

Pirani *Gauge* Inficon BPG400 Sebagai Alat Ukur dan Analisis Tekanan Pompa Vakum Berbasis Logika *Fuzzy*

M. Syafei Gozali^{1*} dan Oki Arista Dianto²
Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: syafei@polibatam.ac.id

Abstract—Vacuum Drying Oven (VDO) is used in soft lens drying process by applying vacuum pressure to soft lens. The vacuum pressure is produced by vacuum pump. Because performance of vacuum pump has a big effect to drying process, so vacuum pump performance need to know to keep in optimum performance (vague). Existing measurement device can only measure vacuum pressure, thus vacuum pump performance is analyzed manually. To solve this problem, research is conducted to existing measurement of Pirani Gauge. Output from Pirani gauge is connected to computer via RS-232 communication to be processed using C# program and *Fuzzy* logic so measurement result of vacuum pressure and vacuum pump performance can be displayed on computer screen. Result of research is vacuum pressure measurement result and vacuum pump performance are displayed on computer screen and define the *Fuzzy* rule that suitable with vacuum pump performance reference that analyzed manually.

Keyword: Pirani Gauge, Vacuum pump, Vacuum pressure, *Fuzzy* Logic

I. PENDAHULUAN

MESIN *Vacuum Drying Oven* (VDO) digunakan untuk proses pengeringan lensa kontak. Mesin VDO bekerja dengan memompa ruangan (*chamber*) yang berisi lensa kontak menggunakan pompa vakum sehingga tercipta kondisi tekanan vakum. Proses pengeringan ini bergantung pada daya hisap pompa vakum, sehingga performa pompa vakum perlu diketahui agar tidak berdampak pada proses pengeringan lensa.

Alat ukur yang ada di pasaran hanya dapat mengukur tekanan vakum namun tidak mampu menganalisis performa pompa. Sehingga proses analisis dilakukan secara manual. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan alat ukur Pirani *Gauge* agar dapat mengukur dan menganalisis

performa pompa vakum. Keluaran dari Pirani *Gauge* dihubungkan ke komputer untuk diolah menggunakan program C# dan logika *Fuzzy*. Hasil pengukuran dan performa pompa ditampilkan pada layar komputer.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Vakum

Kata vakum berasal dari bahasa Latin yaitu *vacuus* yang berarti kosong. Dengan demikian, pengertian vakum adalah keadaan tidak terdapat materi apapun dalam suatu ruang. Namun untuk mencapai keadaan yang benar-benar vakum tidak dapat dilakukan di bumi. Sehingga pengertian vakum yang paling tepat adalah ruang dengan tekanan gas yang lebih sedikit dari tekanan atmosfer [1].

Pada suhu ruangan dan tekanan atmosfer normal, dalam 1 ft³ (0.3 m³) udara terkandung sekitar 7×10^{23} molekul yang bergerak dengan arah acak berkecepatan 1000 mph atau 1600 km/jam. Gas didalam udara tekanan atmosfer dapat dilihat pada Tabel I.

Terdapat beberapa satuan yang digunakan untuk tekanan vakum, salah satu satuan yang umum digunakan di industri adalah Torr. Satuan Torr bukan merupakan satuan standar internasional namun umum digunakan pada sistem vakum. Satuan Torr ditemukan oleh ilmuwan Italia bernama Evangelista Torricelli (penemu prinsip barometer pada tahun 1644). Satu "Torr", digunakan untuk menghormati Torricelli setara dengan

TABEL I
KOMPOSISI UDARA PADA KELEMBAPAN 50 % [1]

	Grade	Percent
N ₂	<i>Nitrogen</i>	78,08
O ₂	<i>Oxigen</i>	20,95
Ar	<i>Argon</i>	0,93
CO ₂	<i>Carbon Dioxida</i>	0,033
Ne	<i>Neon</i>	$1,8 \times 10^{-3}$
He	<i>Helium</i>	$5,24 \times 10^{-4}$
CH ₄	<i>Methane</i>	2×10^{-4}
Kr	<i>Krypton</i>	$1,1 \times 10^{-4}$
H ₂	<i>Hydrogen</i>	5×10^{-5}
N ₂ O	<i>Nitrous Oxide</i>	5×10^{-5}
Xe	<i>Xenon</i>	$8,7 \times 10^{-6}$
H ₂ O	<i>Water</i>	1,57

TABEL II
RENTANG TINGKATAN VAKUM [1]

Vacuum Level	Pressure (Torr)
Atmospheric Pressure	760
Low Vacuum (Rough)	760 to 25
Medium Vacuum (Rough)	25 to 1×10^{-3}
High Vacuum (Hard)	1×10^{-3} to 1×10^{-9}
Ultra-High Vacuum	1×10^{-9} to 1×10^{-12}
Extremely High Vacuum (Deep Space)	$< 1 \times 10^{-12}$
Outer Space (Perfect Vacuum)	1×10^{-6} to $< 3 \times 10^{-17}$

1 mmHg, dimana tekanan 1 atmosfer sama dengan 760 Torr [1].

B. Tingkatan Vakum

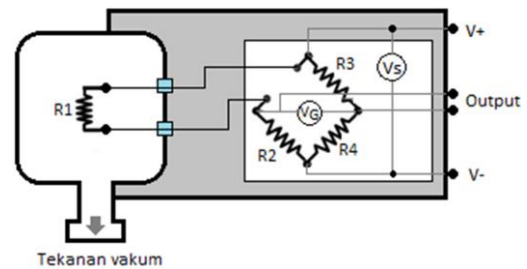
Tekanan vakum umumnya diukur menggunakan satuan Torr. Semakin kecil nilai tekanan maka semakin sempurna kondisi vakum yang dihasilkan. Tingkatan vakum dibagi menjadi beberapa rentang nilai tekanan yang dapat dilihat pada Tabel II.

Adapun penjelasan tingkatan vakum adalah sebagai berikut:

1. *Atmospheric Pressure* adalah tekanan atmosfer yang distandarkan pada nilai 760 Torr.
2. *Low Vacuum* juga disebut *rough vacuum*, merupakan tekanan vakum rendah yang dapat dicapai dengan peralatan sehari-hari seperti *vacuum cleaner*.
3. *Medium Vacuum* merupakan tekanan vakum yang biasanya sudah dapat dicapai menggunakan satu pompa vakum. *Medium vacuum* dapat diukur menggunakan *thermal gauge* atau *capacitance gauge*.
4. *High Vacuum* merupakan tekanan vakum yang dapat dicapai menggunakan beberapa pompa vakum dengan metoda *multi-stage pumping* dan pengukuran tekanan menggunakan *Ion Gauge*.
5. *Ultra-High Vacuum* merupakan tekanan vakum yang biasanya dapat dicapai dengan metoda *pumping* ditambah dengan metoda baking terhadap ruangan yang di vakum.
6. *Deep Space* umumnya memiliki ruang yang jauh lebih kosong dibanding dengan kondisi vakum buatan.
7. *Perfect Vacuum* merupakan kondisi vakum ideal tanpa terdapat materi sama sekali. *Perfect vacuum* tidak dapat dibuat di bumi dan hanya terdapat di ruang angkasa.

C. Pirani Gauge

Pirani Gauge ditemukan pada tahun 1906 oleh Marcello Pirani. Pirani Gauge merupakan sensor tekanan yang bekerja khusus pada tekanan vakum berdasarkan konduktivitas thermal. Pirani Gauge terdiri dari sebuah filamen logam, biasanya berbahan Platinum atau Tungsten yang terhubung dalam sebuah tabung. Tabung tersebut akan dihubungkan dengan sistem vakum untuk diukur besar tekanan. Rangkaian



Gambar 1. Rangkaian sensor pirani gauge

sensor Pirani Gauge dapat dilihat pada Gambar 1.

Perubahan tekanan pada tabung menyebabkan tinggi temperatur di dalam tabung (yg berisi filamen) berubah. Perubahan temperatur ini berpengaruh pada besar hambatan dari filamen. Karena perubahan nilai hambatan filamen yang sangat kecil, maka filamen dihubungkan dengan rangkaian jembatan *wheatstone*. Perubahan nilai tahanan filamen berpengaruh pada nilai tegangan keluaran yang mengindikasikan perubahan tekanan.

Rumus dari jembatan *Wheatstone* ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2):

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad (1)$$

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot V_S \quad (2)$$

Keterangan:

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$: tahanan (Ohm)

V_G : tegangan keluaran (Volt)

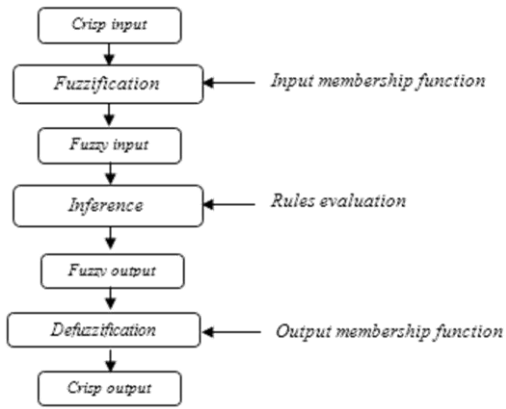
V_S : tegangan masukan (Volt)

Pirani gauge INFICON BPG400 memiliki dua tipe keluaran yaitu berupa tegangan 0 – 10 VDC dan berupa data string yang dikirim melalui koneksi RS-232. Sembilan data string dikirim secara berkesinambungan setiap 20 ms pada data rate sebesar 9600 baud. Adapun format keluaran data string yang dikirim oleh Pirani gauge INFICON BPG400 ditunjukkan pada Tabel III.

Hasil pengukuran tekanan vakum diambil dari data *High Byte* dan *Low Byte* dengan menggunakan persamaan (3):

TABEL III
FORMAT KELUARAN STRING PIRANI GAUGE INFICON BPG400 [2]

Byte No	Function	Value	Comment
0	Length of data string	7	(Set value)
1	Page Number	5	(For BPG400)
2	Status		⇒ Status Byte
3	Error		⇒ Error Byte
4	Measurement High Byte	0 ... 255	⇒ Calculation of pressure value
5	Measurement Low Byte	0 ... 255	⇒ Calculation of pressure value
6	Software Version	0 ... 255	Software version
7	Sensor Type	10	(For BPG400)
8	Check sum	0 ... 255	⇒ Synchronization



Gambar 2. Diagram sistem logika Fuzzy [4]

$$P = 10((\text{high byte} \times 256 + \text{low byte}) / 4000 - 12.625) \quad (3)$$

Keterangan:

- P : nilai tekanan vakum (Torr)
- High byte : nilai high byte Pirani Gauge
- Low byte : nilai low byte Pirani Gauge

D. Fuzzy Logic

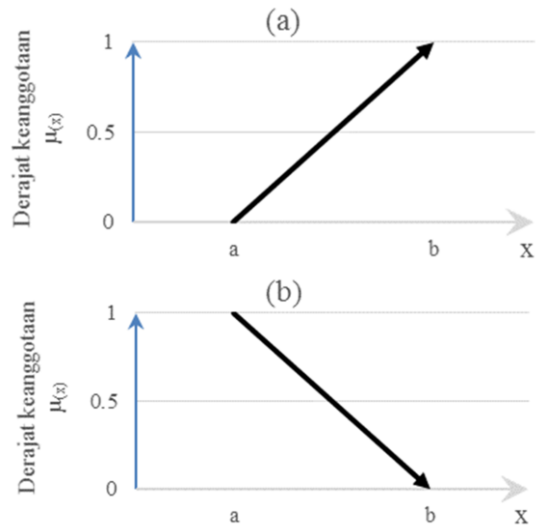
Sebelum muncul logika Fuzzy, terdapat logika tegas (Crisp Logic) yang memiliki dua kondisi pasti yaitu “ya” dan “tidak” atau disebut dengan nilai biner. Angka 0 mendeskripsikan “tidak” dan 1 untuk mendeskripsikan “ya”. Sedangkan pada logika Fuzzy berlaku konsep nilai yang tidak pasti seperti lambat, sedang, cepat, sangat lambat, sangat cepat, dan sebagainya. Sehingga pada logika Fuzzy berlaku nilai antara 0 hingga 1. Suatu nilai pada logika Fuzzy dapat berada pada dua kategori bersamaan, sedangkan pada logika tegas suatu nilai hanya berada pada satu kategori. Sebagai contoh kategori kecepatan, mobil yang melaju dengan kecepatan 70 km/jam dapat dikatakan cepat dan dapat juga dikatakan lambat. Sedangkan apabila menggunakan logika tegas hanya dapat digolongkan pada satu kategori yaitu cepat atau lambat.

Proses logika Fuzzy terdiri dari tiga proses utama, yaitu fuzzification, inference Fuzzy, dan defuzzification. Fuzzification merupakan proses mengubah variabel input dan output ke bentuk himpunan Fuzzy dimana tiap himpunan memiliki derajat keanggotaan tertentu [3]. Diagram dari sistem logika Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 2.

Himpunan Fuzzy merupakan kelompok suatu kategori atau



Gambar 3. Contoh himpunan Fuzzy untuk variabel kecepatan



Gambar 4. (a) Representasi linear naik dan (b) Representasi linear turun

kondisi dari variabel dalam sistem Fuzzy. Contoh Himpunan Fuzzy untuk variable kecepatan dapat dilihat pada Gambar 3.

Fungsi keanggotaan merupakan suatu derajat atau nilai dari variabel dengan interval antara 0 hingga 1. Adapun nilai derajat variabel yang berbentuk garis lurus disebut representasi linear. Terdapat dua kondisi garis lurus yaitu garis yang mengarah naik dari 0 ke 1 (linear naik) dan garis yang mengarah dari 1 ke 0 (linear turun). Bentuk dari representasi linear naik dan representasi linear turun ditunjukkan pada Gambar 4.

Cara menentukan nilai variabel titik x yang berada diantara nilai a dan b sebagai representasi linear naik dapat menggunakan rumus (4). Sedangkan cara mencari nilai variabel titik x sebagai representasi linear turun dapat menggunakan rumus (5).

$$\mu_{(x)\text{naik}} = \frac{x-a}{b-a} \quad (4)$$

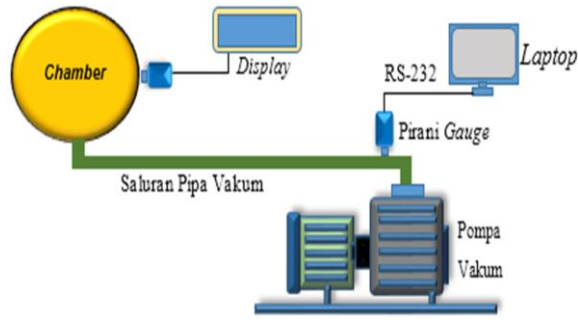
$$\mu_{(x)\text{turun}} = \frac{b-x}{b-a} \quad (5)$$

Keterangan:

- $\mu_{(x)\text{naik}}$: nilai keanggotaan x pada representasi linear naik
- $\mu_{(x)\text{turun}}$: nilai keanggotaan x pada representasi linear turun
- a : nilai x pada $\mu_{(x)} = 0$
- b : nilai x pada $\mu_{(x)} = 1$

Sistem Inference Fuzzy merupakan metode pengambilan kesimpulan dari aturan yang telah ditetapkan. Salah satu metode dari inference Fuzzy adalah metode Mamdani yang juga sering dikenal dengan metode Max-Min. Tahapan proses inference Fuzzy untuk metode Mamdani adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan himpunan Fuzzy baik untuk variabel input maupun variabel output.
2. Menghitung derajat keanggotaan kedua input berdasarkan himpunan Fuzzy.



Gambar 5. Diagram blok pengembangan alat ukur

- Melakukan fungsi implikasi menggunakan operator AND. Persamaan untuk operator AND ditunjukkan pada persamaan (6).

$$\mu A \cap B = \min(\mu A_{(x)}, \mu B_{(y)}) \quad (6)$$

- Defuzzifikasi atau penegasan yaitu pengambilan *output* dari komposisi yang diperoleh dari aturan *Fuzzy*. Salah satu metode defuzzifikasi mamdani adalah metode *Centroid*. Adapun persamaan metode *centroid* ditunjukkan pada rumus (7).

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (7)$$

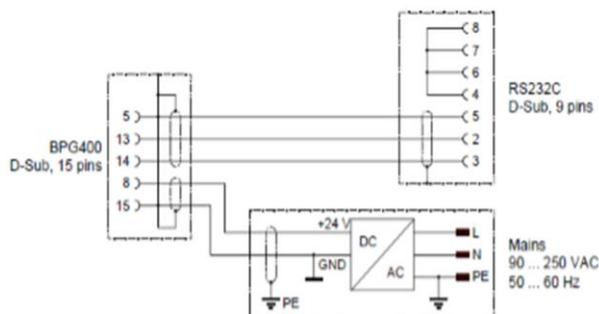
Keterangan :

- z^* : output defuzzifikasi
- z : nilai keanggotaan himpunan keanggotaan *output*
- $\mu(z_j)$: hasil operator AND himpunan keanggotaan *input*

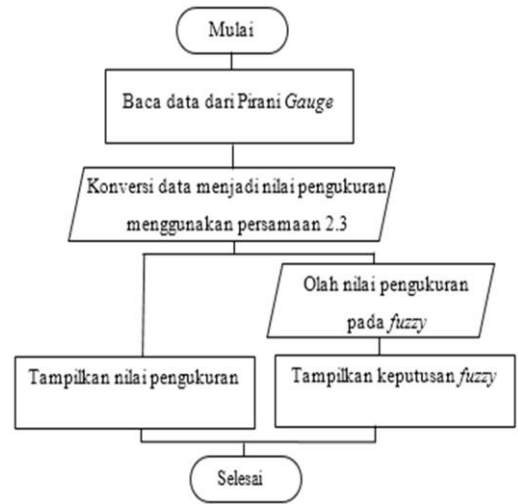
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Rancangan Sistem

Penelitian dilakukan dengan cara mengembangkan Pirani Gauge INFICON BPG400, yaitu menghubungkan data keluaran Pirani Gauge dengan perangkat komputer untuk diolah. Sehingga hasil pengukuran tekanan dan hasil analisis performa pompa dapat ditampilkan pada layar komputer. Peralatan yang digunakan adalah Pirani gauge INFICON BPG400, Power Supply Mean Well S-50GD, koneksi kabel RS-232, dan komputer. Skema dari penelitian ditunjukkan pada



Gambar 6. Wiring diagram [2]



Gambar 7. Diagram alir perangkat lunak

Gambar 5. Adapun *wiring* diagram koneksi kabel RS-232 untuk menghubungkan Pirani Gauge dengan komputer dan *power supply* dapat dilihat pada Gambar 6.

Rancangan perangkat lunak dibuat program menggunakan program C#. Adapun diagram alir dari rancangan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 7.

B. Acuan Performa Pompa

Adapun performa pompa yang dijadikan acuan di lapangan ditunjukkan pada Tabel IV.

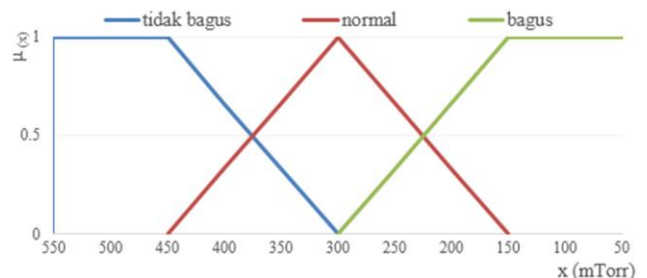
IV. ATURAN FUZZY

Tiga aturan *Fuzzy* yang digunakan untuk proses analisis pompa vakum adalah sebagai berikut:

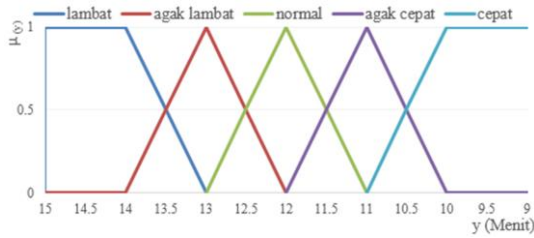
- Aturan *Fuzzy* Model 1
 - Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel “Tekanan Vakum”. Himpunan keanggotaan *input* tekanan vakum model 1 dapat dilihat pada Gambar 8.
 - Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel “Waktu” (Gambar 9).

TABEL IV
ACUAN PERFORMA POMPA DI LAPANGAN

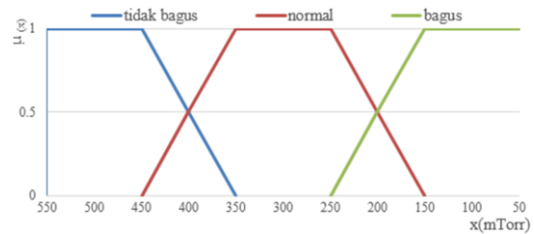
Menit ke-	BAD	GOOD	EXCELLENT
3:00	< 150 T	< 50 T	< 20 T
6:00	< 100 T	< 20 T	< 1 T
9:00	< 10 T	< 750 mT	< 300 mT
12:00	< 1 T	< 500 mT	< 100 mT
15:00	< 750 mT	< 300 mT	< 10 mT



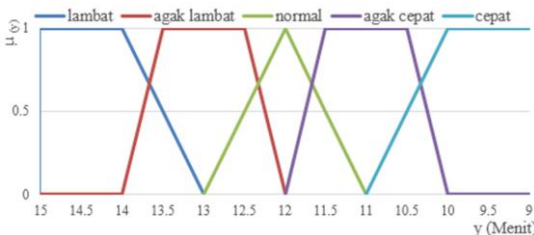
Gambar 8. Himpunan keanggotaan *input* tekanan vakum model 1



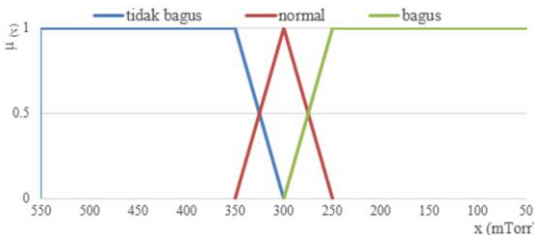
Gambar 9. Himpunan keanggotaan *input* “waktu” model 1



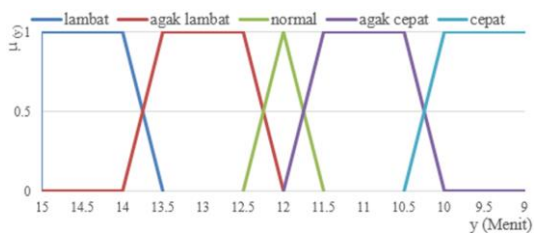
Gambar 10. Himpunan keanggotaan *input* tekanan vakum model 2



Gambar 11. Himpunan keanggotaan *input* “waktu” model 2



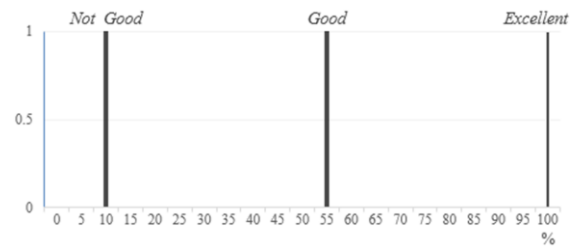
Gambar 12. Himpunan keanggotaan *input* tekanan vakum model 3



Gambar 13. Himpunan keanggotaan *input* “waktu” model 3

2. Aturan *Fuzzy* Model 2

- a. Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel Tekanan Vakum (Gambar 10).
- b. Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel “Waktu” (Gambar 11).



Gambar 14. Himpunan keanggotaan *output* “Kondisi Pompa Vakum”

TABEL V
ATURAN *FUZZY*

Waktu	Tekanan Pompa Vakum		
	Tidak Bagus	Normal	Bagus
Lambat	Not Good	Not Good	Good
Agak Lambat	Not Good	Good	Good
Normal	Not Good	Good	Excellent
Agak Cepat	Not Good	Good	Excellent
Cepat	Good	Excellent	Excellent

3. Aturan *Fuzzy* Model 3

- a. Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel “Tekanan Vakum” (Gambar 12).
- b. Himpunan Keanggotaan *Input* untuk variabel “Waktu” (Gambar 13).

Perbedaan ketiga model *Fuzzy* yang dibuat adalah nilai titik puncak digeser sedemikian rupa. Sehingga nilai dan bentuk fungsi keanggotaan berbeda satu sama lain.

4. Nilai Output Aturan *Fuzzy*

Himpunan keanggotaan *output* untuk variabel “Kondisi Pompa Vakum” yang digunakan ketiga model *Fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 14.

5. Evaluasi Aturan

Aturan *Fuzzy* yang digunakan untuk ketiga model *Fuzzy* ditunjukkan pada Tabel V.

V. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengukuran Tekanan Vakum

Uji peralatan dilakukan dengan mengukur tekanan vakum pada 3 pompa yang berbeda. Hasil pengukuran setiap pompa dapat dilihat pada Tabel VI, Tabel VII, dan Tabel VIII.

Berdasarkan data hasil pengukuran tekanan vakum pada ketiga pompa yang ditunjukkan pada Tabel VI, Tabel VII, dan Tabel VIII dapat ditampilkan grafik hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 15.

Berdasarkan data hasil pengukuran ketiga pompa dapat diketahui bahwa akurasi tertinggi dari pengukuran tekanan vakum berada pada nilai 99.34% dan akurasi terendah berada pada nilai 86.91%. Hasil pengukuran ketiga pompa vakum digabungkan dan diurutkan berdasarkan nilai tekanan tertinggi hingga nilai tekanan terendah. Rentang pengukuran ini sebagai acuan pembuatan alat agar menghasilkan kestabilan akurasi di atas 95%. Gambar 16 merupakan bentuk grafik dari data pengukuran yang telah diurutkan dan letak rentang pengukuran yang memiliki nilai akurasi di atas 95%.

TABEL VI
HASIL PENGUKURAN PADA POMPA 1

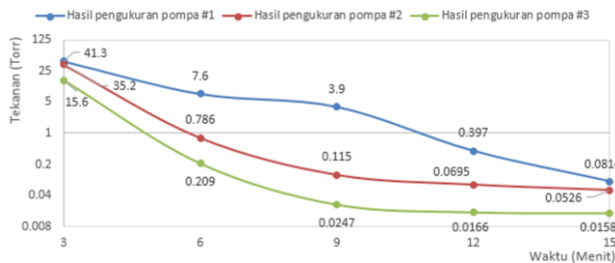
Menit ke-	Nilai tekanan pada <i>display</i> mesin (Torr)	Nilai Tekanan pada komputer (Torr)	Error (Torr)	Akurasi (%)
3	40,5	$4,13 \times 10^1$	5,9	87,50
6	7,55	$7,6 \times 10^0$	-0,05	99,34
9	3,85	$3,9 \times 10^0$	-0,05	98,70
12	$3,85 \times 10^{-1}$	$3,97 \times 10^{-1}$	-0,012	96,88
15	$7,95 \times 10^{-2}$	$8,14 \times 10^{-2}$	-0,0019	97,61

TABEL VII
HASIL PENGUKURAN PADA POMPA 2

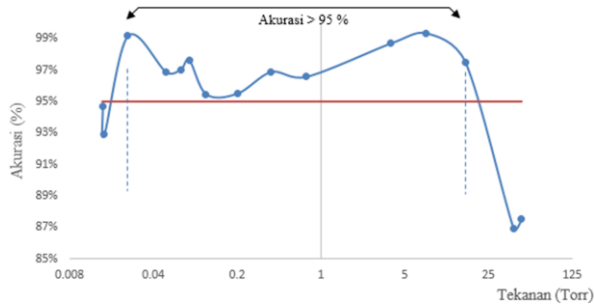
Menit ke-	Nilai tekanan pada <i>display</i> mesin (Torr)	Nilai Tekanan pada komputer (Torr)	Error (Torr)	Akurasi (%)
3	40,5	$3,52 \times 10^1$	5,3	86,91
6	$7,60 \times 10^{-1}$	$7,86 \times 10^{-1}$	-0,026	96,58
9	$1,10 \times 10^{-1}$	$1,15 \times 10^{-1}$	-0,005	95,45
12	$6,75 \times 10^{-2}$	$6,95 \times 10^{-2}$	-0,002	97,04
15	$5,10 \times 10^{-2}$	$5,26 \times 10^{-2}$	-0,0016	96,86

TABEL VIII
HASIL PENGUKURAN PADA POMPA 3

Menit ke-	Nilai tekanan pada <i>display</i> mesin (Torr)	Nilai Tekanan pada komputer (Torr)	Error (Torr)	Akurasi (%)
3	16	$1,56 \times 10^1$	0,4	97,5
6	2×10^{-1}	$2,09 \times 10^{-1}$	-0,009	95,5
9	$2,45 \times 10^{-2}$	$2,47 \times 10^{-2}$	-0,0002	99,18
12	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,16 \times 10^{-2}$	-0,00110	92,9
15	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$	-0,0008	94,67



Gambar 15. Pengukuran Tekanan Vakum



Gambar 16. Grafik Rentang Pengukuran dengan Akurasi > 95 %

Berdasarkan grafik pada Gambar 16 dipaparkan bahwa tingkat akurasi pengukuran berada di atas 95% ketika pengukuran tekanan antara 20 Torr hingga 0.020 Torr.

TABEL IX
HASIL ANALISIS PERFORMA POMPA ATURAN FUZZY 1

Pompa	Menit	Nilai Tekanan (Torr)	Hasil Analisis Fuzzy 1		Acuan Kondisi Pompa di Lapangan
			Bobot (%)	Kondisi Pompa	
Pompa 1	3	$4,13 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,6 \times 10^0$	55	Good	Good
	9	$3,9 \times 10^0$	55	Good	Good
	12	$3,97 \times 10^{-1}$	25,91	Good	Not Good
	15	$8,14 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 2	3	$3,52 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,86 \times 10^{-1}$	55	Good	Good
	9	$1,15 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	12	$6,95 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$5,26 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 3	3	$1,56 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$2,09 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	9	$2,47 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	12	$1,66 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$1,58 \times 10^{-2}$	55	Good	Good

TABEL X
HASIL ANALISIS PERFORMA POMPA ATURAN FUZZY 2

Pompa	Menit	Nilai Tekanan (Torr)	Hasil Analisis Fuzzy I		Acuan Kondisi Pompa di Lapangan
			Bobot (%)	Kondisi Pompa	
Pompa 1	3	$4,13 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,6 \times 10^0$	55	Good	Good
	9	$3,9 \times 10^0$	55	Good	Good
	12	$3,97 \times 10^{-1}$	33,87	Good	Not Good
	15	$8,14 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 2	3	$3,52 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,86 \times 10^{-1}$	55	Good	Good
	9	$1,15 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	12	$6,95 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$5,26 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 3	3	$3,52 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,86 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	9	$1,15 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	12	$6,95 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$5,26 \times 10^{-2}$	55	Good	Good

B. Hasil Pengujian Logika Fuzzy

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel IX, Tabel X, dan Tabel XI sebagian besar keputusan dari ketiga aturan Fuzzy adalah sama, sehingga dapat dikatakan ketiga aturan Fuzzy tersebut adalah sejenis. Namun aturan Fuzzy yang cukup sesuai dengan hasil analisis di lapangan adalah aturan Fuzzy 3. Karena performa pompa sudah mulai menurun (*No Good*) pada menit ke-12 dan kurang dari 300 mTorr, walaupun pada menit ke-15 tekanan pompa melebihi 300 mTorr dan di bawah 500 mTorr.

TABEL XI
HASIL ANALISIS PERFORMA POMPA ATURAN *FUZZY* 3

Pompa	Menit	Nilai Tekanan (Torr)	Hasil Analisis <i>Fuzzy</i> I		Acuan Kondisi Pompa di Lapangan
			Bobot (%)	Kondisi Pompa	
Pompa 1	3	$4,13 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,6 \times 10^0$	55	Good	Good
	9	$3,9 \times 10^0$	55	Good	Good
	12	$3,97 \times 10^{-1}$	10	Good	Not Good
	15	$8,14 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 2	3	$3,52 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,86 \times 10^{-1}$	55	Good	Good
	9	$1,15 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	12	$6,95 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$5,26 \times 10^{-2}$	55	Good	Good
Pompa 3	3	$3,52 \times 10^1$	55	Good	Good
	6	$7,86 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	9	$1,15 \times 10^{-1}$	100	Excellent	Excellent
	12	$6,95 \times 10^{-2}$	100	Excellent	Excellent
	15	$5,26 \times 10^{-2}$	55	Good	Good

VI. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Keluaran dari Pirani *Gauge* BPG400 dapat dihubungkan pada komputer sehingga hasil pengukuran dapat ditampilkan pada layar komputer.
2. Data pengukuran pada komputer dapat diolah menggunakan logika *Fuzzy* sehingga performa pompa vakum dapat dianalisa secara langsung bersamaan dengan pengukuran tekanan pompa.
3. Nilai akurasi pengukuran Pirani *Gauge* pada layar komputer mencapai kestabilan di atas 95 % pada rentang pengukuran antara 20 Torr hingga 0.020 Torr.
4. Aturan *Fuzzy* yang cukup sesuai dengan acuan kondisi pompa di lapangan adalah aturan *Fuzzy* 3.

REFERENSI

- [1] Fradette, R. J., "Understanding Vacuum and Vacuum Measurement", Solar Manufacturing, Inc., 2016.
- [2] "Alpert Pirani Gauge BPG400 BPG400-SD BPG400-SP (Operating Manual)", Inficon, 2004.
- [3] Sumantri K.R. ST. MT.¹, Eko Rudiawan ST.², Wahyu Wibowo³, "Plant Integrity Monitoring Menggunakan Ultrasonic Dengan Metode *Fuzzy* Decision Support Berbasis Wireless", pp. 4.
- [4] Risandriya, S. K., et al., "Plant Integrity Monitoring Menggunakan Ultrasonic Dengan Metode *Fuzzy* Decision Support Berbasis Wireless", Jurnal Integrasi, vol. 7(1), pp. 1-11, 2015.