* sebesar :

$$= \left| \frac{\text{average speed steady} - \text{setpoint}}{\text{setpoint}} \right| \times 100\%$$

$$= 0,45 \%$$

5. *Recovery Time (RT)* sebesar :  
13.000–11.400 = 1.600 ms

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari keseluruhan pengujian sistem yaitu :

1. Dengan penggunaan metode KLF sebagai kontrol kecepatan aliran udara dan diberi setpoint 10 m/s, sistem memberikan respon Steady State di detik 5,6, Peak Time pada detik 2,6, Maximum Overshoot (MO) 5,5%, Error Steady State (ESS) 0,45% .
2. Perubahan pada aliran udara terjadi karena sistem diberi gangguan yaitu dengan cara menghalangi aliran udara, dan menghasilkan respon *recovery time* (RT) sebesar 1600 ms.

### B. Saran

Dari percobaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan, yaitu :

1. Perlu dilakukan beberapa analisis lebih lanjut dan perubahan pada rancangan *wind tunnel* agar didapatkan performa yang lebih optimal.
2. Dimensi modul seksi uji yang besar dapat dimanfaatkan untuk pengujian benda uji yang berdimensi besar juga.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]Nasa. "*grc*". 1 Mei 2016.  
<http://www.nasa.gov/centers/glenn/home/index.html>
- [2]Arduino. "*Arduino Mega2560 datasheet*". 1 Mei 2016.  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560.shtml>
- [3]Prabowo, Brilliant Adhi, 2009. *Pemodelan Sistem Kontrol Motor DC dengan Temperatur Udara sebagai Pemicu*. Pusat Penelitian Informatika. LIPI.
- [4]Wiki. "*tabung pitot*". 1 Mei 2016.  
[https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung\\_pitot.shtml](https://id.wikipedia.org/wiki/Tabung_pitot.shtml)
- [5]Yan, Jun., Ryan, Michael., Power, James. 1994. *Using Fuzzy Logic*. UK: Prentice Hall International.