

PERANCANGAN KENDALI VALVE UNTUK LAJU ALIRAN GAS HIDROGEN DAN OKSIGEN BERBASIS MIKROKONTROLER

Isroni Mahfud Widiyantoro^{*)}, Sudjadi dan Darjat

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ronv.mfd@gmail.com

Abstrak

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) adalah salah satu jenis sel yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses oksidasi bahan bakarnya. Penelitian tentang SOFC semakin berkembang dengan kebanyakan bahasan utamanya adalah simulator pengendalian laju aliran gas bahan bakar. Mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan dan guna merealisasikan simulator agar dapat diaplikasikan ke dunia nyata, pada penelitian ini dirancang sebuah purwarupa alat uji sistem SOFC dengan fokus pada parameter pengendalian valve untuk mengatur besar aliran bahan bakar yang akan digunakan. Purwarupa dirancang menggunakan sensor hidrogen MQ-8, sensor aliran Omron D6F-05N2-000 dan valve yang disambung dengan motor servo. Kontroler dirancang dengan menggunakan metode kontrol open loop dan on-off. Hasil pengujian pada masukan bahan bakar sebesar 1; 2; 3; 4; dan 5 liter per menit, purwarupa mampu mengatur besar aliran secara bertahap. Aliran minimal dan maksimal pada sistem oksigen masing-masing 0,24 dan 4,89 L/min, sedangkan pada sistem hidrogen sebesar 0,06 dan 4,74 L/min.

Kata kunci: Solid oxide fuel cell, D6F-05N2-000, motor servo, valve

Abstract

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) one kind of cell that converts chemical energy to electrical energy through oxidation process of its fuel. The research of SOFC is still growing with most of them are focused at the fuel flow control simulation. Based on previous research and to realize the simulators so that it can be used in real life, this research has designed a SOFC Testdrive System that focused mainly on valve control to set the fuel flow usage amount. This prototype designed with MQ-8 hydrogen sensor, Omron D6F-05N2-000 flow sensor and coupled servo motor- valve. Controller is designed with open loop and on-off method. The obtained test result with 1; 2; 3; 4; and 5 L/min maximum fuel input, this prototype can control the fuel flow gradually. The minimum and maximum flow rate at the oxygen system are 0,24 and 4,89 L/min respectively, while at the hydrogen system are 0,06 and 4,74 L/min respectively.

Keywords: Solid oxide fuel cell, D6F-05N2-000, servo motor, valve

1. Pendahuluan

Kehidupan manusia tidak terpisahkan dari energi terutama energi listrik sejak ditemukan pada abad ke-20. Adanya energi listrik sangat memudahkan aktivitas sehari-hari umat manusia. Hampir seluruh aspek kehidupan manusia membutuhkan energi listrik di era globalisasi sekarang agar dapat berjalan dengan optimal. Eksploitasi sumber daya alam terus dilakukan demi memenuhi kebutuhan yang terus meningkat tiap tahun. Namun, kebanyakan sumber daya alam tersebut tidak dapat diperbaharui seperti batubara dan minyak bumi. Selain itu, bahan bakar fosil tersebut menghasilkan efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global [1].

Pada abad ke-21 ini, kesadaran manusia dalam menjaga alam beserta sumber dayanya semakin meningkat. Berbagai penelitian dilakukan untuk menemukan sumber daya alam yang dapat diperbaharui atau green energy

(energi hijau). Satu dari sekian banyak penelitian mengenai energi hijau adalah Solid Oxide Fuel Cell (SOFC). Pada perangkat SOFC yang berbasis material keramik tersebut terjadi perubahan energi elektrokimia gas hidrogen menjadi listrik, dengan produk hasil buangan berupa panas dan uap air. Komponen utama SOFC adalah katoda, elektrolit, dan anoda yang dibuat dari material keramik dan dioperasikan pada suhu 500-1000°C [2]. Oksigen dialirkan pada bagian katoda SOFC dan hidrogen (H₂) dialirkan pada anoda. Elektrolit yang digunakan untuk SOFC adalah material keramik Zirkonium Oksida atau Kalsium Oksida. Gas hidrogen tidak akan bercampur langsung dengan oksigen dengan adanya elektrolit. Ketika anoda dan katoda dihubungkan dengan konduktor listrik, akan terjadi reaksi kimia yang mengalirkan elektron dari anoda ke katoda. Air (H₂O) akan terbentuk karena elektron yang mengalir ke katoda bereaksi dengan ion positif dan oksigen pada sisi katoda [3].

Bahasan utama yang paling banyak diteliti mengenai SOFC adalah pengendalian laju aliran gas H₂ dan O₂ harus sesuai untuk menghasilkan tegangan keluaran yang optimal. Apabila laju aliran tidak sesuai dapat mengakibatkan tekanan kedua gas tidak sesuai dengan batas aman yang ada, yaitu sebesar 4 Kpa. Sehingga dirancang kontroler yang dapat mengatur laju aliran gas H₂ dan O₂ yang masuk ke dalam sel bahan bakar. Perancangan kontroler ini diharapkan mampu menghasilkan tegangan keluaran yang optimal dengan laju aliran dan tekanan H₂ dan O₂ sesuai dengan batasan yang ada [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Li Sun [5], Edwin [6], dan Andra [4] adalah berupa sistem simulator SOFC agar dapat melihat karakteristik kontroler laju aliran H₂ dan O₂ pada SOFC tanpa adanya resiko dampak kesalahan apabila kontroler belum berhasil bekerja. Mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan dan guna merealisasikan simulator agar dapat diaplikasikan di dunia nyata, maka pada penelitian ini akan dirancang purwarupa alat uji sistem SOFC dengan fokus pada parameter pengendalian valve sebagai dasar untuk menuju pemanfaatan energi hijau SOFC yang optimal. Pengendalian valve ini dilakukan dengan metode kontrol open loop dan on-off. Sensor tekanan dan aliran digunakan untuk melakukan pengukuran pengaruh dari pengendalian valve, dan sensor konsentrasi hidrogen digunakan sebagai acuan kontrol on-off.

2. Metode

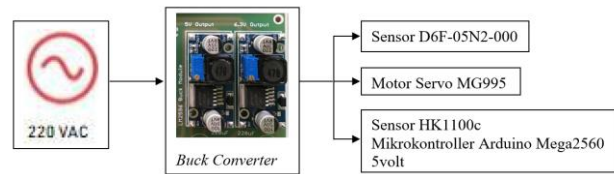
Perancangan penelitian ini terdiri atas dua bagian, yaitu: perancangan perangkat keras (hardware) dan perancangan perangkat lunak (software). Perancangan perangkat keras meliputi rancangan perangkat keras keseluruhan sistem, rancangan catu daya, rancangan motor servo MG995, rancangan sensor tekanan HK1100c, rancangan sensor aliran D6F-05N2-000, rancangan sensor hidrogen MQ-8, dan rancangan mikrokontroler Arduino Mega2560. Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan perangkat lunak sistem pengontrolan servo untuk mengatur bukaan valve.

2.1. Perancangan Perangkat Keras

2.1.1. Catu Daya

Pada perancangan catu daya ini digunakan 1 sumber tegangan AC 220 volt dengan 1 buah power supply 12 volt, 1 buah modul buck converter 7 volt, dan 1 buah modul buck converter 5 volt. Power supply 12 volt menghasilkan tegangan 12 VDC, modul buck converter 6.3 volt menghasilkan tegangan 7 VDC, dan modul buck converter 5 volt menghasilkan tegangan 5 VDC. Tegangan 12 volt digunakan untuk mensuplai sensor D6F-05N2-000. Tegangan 7 volt digunakan untuk mensuplai motor servo. Tegangan 5 volt digunakan untuk mensuplai mikrokontroler Arduino Mega2560, sensor HK1100c, dan

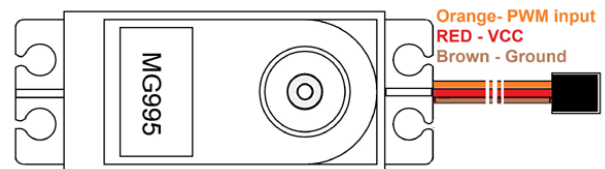
LCD. Rangkaian catu daya sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian catu daya sistem

2.1.1. Perancangan Motor Servo

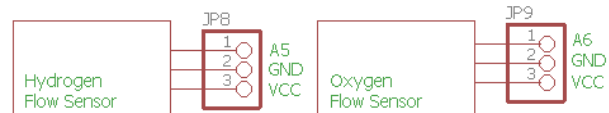
Motor Servo berfungsi untuk mengatur bukaan valve. Servo MG995 memerlukan supply 4.8-7.2 volt [7] dari buck converter. Kabel sinyal dihubungkan ke pin 7 dan 6 pada mikrokontroler untuk mengirimkan sinyal pwm sebagai pengatur putaran servo. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi pin servo MG995. Servo akan bekerja sesuai dengan nilai PWM yang dikirimkan dari perangkat lunak.



Gambar 2. Konfigurasi pin servo MG995 [7]

2.1.2. Perancangan Sensor D6F-05N2-000

Sensor D6F-05N2-000 berfungsi untuk mengukur aliran gas. Sensor D6F-05N2-000 memiliki 3 buah pin yaitu VCC, VOUT, dan GND. Pin VCC sensor D6F-05N2-000 dihubungkan dengan sumber tegangan 12 volt. Pin GND sensor D6F-05N2-000 dihubungkan dengan ground. Pin VOUT sensor D6F-05N2-000 dihubungkan dengan pin A.6 untuk aliran oksigen dan A.5 untuk aliran hidrogen pada mikrokontroler Arduino Mega2560. Rangkaian hasil perancangan sensor D6F-05N2-000 dapat dilihat pada Gambar 3.

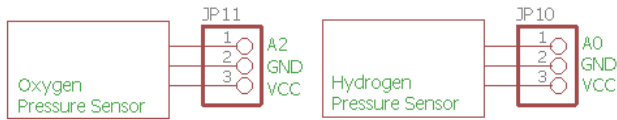


Gambar 3. Rangkaian skematik perancangan sensor D6F-05N2-000

2.1.3. Perancangan Sensor HK1100c

Sensor HK1100c berfungsi untuk mengukur tekanan gas. Sensor HK1100c memiliki 3 buah pin yaitu VCC, VOUT, dan GND. Pin VCC sensor HK1100c dihubungkan dengan sumber tegangan 5 volt. Pin GND sensor HK1100c

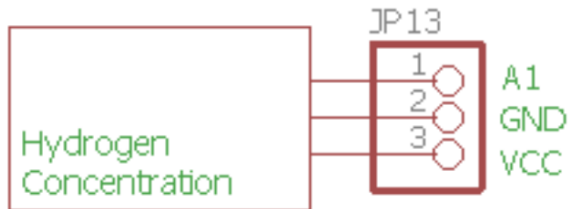
dihubungkan dengan ground. Pin VOUT sensor HK1100c dihubungkan dengan pin A.0 untuk tekanan oksigen dan A.2 untuk tekanan hidrogen pada mikrokontroler Arduino Mega2560. Rangkaian hasil perancangan sensor HK1100c dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian skematik perancangan sensor HK1100c

2.1.4. Perancangan Sensor MQ-8

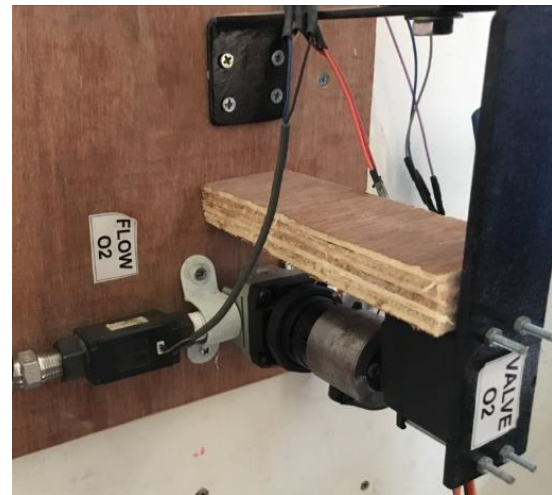
Sensor MQ-8 berfungsi untuk mengukur kadar gas hidrogen dalam ruangan. Sensor MQ-8 memiliki 3 buah pin yaitu VCC, VOUT, dan GND. Pin VCC sensor MQ-8 dihubungkan dengan sumber tegangan 5 volt. Pin GND sensor MQ-8 dihubungkan dengan *ground*. Pin VOUT sensor MQ-8 dihubungkan dengan pin A.1 pada mikrokontroler Arduino Mega2560. Rangkaian hasil perancangan sensor MQ-8 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian skematik perancangan sensor MQ-8

2.1.5. Perancangan Mekanik Pemutar Valve

Mekanik pemutar valve digunakan sebagai penopang valve agar dapat bekerja sesuai yang dikehendaki. Terdiri dari tiap pemegang knop dan pemegang knop. Tiang pemegang knop dengan lebar 4 cm berfungsi sebagai penopang yang dapat diatur ketinggiannya sesuai dengan ketinggian dari valve sehingga dapat lebih mudah dalam penggunaannya. Maksimal tinggi yang dapat ditampung dari mekanisme ini adalah 12 cm. Pemegang knop memiliki peran penting untuk memutar valve. Pada Gambar 6 menunjukkan tampilan mekanik pemutar valve.



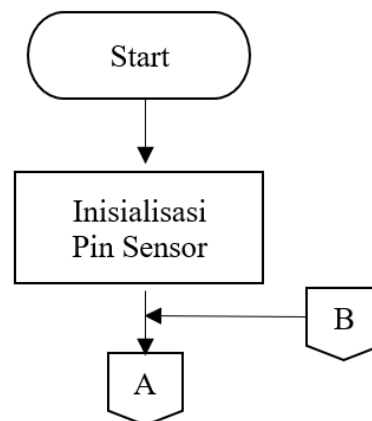
Gambar 6. Mekanik pemutar valve

2.2. Perancangan Algoritma Sistem

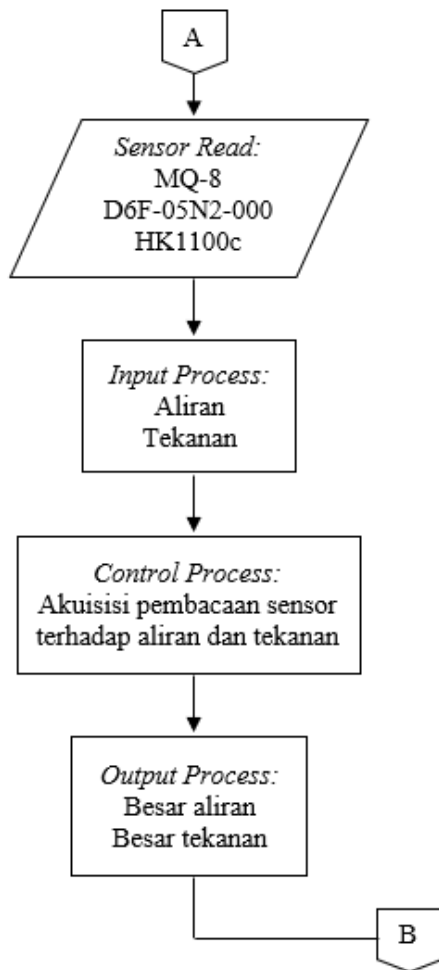
2.2.1. Algoritma Pembacaan Sensor

Pada bagian ini terdiri dari algoritma dan diagram alir pembacaan sensor ditunjukkan pada Gambar 7. Algoritmanya adalah sebagai berikut :

1. Mulai.
2. Inisialisasi pin sensor MQ-8, D6F-05N2-000, dan HK1100c.
3. Hasil pembacaan kadar gas, aliran, dan tekanan ditampilkan pada HMI.
4. Sistem kembali melakukan loop setelah tahap 1-3 selesai dilakukan.



Gambar 7. Diagram alir pembacaan sensor D6F-05N2-000, HK1100c, dan MQ-8



Gambar 7. (lanjutan)

Pembacaan sensor MQ-8, D6F dan HK1100c dimulai dengan pembacaan ADC pada umumnya. Keluaran dari masing-masing sensor berupa tegangan dengan rentang 2.5-4 Volt untuk sensor MQ-8, 1-5 Volt untuk sensor D6F, dan 0.5-4.5 Volt untuk sensor HK1100c. Maka dari itu perlu dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan nilai aktual. Untuk sensor D6F, berdasarkan datasheet [8] rumusnya adalah

$$Flow = 0.2056(x^3) - (1.5027 x^2) + (3.873 x) - 2.5787 \quad (1)$$

Dengan x adalah nilai pembacaan ADC 5 Volt. Untuk sensor HK100c, berdasarkan datasheet [9] rumusnya adalah

$$Pressure = (300x) - 150 \quad (2)$$

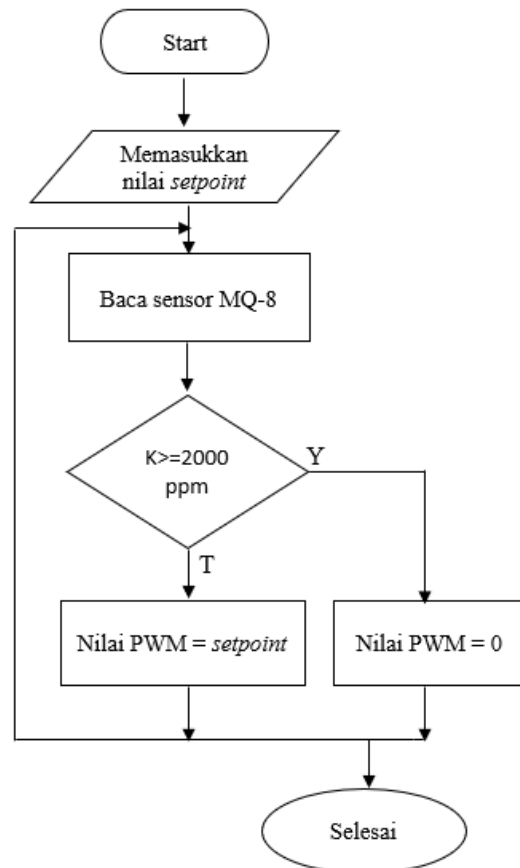
Dengan x adalah nilai pembacaan ADC 5 Volt. Untuk sensor MQ-8, berdasarkan datasheet [10] digunakan kurva sensitivitas sesuai yang ada dalam datasheet.

2.2.2. Algoritma Penggerakkan Servo

Pada bagian ini terdiri dari algoritma dan diagram alir penggerakkan servo yang ditunjukkan pada Gambar 8. Algoritmanya adalah sebagai berikut:

1. Mulai.
2. Memasukkan nilai setpoint pada HMI.
3. Membandingkan nilai konsentrasi gas hidrogen yang terbaca oleh sensor MQ-8 dengan konsentrasi yang telah diatur.
4. Apabila konsentrasi kurang dari *setpoint* maka nilai PWM sesuai dengan *setpoint* HMI. Sistem kemudian akan mengalami *loop* ke tahap c dan kembali membaca sensor MQ-8.
5. Apabila konsentrasi lebih dari atau sama dengan *setpoint* maka nilai PWM = 0. Sistem kemudian akan mengalami *loop* ke tahap c dan kembali membaca sensor MQ-8.
6. Selesai

Algoritma penggerakkan servo dimulai saat memasukkan nilai setpoint pada HMI, kemudian mengirim nilai PWM ke mikrokontroler. Nilai PWM yang diberikan untuk mengatur servo akan memutar valve agar membuka atau menutup.



Gambar 8. Diagram alir penggerakkan servo

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1. Program Penggerakkan Servo

Pemrograman penggerakkan servo untuk penerimaan data masukkan nilai setpoint melalui data melalui komunikasi serial USB dari program HMI adalah sebagai berikut:

```
void Read_Serial(){
if (Serial.available() > 0){
char a = Serial.read();
if (a == 'H'){
Serial.read();
valueH2 = Serial.parseFloat();
}
if (a == 'O'){
Serial.read();
valueO2 = Serial.parseFloat();
}
}
}

void Concentration_Hydrogen(){
Hydrogen_Concentration =
MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_H2)
;//dalam ppm.
if (Hydrogen_Concentration >= 2000){
valueH2 = 0;
valueO2 = 0;
}
}
```

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pada penelitian ini meliputi pengujian akuisisi data sensor dan penggerakkan valve menggunakan motor servo.

3.1. Pengujian Sensor HK1100C

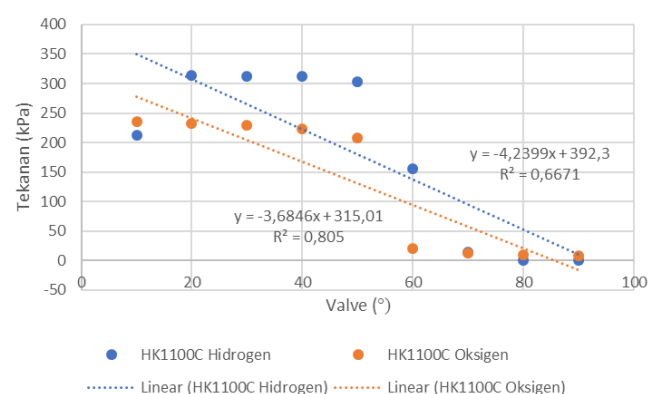
Pengujian sensor dilakukan dengan masukan berupa gas pada tangki argon dan hidrogen dengan variasi bukaan valve 10 hingga 90. Pengujian dilakukan pada sistem hidrogen dan sistem oksigen. Hasil pengujian sensor HK1100c ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Perbandingan pembacaan sensor tekanan pada sistem hidrogen dan oksigen

No	Bukaan Valve	Tekanan (KPa)	
		HK1100c Argon	HK1100c Oksigen
1	1	500	518,62
2	2	400	413,05
3	3	300	301,61
4	4	200	188,71
5	5	100	99,27
6	6	154,82	20,25
7	7	14,53	12,26
8	8	0	9,01
9	9	0	8,652

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa dari 9 kali pengambilan data pembacaan sensor HK100c pada sistem hidrogen dan oksigen didapatkan tekanan pada bukaan valve 10 pada sistem hidrogen sebesar 212,93 KPa dan sistem oksigen sebesar 235,14 KPa. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena adanya perbedaan jenis gas, respon pembacaan sensor serta pengaruh dari peletakan antara sensor HK1100C, valve dan tangki gas. Berdasarkan pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor untuk mendeteksi besarnya tekanan udara dapat membaca perubahan pada sistem hidrogen dan oksigen.

Berdasarkan tabel 1 dapat dibuat grafik hubungan antara data tekanan sensor HK1100C pada sistem hidrogen dan oksigen. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9. Grafik perbandingan tekanan pembacaan sensor HK1100C dan Pressure gauge

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa pembacaan tekanan sensor HK1100C pada sistem hidrogen dan oksigen membentuk kurva linier dengan R² sebesar 0,6671 dan 0,805, dimana R² merupakan regresi.

3.2. Pengujian Sensor D6F-05N2-000

Pengujian dilakukan dengan masukan berupa udara terukur dari tangki gas oksigen dan argon dengan aliran maksimum 5 L/menit dengan variasi tiap 1 L/menit. Nilai aliran terbaca dibandingkan dengan alat ukur pada regulator tangki. Pada pengujian ini tidak menggunakan gas hidrogen akan tetapi sistem yang digunakan adalah sama. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 berikut ini.

Tabel 2. Hasil pengujian Sensor Aliran D6F-05N2 dengan Regulator Tangki Oksigen

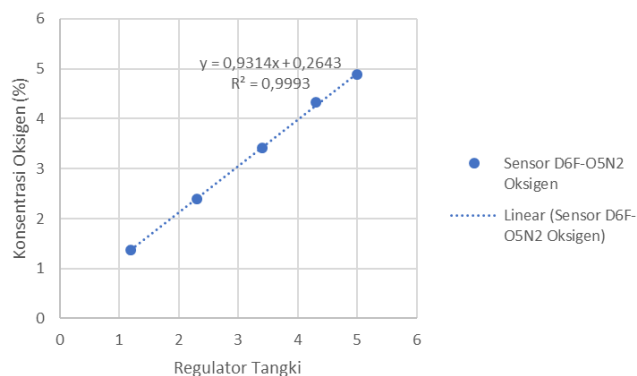
No	Input (L/min)	Aliran (L/min)		Error
		Regulator	D6F-05N2	
1	1	1,2	1,38	0,18
2	2	2,3	2,4	0,1
3	3	3,4	3,42	0,02
4	4	4,3	4,33	0,03
5	5	5	4,88	0,12
Rata-rata				0,09

Tabel 3. Hasil pengujian Sensor Aliran D6F-05N2 dengan Regulator Tangki Argon

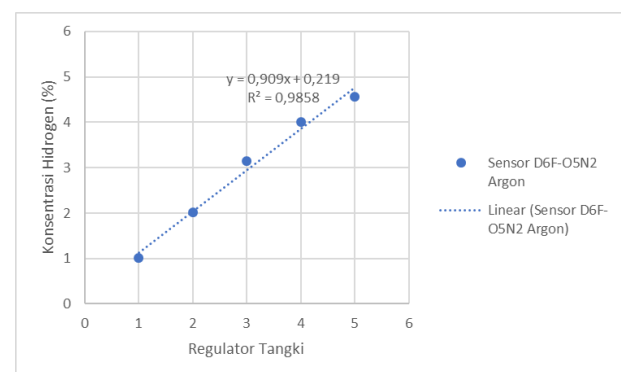
No	Input (L/min)	Aliran (L/min)		Error
		Regulator	D6F-05N2	
1	1	1	1,01	0,01
2	2	2	2,01	0,01
3	3	3	3,15	0,15
4	4	4	4	0
5	5	5	4,56	0,44
Rata-rata				0,122

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa dari lima kali pengambilan data pembacaan sensor D6F-05N2 dengan regulator tangki oksigen dan tangki argon didapatkan aliran dengan error rata-rata 0,09 dan 0,122. Error tersebut dapat disebabkan karena adanya perbedaan respon pembacaan sensor dengan regulator tangki serta pengaruh dari peletakan antara sensor dengan regulator tangki. Berdasarkan pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor untuk mendeteksi besarnya aliran gas dapat membaca perubahan sesuai dengan perubahan yang terjadi pada regulator tangki.

Berdasarkan tabel 2 dan 3 dapat dibuat grafik hubungan antara data aliran sensor D6F-05N2 dengan regulator tangki. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Grafik perbandingan tekanan pembacaan sensor D6F-05N2 dan Regulator tangki oksigen



Gambar 11. Grafik perbandingan tekanan pembacaan sensor D6F-05N2 dan Regulator tangki argon

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa pembacaan aliran antara sensor D6F-05N2 dan regulator tangki pada gas oksigen dan argon membentuk kurva linier dengan R^2 sebesar 0,9993 dan 0,9858, dimana R^2 merupakan regresi dan dapat menunjukkan ketelitian dari pengukuran alat yang dibuat sebesar 99,93% dan 98,58%.

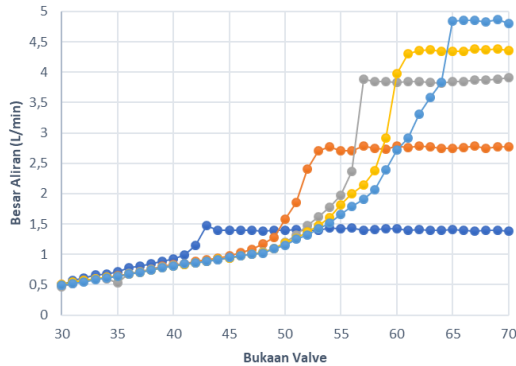
3.3. Pengujian Mekanik Pemutar Valve

Pengujian dilakukan dengan masukan berupa masing-masing gas oksigen dan argon secara bertahap mulai dari 1; 2; 3; 4; dan 5 L/min. Kemudian valve dibuka secara bertahap hingga bukaan 90 (terbuka maksimal) melalui program HMI.

Tabel 4. Hasil pembacaan aliran pada sistem oksigen masukan 1 hingga 5 L/min

No	Bukaan Valve	Besarnya aliran (L/min)				
		Input 1 L/min	Input 2 L/min	Input 3 L/min	Input 4 L/min	Input 5 L/min
1	10	0,24	0,29	0,31	0,38	0,35
2	20	0,23	0,26	0,28	0,29	0,29
3	30	0,49	0,5	0,47	0,5	0,49
4	31	0,57	0,53	0,52	0,54	0,52
5	32	0,61	0,57	0,56	0,57	0,55
6	33	0,66	0,59	0,59	0,59	0,58
7	34	0,68	0,62	0,6	0,62	0,61
8	35	0,72	0,65	0,63	0,63	0,63
9	36	0,78	0,67	0,69	0,67	0,68
10	37	0,8	0,72	0,71	0,7	0,7
11	38	0,85	0,76	0,75	0,74	0,74
12	39	0,89	0,8	0,79	0,78	0,78
13	40	0,93	0,83	0,82	0,8	0,81
14	41	0,99	0,85	0,83	0,83	0,84
15	42	1,15	0,88	0,86	0,86	0,86
16	43	1,48	0,91	0,88	0,89	0,89
17	44	1,39	0,94	0,91	0,92	0,91
18	45	1,39	0,98	0,94	0,94	0,95
19	46	1,39	1,03	0,97	0,97	0,97
20	47	1,39	1,08	1	1	1
21	48	1,38	1,17	1,04	1,03	1,02
22	49	1,39	1,28	1,09	1,09	1,09
23	50	1,4	1,58	1,2	1,18	1,15
24	51	1,41	1,86	1,32	1,27	1,25
25	52	1,4	2,41	1,47	1,37	1,32
26	53	1,4	2,7	1,62	1,47	1,42
27	54	1,43	2,77	1,78	1,61	1,51
28	55	1,42	2,71	1,97	1,81	1,66
29	56	1,43	2,7	2,36	2	1,79
30	57	1,4	2,79	3,89	2,14	1,91
31	58	1,41	2,74	3,84	2,38	2,07
32	59	1,42	2,73	3,84	2,92	2,39
33	60	1,42	2,78	3,83	3,98	2,72
34	61	1,4	2,76	3,84	4,3	2,91
35	62	1,41	2,79	3,84	4,36	3,31
36	63	1,39	2,77	3,83	4,37	3,58
37	64	1,4	2,75	3,82	4,35	3,83
38	65	1,41	2,75	3,85	4,35	4,84
39	66	1,39	2,76	3,84	4,34	4,86
40	67	1,38	2,78	3,87	4,38	4,85
41	68	1,4	2,75	3,87	4,37	4,83
42	69	1,39	2,77	3,89	4,38	4,87
43	70	1,38	2,77	3,91	4,36	4,8
44	80	1,38	2,71	3,86	4,4	4,87
45	90	1,38	2,77	3,89	4,42	4,89

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa gas mulai mengalir pada bukaan valve 30, dan mulai maksimal (peningkatan aliran sangat kecil/tidak bertambah) pada bukaan 60 untuk masukan 1-3 L/min dan 70 untuk masukan 4-5 L/min. Data hasil pengujian bukaan valve terhadap peningkatan nilai aliran dapat disajikan dalam grafik seperti yang terlihat pada Gambar 12.



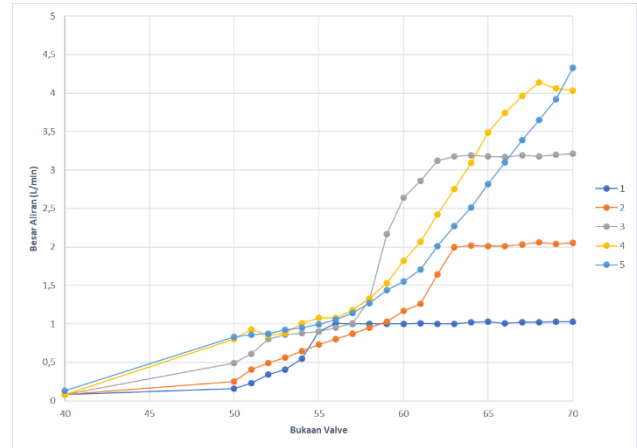
Gambar 12. Grafik hubungan bukaan valve oksigen dan besar peningkatan aliran

Berdasarkan Gambar 12, dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya besar masukan gas awal, peningkatan nilai aliran pada saat valve dibuka bertahap juga semakin besar. Peningkatan yang paling optimal didapatkan pada saat masukan aliran 5 L/min. Kondisi ini sudah cukup bagus dengan spesifikasi komponen yang digunakan.

Tabel 5. Hasil pembacaan aliran pada sistem hidrogen masukan 1 hingga 5 L/min

No	Bukaan Valve	Besar aliran (L/min)				
		Input 1 L/min	Input 2 L/min	Input 3 L/min	Input 4 L/min	Input 5 L/min
1	10	0,15	0,08	0,07	0,08	0,09
2	20	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07
3	30	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
4	40	0,08	0,08	0,08	0,08	0,13
5	50	0,16	0,25	0,49	0,8	0,83
6	51	0,23	0,41	0,61	0,93	0,86
7	52	0,34	0,49	0,8	0,85	0,87
8	53	0,41	0,56	0,86	0,88	0,92
9	54	0,55	0,65	0,88	1,01	0,95
10	55	0,9	0,73	0,9	1,08	0,99
11	56	1,01	0,8	0,95	1,08	1,06
12	57	1	0,87	1,01	1,18	1,14
13	58	1	0,95	1,31	1,33	1,27
14	59	1	1,03	2,17	1,53	1,44
15	60	1	1,17	2,64	1,82	1,55
16	61	1,01	1,26	2,86	2,07	1,71
17	62	1	1,64	3,12	2,42	2,01
18	63	1	2	3,18	2,75	2,27
19	64	1,02	2,02	3,19	3,09	2,51
20	65	1,03	2,01	3,18	3,49	2,82
21	66	1,01	2,01	3,17	3,74	3,1
22	67	1,02	2,03	3,19	3,96	3,39
23	68	1,02	2,06	3,18	4,14	3,65
24	69	1,03	2,04	3,2	4,06	3,92
25	70	1,03	2,05	3,21	4,03	4,33
26	80	1,06	2,03	3,04	4,04	4,85
27	90	1,01	2,01	3	3,98	4,74

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa gas mulai mengalir pada bukaan valve 50, dan mulai maksimal (peningkatan aliran sangat kecil/tidak bertambah) pada bukaan 60 untuk masukan 1-3 L/min dan 70 untuk masukan 4-5 L/min. Data hasil pengujian bukaan valve terhadap peningkatan nilai aliran dapat disajikan dalam grafik seperti yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan bukaan valve hidrogen dan besar peningkatan aliran

Berdasarkan Gambar 13, dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya besar masukan gas awal, peningkatan nilai aliran pada saat valve dibuka bertahap juga semakin besar. Peningkatan yang paling optimal didapatkan pada saat masukan aliran 2 L/min. Kondisi ini sudah cukup bagus dengan spesifikasi komponen yang digunakan.

3.4. Pengujian Kontrol On-off

Pengujian kontrol *on-off* dilakukan dengan mendekati korek api dengan sensor MQ-8. Hasil pengujian kontrol *on-off* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian kontrol *on-off*

No	Konsentrasi Hidrogen (ppm)	Bukaan Valve	
		Hidrogen	Oksigen
1.	10 hingga 1999	90	90
2.	2000	0	0

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa kontrol *on-off* telah bekerja dengan baik. Ketika konsentrasi hidrogen yang terbaca oleh sensor MQ-8 di bawah 2000 ppm maka *valve* akan tetap terbuka dan ketika terbaca 2000 ppm dan selebihnya maka *valve* akan otomatis menutup.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang purwarupa sistem akuisisi data sensor dan kontrol *valve* menggunakan sensor MQ-8, D6F-05N2-000, dan HK1100C. Berdasarkan hasil

pengujian pengendalian *valve* menggunakan motor servo dengan input aliran 1, 2, 3, 4, dan 5 L/min, purwarupa mampu mengatur besar aliran secara bertahap. Aliran minimal dan maksimal pada sistem oksigen masing-masing 0,24 dan 4,89 L/min, sedangkan pada sistem hidrogen sebesar 0,06 dan 4,74 L/min. Pada pengujian kontrol *on-off*, *valve* pada sistem oksigen dan hidrogen menutup pada saat konsentrasi hidrogen mencapai 200 ppm sesuai *setpoint*.

Referensi

- [1]. Meiviana, Armely. D. R. Sulistiowati, dan M. H. Soejachmoen, *Bumi Makin Panas, Ancaman Perubahan Iklim Di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2004.
- [2]. H. Y. Wolf Vielstich and H. A. Gasteiger, *Handbook of Fuel Cells Fundamental Technology and Applications*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2009.
- [3]. L. M, L. ME, B. K, A. F, and C. Y, *Rational SOFC Material Design: New Advances and Tools*, Rev 14. Mat Today Invited, 2011.
- [4]. A. Kurniahadi, "Perancangan Kendali Laju Aliran Hidrogen Dan Oksigen Pada Simulator Solid Oxide Fuel Cell Menggunakan Metode Kontrol Logika Fuzzy," Universitas Diponegoro, 2018.
- [5]. L. Sun, D. Li, G. Wu, K. Y. Lee, and Y. Xue, "A Practical Compound Controller Design for Solid Oxide Fuel Cells," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 30, pp. 445–449, 2015.
- [6]. E. Julian, "Perancangan Kontroler Adaptif PID Pada Sistem Solid Oxide Fuel Cell," Universitas Diponegoro, 2017.
- [7]. Tower Pro, "MG995." [Online]. Available: <http://www.towerpro.com.tw/product/mg995/>.
- [8]. Omron , "MEMS Flow Sensors D6F series", No. X211-E1-06.
- [9]. Wwww.isweek.com, "Low cost hydraulic pressure pneumatic oil pressure sensor HK1100C", 2017.
- [10]. L. Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., "Flammable Gas Sensor MQ-8 Manual Version 1.3," 2014.