

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

Rinaldi Oktavianto

Teknik Instrumentasi Kilang
Politeknik Energi dan Mineral
Akamigas,
Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu,
Kabupaten Blora
rinaldioktavianto@gmail.com

Asepta Surya Wardhana

Teknik Instrumentasi Kilang
Politeknik Energi dan Mineral
Akamigas,
Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu,
Kabupaten Blora
aseptasw@esdm.go.id

Alfin Sahrin

Teknik Instrumentasi Kilang
Politeknik Energi dan Mineral
Akamigas,
Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu,
Kabupaten Blora
alfinsahrin@gmail.com

Abstract— One of the risks in the oil industry is leakage of gases that are toxic or flammable. Fire and Gas System (FGS) used to detect the release of hazardous gases then carry out mitigation actions which can be alarms, indicators, or shutdown systems. This study aims to make a simple prototype of Fire and Gas System in the manifold area with three pipelines (Line-A, Line-B, and Line-C). The output of the system includes indicator, alarm, and shutdown system (closing gas flow and activate the exhaust fan). The system is integrated with Delphi and Arduino. The decision making based on Sugeno fuzzy. Based on the results, it was found that the suitability of fuzzy system reached 100%. The monitoring is displayed in graphical form. While the system response is appropriate, but there is a delay of about 1.5 seconds. Protection system is able to normalize conditions in about 77.5 seconds.

Keywords— Fire and Gas System, MQ-5, Fuzzy Sugeno, Delphi



[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

I. PENDAHULUAN

Risiko kecelakaan kerja pada industri perminyakan cukuplah besar. Salah satu risiko kecelakaan kerja tersebut adalah kebocoran gas hidrokarbon (*flammable*) dan beracun (*toxic*) yang dapat memicu pencemaran udara hingga ledakan yang bisa mengakibatkan kerugian serta dampak yang besar. Mengacu pada Permen Ketenagakerjaan RI Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Lingkungan Kerja, gas hidrokarbon (metana) berpotensi menimbulkan gangguan asfiksia. Asfiksia merupakan kondisi terganggunya fungsi pembuluh darah, paru-paru, maupun jaringan tubuh yang menyebabkan gangguan terkait pengangkutan oksigen (O₂) pada jaringan tubuh. Gas metana juga berpotensi mengakibatkan keracunan, pemanasan global (efek rumah kaca) [1], hingga ledakan dan kebakaran.

Untuk meminimalkan efek dari risiko kebocoran gas tersebut, industri minyak dan gas dilengkapi dengan *Fire and Gas System* (FGS). FGS digunakan

dalam industri dengan tujuan mendeteksi hilangnya penahanan bahan berbahaya dari proses dan memulai respons untuk mengurangi dampak pelepasan tersebut [2]. FGS merupakan bagian dari *Safety Instrumented System* (SIS) yang bertujuan melakukan upaya preventif agar tidak terjadi situasi berbahaya dan meminimal-kan efek dari suatu peristiwa bahaya yang telah terjadi [3]. Prosedur untuk mendeteksi kebocoran gas dari pipa gas mungkin tidak aman. Untuk metode pengujian kebocoran gas yang diterapkan pada operasional menggunakan sensor MQ-5 [4] dan MQ-2 [5], [6]. Penggunaan sensor tekanan gas yang sangat sensitif membutuhkan biaya mahal [7].

FGS dapat diterapkan pada sistem *monitoring* dan proteksi kebocoran gas yang terintegrasi dalam sebuah *Gas Leakage Monitoring System* (GLMS). GLMS adalah sistem *monitoring* pipa berbasis komputasi untuk membantu mengendalikan pipa dalam mendeteksi dan mencari lokasi kebocoran menggunakan arduino [8]. Penggunaan arduino untuk mengatasi kondisi berbahaya seperti penggunaan tombol *emergency* [9]. *Gas Leakage Monitoring System* akan memberikan *alarm*, dan tampilan data lain yang berhubungan dengan kontrol pipa dalam pengambilan keputusan ketika terjadi kebocoran.

Beberapa penelitian telah dikembangkan untuk pendeteksi kebocoran gas jenis LPG berbasis metode *Fuzzy mamdani* [6] dan sugeno yang mempunyai akurasi yang baik [10]. Dalam mengatasi permasalahan dalam mendeteksi kebocoran gas, maka peneliti membuat prototipe untuk menguji kebocoran gas dengan sensor MQ-5 dengan metode fuzzy sugeno. Pengujian aturan fuzzy menggunakan Matlab dan monitoring performa dari sistem deteksi gas digunakan aplikasi Delphi. Prototipe deteksi gas mempunyai tiga jalur gas dengan berbagai skenario percobaan sehingga diharapkan sistem dapat handal dan akurat dalam memberikan keputusan.

II. TEORI DASAR

Pada penelitian ini menggunakan sensor jenis MQ-5 merupakan sensor yang bekerja pada tegangan 5V dengan output berupa bentuk analog (resistansi) maupun bentuk digital. Sensor MQ-5 dapat digunakan

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

untuk pendeteksian gas Hidrogen, Karbon Monoksida, Alkohol, dan gas Hidrokarbon. Wujud gas hidrokarbon yang dapat dideteksi oleh sensor MQ-5 meliputi LPG, LNG, Natural gas, isobutane, propane, dan gas Metana (CH₄), pada konsentrasi 200 hingga 10.000 ppm. Pada percobaan pengujian sensor MQ-5, digunakan gas portabel 230 gram. Pengujian meliputi konversi ADC, dan pembacaan dengan variasi jarak [11] serta kalibrasi *span reading* sensor MQ-5 [12]. Sensor MQ-5 bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi dalam mendeteksi kadar gas yang kemudian dikonversi menjadi output analog berupa tegangan. Sistem ADC dari Arduino Mega 2560 [13] berbasis 10 bit (0-1023) sehingga perhitungan konversi ADC dirumuskan:

$$ADC = \frac{V_{out}}{V_{ref}} \times 1023 \quad (1)$$

Nilai ADC dapat dikonversi menjadi nilai PPM gas yang terdeteksi. Berdasarkan *datasheet*, diketahui bahwa rentang ukur sensor MQ-5 dalam mendeteksi kadar gas LPG adalah 200 – 10.000 ppm. Sedangkan pada penelitian, skenario kebocoran dimodelkan terjadi pada *range* 0 – 1000 ppm, sehingga perlu dilakukan kalibrasi *span reading* untuk penentuan URV (*upper value*) dan LRV (*lower value*). Konversi *span reading* ADC menjadi ppm dirumuskan:

$$ppm = \left(\frac{range \text{ (ppm)}}{1023 \text{ bit}} \times ADC \right) + LZ \quad (2)$$

$$ppm = (0,9775 \times ADC) \quad (3)$$

Sistem inferensi atau penalaran dengan metode fuzzy Sugeno memiliki konsep yang hampir sama dengan penalaran metode Mamdani [10], perbedaannya terletak pada luaran (konsekuen) sistem bukan berupa himpunan *fuzzy*, melainkan *singleton spike*. Metode ini dibagi menjadi dua, yang didasarkan pada bentuk output yakni orde 0 (konstanta) dan orde 1 (persamaan linier).

a. Model Fuzzy Sugeno Orde-Nol

Bentuk secara umum model Fuzzy Sugeno Orde-Nol adalah:

$$IF (x_1 \text{ is } M_1) \bullet (x_2 \text{ is } M_2) \bullet (x_3 \text{ is } M_3) \bullet \dots \bullet (x_N \text{ is } M_N) THEN z=k \quad (4)$$

M₁ merupakan himpunan *fuzzy* ke-i sebagai anteseden, dan k adalah konsekuen dalam bentuk konstanta tegas (*crisp*).

b. Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Bentuk secara umum model Fuzzy Sugeno Orde-Satu adalah:

$$IF (x_1 \text{ is } M_1) \bullet \dots \bullet (x_N \text{ is } M_N) THEN z = r_1 * x_1 + \dots + r_N * x_N + q \quad (5)$$

M₁ merupakan himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai anteseden, dan r₁ adalah konsekuen dalam bentuk konstanta tegas (*crisp*) ke-1 berlaku juga untuk q yang merupakan konstanta tegas.

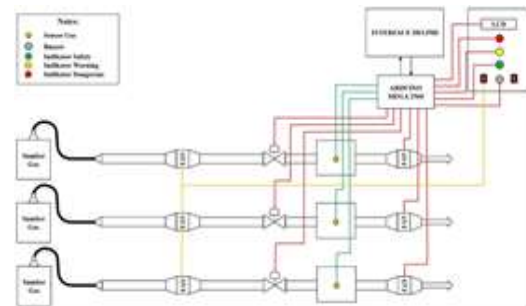
III. METODE PENELITIAN

Tahapan rancang bangun sistem proteksi dan monitoring kebocoran gas berbasis fuzzy controller meliputi studi literatur tinjauan pustaka dan penelitian terdahulu, kemudian desain teknik meliputi hardware dan software, pembuatan prototipe,

pengujian sistem, serta pengambilan dan analisis data.

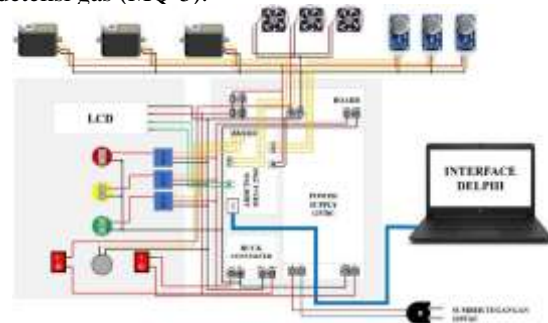
A. Perancangan Sistem

Sistem terdiri dari komponen input berupa sensor gas MQ-5 dengan *logic solver* Arduino Mega 2560, bertugas menerima dan mengirim data dari *interface* serta memberikan aksi kendali pada *input* maupun *output* sistem. Komponen *output* terdiri dari kipas dan *valve* sebagai sistem kendali skenario kebocoran gas. LCD, dan lampu indikator sebagai *monitoring* kadar gas yang terdeteksi. Sedangkan *buzzer* dan *shutdown system* berperan sebagai sistem proteksi yakni memberikan *alarm* dan menutup aliran fluida serta menghidupkan *exhaust fan*. Delphi mempunyai kemampuan untuk mengimplementasi-kan algoritma kecerdasan [14] maupun fuzzy [15]. Modul *interface* berbasis Delphi mampu melakukan fungsi *read* (menampilkan data grafik) dan *write* (sistem logika *fuzzy*). Gambar 1 merupakan desain prototipe sistem.



Gambar 1. Desain Prototipe Sistem

Gambar 2 merupakan rancangan instalasi pengkabelan (wiring) pada project penelitian ini. Rancangan wiring ini digunakan sebagai acuan untuk menghubungkan setiap komponen yang akan digunakan pada prototipe penelitian. Wiring terbagi menjadi tiga bagian yakni pengkabelan pada panel box, komponen input/output pada prototipe, dan koneksi dengan interface. Layout panel box bagian dalam terdiri dari power supply 12VDC, buck converter untuk konversi tegangan dari 12V ke 5V DC, kemudian Arduino Mega 2560, dan board sebagai tempat untuk melakukan jumper. Sedangkan pada layer (penutup) box terdapat komponen berupa saklar untuk menyalakan Arduino dan fan, LCD sebagai display, relay untuk kendali lampu indikator, dan buzzer sebagai tanda alarm. Sedangkan wiring untuk komponen yang ada di plant (prototipe) penelitian meliputi wiring fan, servo valve, dan sensor deteksi gas (MQ-5).



Gambar 2. Wiring Perangkat Elektronik

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

Prototipe berupa 3 jalur pipa (Line-A, Line-B, dan Line-C) yang dilengkapi dengan servo valve sebagai pengendali skenario kebocoran gas. Pada box panel terdapat LCD dan lampu indikator untuk menampilkan kadar gas yang terdeteksi serta keterangan kondisi (aman, siaga, atau berbahaya). Selain itu, terdapat buzzer sebagai alarm serta exhaust fan sebagai proteksi. Berikut *cause and effect* dari sistem prototipe tercantum pada tabel 1.

Tabel 1. Cause and Effect Sistem

INPUT			OUTPUT		
Line-A	Line-B	Line-C	Indikator	Alarm	Shutdown
Safety	Safety	Safety	Hijau	Off	OFF
Safety	Safety	Warning	Hijau	Off	OFF
Safety	Safety	Dangerous	Kuning	On	Line-C
Safety	Warning	Safety	Hijau	Off	OFF
Safety	Warning	Warning	Kuning	Off	OFF
Safety	Warning	Dangerous	Kuning	On	Line-C
Safety	Dangerous	Safety	Kuning	On	Line-B
Safety	Dangerous	Warning	Kuning	On	Line-B
Safety	Dangerous	Dangerous	Merah	On	Line-A, B, C
Warning	Safety	Safety	Hijau	Off	OFF
Warning	Safety	Warning	Kuning	Off	OFF
Warning	Safety	Dangerous	Kuning	On	Line-C
Warning	Warning	Safety	Kuning	Off	OFF
Warning	Warning	Warning	Kuning	Off	OFF
Warning	Warning	Dangerous	Kuning	On	Line-C
Warning	Dangerous	Safety	Kuning	On	Line-B
Warning	Dangerous	Warning	Kuning	On	Line-B
Warning	Dangerous	Dangerous	Merah	On	Line-A, B, C
Dangerous	Safety	Safety	Kuning	On	Line-A
Dangerous	Safety	Warning	Kuning	On	Line-A
Dangerous	Safety	Dangerous	Merah	On	Line-A, B, C
Dangerous	Warning	Safety	Kuning	On	Line-A
Dangerous	Warning	Warning	Kuning	On	Line-A
Dangerous	Warning	Dangerous	Merah	On	Line-A, B, C
Dangerous	Dangerous	Safety	Merah	On	Line-A, B, C
Dangerous	Dangerous	Warning	Merah	On	Line-A, B, C
Dangerous	Dangerous	Dangerous	Merah	On	Line-A, B, C

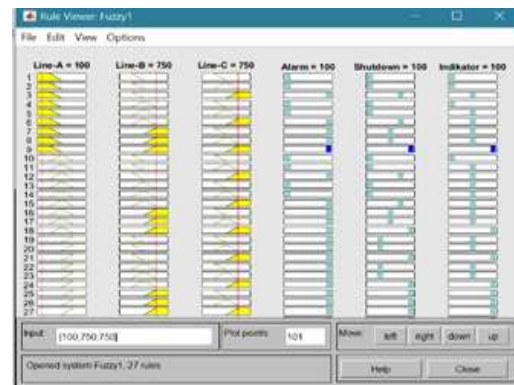
Perancangan *software* meliputi pemodelan dan validasi *fuzzy* yang akan digunakan, pembuatan modul *interface*, dan pemrograman Arduino. Pemodelan sistem *fuzzy* yang meliputi proses *fuzzifikasi*, inferensi, dan *defuzzifikasi* menggunakan *Fuzzy Logic Designer* pada Matlab 2017 [15], [16].

Pemodelan variabel input dan output. Pada penelitian ini dimodelkan terdapat tiga variabel masukan (input) dan tiga variabel keluaran (output). Variabel input gas terdiri dari Line-A, Line-B, dan Line-C yang mewakili kadar gas terdeteksi pada setiap jalur pipa, sedangkan variabel output berupa indikator, alarm, dan shutdown.

Tahap selanjutnya adalah pemodelan fungsi keanggotaan (membership function) dari setiap variabel yang digunakan. Masing-masing variabel input memiliki 3 (tiga) himpunan keanggotaan yakni

safety (aman), warning (siaga), dan dangerous (bahaya). Variabel output shutdown terdiri dari 3 membership function yakni Off_Shutdown, PSD (Plant Shutdown), dan ESD (Emergency Shutdown). Kemudian variabel output indikator terdiri dari 3 membership function yakni Safety, Warning, dan Dangerous yang mewakili setiap kondisi. Bentuk variabel output alarm terdiri dari 2 membership function berupa on_buzzer dan off_buzzer.

Pada bagian ini dapat dimodelkan range nilai variabel, nama anggota himpunan, jenis himpunan, serta nilai parameter himpunan keanggotaan yang akan digunakan. Proses untuk pemodelan fungsi keanggotaan menggunakan *Fuzzy Logic Designer* pada Matlab. Setelah memastikan rule base melalui surface maka sistem *fuzzy* yang dimodelkan dapat disimulasi dengan cara menginputkan nilai yang diinginkan. Pada simulasi tersebut dapat diketahui nilai *fuzzifikasi*, dan *defuzzifikasi* dari sistem berdasarkan nilai variabel yang diinputkan. Hasil simulasi Matlab *rule viewer* sistem *fuzzy* pada penelitian ini seperti gambar 3.



Gambar 3. Simulasi Sistem Fuzzy

Penentuan spesifikasi model *fuzzy* prototipe sistem tercantum pada tabel 2. Sistem inferensi yang digunakan adalah *Fuzzy Sugeno* dengan 3 variabel input (Line-A, Line-B, dan Line-C) dan 3 variabel output (Indikator, Alarm, dan Shutdown). Jumlah rule yang digunakan adalah 27 aturan sesuai *cause and effect*. Penyelesaian proses *defuzzifikasi* menggunakan perhitungan *Weighted Average*.

Tabel 2. Spesifikasi Model Sistem Fuzzy

Fuzzy Inference System	Fuzzy-Sugeno
Input Variable	Line-A, Line-B, Line-C
Output Variable	Indikator, Alarm, Shutdown
Membership Function Input	Line-A = A-Safety, A-Warning, A-Dangerous Line-B = B-Safety, B-Warning, B-Dangerous Line-C = C-Safety, C-Warning, C-Dangerous Safety = 0; 0; 250; 500 (Trapezium) Warning = 250; 500; 750 (Segitiga) Dangerous = 500; 750; 1000; 1000 (Trapezium) Indikator = Safety, Warning, Dangerous (0; 50; 100)
Membership Function Output	Alarm = Off_Buzzer, On_Buzzer (0; 100) Shutdown = Off_Shutdown, PSD, ESD (0; 50; 100)
Rule Base	AND, MIN Value
Total Rule Base	27 Rules (based on cause and effect)
Defuzzification	Weighted Average

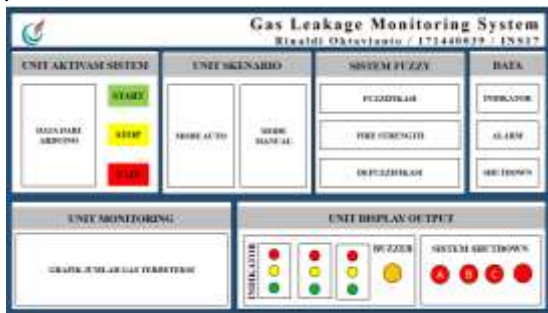
Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

Rule	Rule Base			Derajat Keanggotaan			α (fire strength)	Output ($Z' = ((\alpha z_1 + \alpha z_2 + \dots + \alpha z_n) / (\alpha 1 + \alpha 2 + \dots + \alpha n))$)											
	If (Line-A is and Line-B is and Line-C is) then (Shutdown is and Alarm is and indikator is)			Line-A	Line-B	Line-C		Sistem Shutdown				Sistem Indikator				Sistem Alarm			
	Line-A	Line-B	Line-C	μ_A	μ_B	μ_C		Keterangan	Default	Perhitungan	z'	Keterangan	Default	Perhitungan	z'	Keterangan	Default	Perhitungan	z'
1	A-Safety	B-Safety	C-Safety	1	1	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Safe	0	0	0	Off-Buzzer	0	0	
2	A-Safety	B-Safety	C-Warning	1	1	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Safe	0	0	0	Off-Buzzer	0	0	
3	A-Safety	B-Safety	C-Dangerous	1	1	1	1	PSD	50	50	50	Warning	50	50	50	On-Buzzer	100	100	
4	A-Safety	B-Warning	C-Safety	1	0	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Safe	0	0	0	Off-Buzzer	0	0	
5	A-Safety	B-Warning	C-Warning	1	0	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Warning	50	0	0	Off-Buzzer	0	0	
6	A-Safety	B-Warning	C-Dangerous	1	0	1	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
7	A-Safety	B-Dangerous	C-Safety	1	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
8	A-Safety	B-Dangerous	C-Warning	1	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
9	A-Safety	B-Dangerous	C-Dangerous	1	0	1	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
10	A-Warning	B-Safety	C-Safety	0	1	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Safe	0	0	0	Off-Buzzer	0	0	
11	A-Warning	B-Safety	C-Warning	0	1	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Warning	50	0	0	Off-Buzzer	0	0	
12	A-Warning	B-Safety	C-Dangerous	0	1	1	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
13	A-Warning	B-Warning	C-Safety	0	0	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Warning	50	0	0	Off-Buzzer	0	0	
14	A-Warning	B-Warning	C-Warning	0	0	0	0	Off-Shutdown	0	0	0	Warning	50	0	0	Off-Buzzer	0	0	
15	A-Warning	B-Warning	C-Dangerous	0	0	1	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
16	A-Warning	B-Dangerous	C-Safety	0	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
17	A-Warning	B-Dangerous	C-Warning	0	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
18	A-Warning	B-Dangerous	C-Dangerous	0	0	1	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
19	A-Dangerous	B-Safety	C-Safety	0	1	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
20	A-Dangerous	B-Safety	C-Warning	0	1	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
21	A-Dangerous	B-Safety	C-Dangerous	0	1	1	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
22	A-Dangerous	B-Warning	C-Safety	0	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
23	A-Dangerous	B-Warning	C-Warning	0	0	0	0	PSD	50	0	0	Warning	50	0	0	On-Buzzer	100	0	
24	A-Dangerous	B-Warning	C-Dangerous	0	0	1	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
25	A-Dangerous	B-Dangerous	C-Safety	0	0	0	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
26	A-Dangerous	B-Dangerous	C-Warning	0	0	0	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	
27	A-Dangerous	B-Dangerous	C-Dangerous	0	0	1	0	ESD	100	0	0	Dangerous	100	0	0	On-Buzzer	100	0	

Gambar 4. Validasi Fuzzy pada Excel

Validasi sistem fuzzy menggunakan perhitungan pada Microsoft Excel [17] seperti pada gambar 4. Metode validasi sistem fuzzy menggunakan aplikasi Microsoft Excel 2016 memanfaatkan fungsi IF, dan beberapa fungsi logika yang menyatakan suatu kondisi. Tujuan dari pembuatan validasi ini adalah memudahkan penulis memahami konsep fuzzy yang dimodelkan serta sebagai perbandingan perhitungan matlab. Validasi ini terdiri dari fuzzifikasi fungsi keanggotaan, basis aturan, fire strength, hingga proses defuzzifikasi.

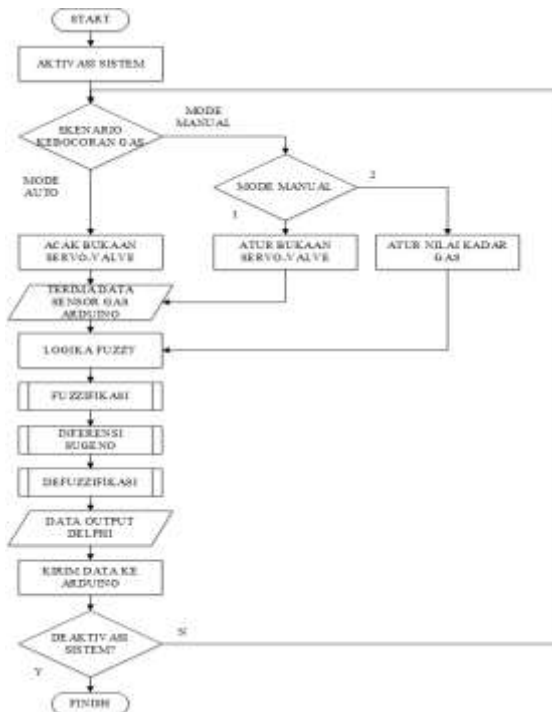
Perancangan modul interface menggunakan Borland Delphi 7 (Pascal) yang terintegrasi dengan board Arduino menggunakan library comport sebagai komunikasi serial [15], [18]. Modul interface meliputi unit monitoring, panel skenario kebocoran dalam 2 mode (auto dan manual), panel sistem fuzzy serta data output yang akan dikirimkan menuju board Arduino. Desain tampilan modul interface pada dilihat gambar 5.



Gambar 5. Desain Tampilan Modul Interface

Modul interface digunakan sebagai unit controller dari prototipe sistem. Main program dari modul interface meliputi aktivasi (comport open) dan deaktivasi (comport close) sistem, pemilihan skenario kebocoran, melakukan fungsi menerima (comport read) dan mengirim (comport write) data, serta

perhitungan logika fuzzy. Diagram alir main program sistem dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Main Program Modul Interface

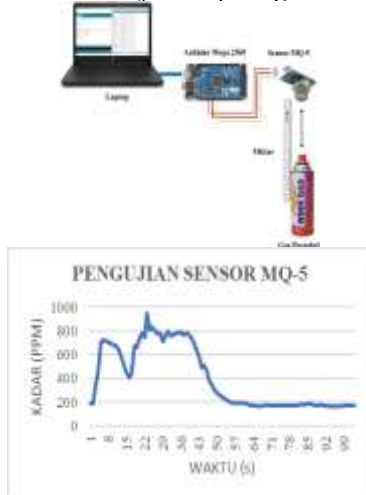
Pemrograman Arduino (C++) meliputi include library komponen (servo, I2C, dan LCD), deklarasi variabel data, input maupun output, void setup (baud rate serial, dan mode pin Arduino), serta void loop yang berisi main program dari sistem. Main program void loop Arduino meliputi start program menggunakan fungsi Serial.available sehingga sistem akan bekerja apabila terdapat komunikasi serial (tersambung dengan modul interface), kemudian pemisahan data menggunakan fungsi indexOf dan

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

substring. Metode *coding* logika output menggunakan fungsi *IF* yang menyatakan kondisi *true* atau *false* meliputi data *mode*, *shutdown*, indikator, *alarm*, dan *exhaust fan*. Serta melakukan aksi pengaturan sudut servo (*servo.write*), nilai *high/low* output (*digitalWrite*), *display LCD (lcd.print)*, hingga pengiriman data ke *interface* Delphi menggunakan fungsi *Serial.print*

B. Pengujian Sistem

Pengujian mencakup komponen *hardware*, sistem *software*, dan prototipe secara keseluruhan. Pengujian komponen *hardware* meliputi pembacaan sensor, dan pengoperasian *servo valve*. Sedangkan pengujian sistem *software* meliputi komunikasi serial antara modul *interface* dengan Arduino, dan perhitungan *fuzzy*. Pengujian sistem sensor yang didasarkan pada variasi jarak pengukuran. Pengujian tersebut dilakukan dengan cara memposisikan regulator dalam bukaan penuh (*full opened*), setelah itu gas dilepaskan sejajar vertikal dengan sensor, sedangkan jarak ukur terhitung dari ujung regulator hingga ujung detektor sensor MQ-5. Perangkat elektronik dan hasil proses pengujian sensor ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Sensor MQ-5

Pengujian sensor MQ-5 bertujuan untuk mengetahui nilai konversi ADC menjadi kadar gas (ppm) sesuai *datasheet* dan prototipe sistem (dilakukan kalibrasi *span reading*). Telah dilakukan 10 percobaan dengan hasil pengujian pada tabel 3.

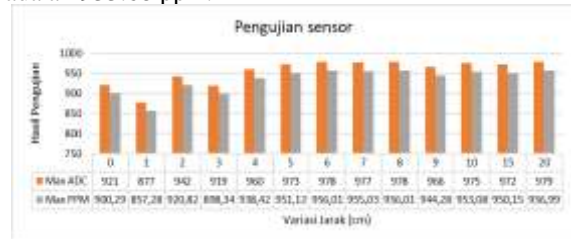
Tabel 3. Konversi ADC ke PPM

No	ADC	Voltage	PPM Datasheet	PPM Sistem
1.	200	0.98	2115.93	195.50
2.	280	1.37	2882.31	273.70
3.	352	1.72	3572.04	344.09
4.	456	2.23	4568.33	445.75
5.	569	2.78	5650.83	556.21
6.	614	3.00	6081.92	600.20
7.	697	3.41	6877.03	681.33
8.	727	3.55	7164.42	710.65
9.	869	4.25	8524.73	849.46
10.	976	4.77	9549.76	954.06

Berdasarkan tabel 3, diketahui bahwa sensor MQ-5 mampu mendeteksi kadar gas portabel

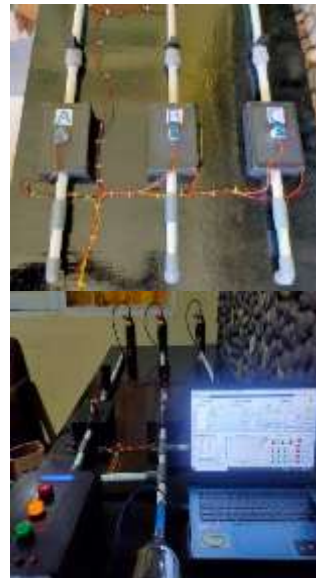
(IsoButana / C_4H_{10}) hingga sekitar 9500 ppm. Nilai tersebut belum memenuhi %LEL (*Lower Explosive Limit*) dari gas IsoButana yakni 1.8% atau setara 18000 ppm [19]. Sehingga pada penelitian ini tidak menggunakan satuan %LEL. Sistem akan bekerja pada rentang 0-1000 ppm sehingga gas yang terdeteksi menjadi 954.06 ppm. Nilai tersebut telah memenuhi fungsi keanggotaan yang dimodelkan.

Tahap berikutnya dilakukan pengujian sensor dengan variasi jarak untuk memastikan kemampuan serta konsistensi pengukuran seperti pada gambar 8. Berdasarkan percobaan diketahui bahwa sensor mampu mengukur kadar gas pada jarak lebih dari 20 cm. Pembacaan sensor cenderung stabil pada jarak ukur 5-20 cm dengan rata-rata kadar gas terdeteksi adalah 933.68 ppm.



Gambar 8. Pembacaan Sensor Variasi Jarak

Pengujian sistem sensor pada prototipe dilakukan dengan mengkondisikan servo valve dan regulator injeksi gas pada bukaan penuh (*full-opened*). Pembacaan maksimum dari sensor pada prototipe kemudian dibandingkan dengan nilai pengukuran sensor tunggal. Sehingga diperoleh selisih error pembacaan sistem sensor dengan hasil pengukuran yang semestinya. Pengujian sistem sensor pada gambar 9.



Gambar 9. Pengujian Sistem Sensor

Hasil pengukuran berupa nilai maksimum pembacaan sensor pada kondisi regulator dan *servo valve full-opened* dibandingkan dengan rata-rata nilai ppm hasil pengujian variasi jarak. Didapatkan hasil bahwa pada *Line-A* terdapat selisih pembacaan sebesar 7,868% atau sekitar 73,5 ppm. Sedangkan pada *Line-B*, selisih pembacaan hingga 11,84% atau

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

sekitar 104,75 ppm. Hasil pengujian pada *Line-C* dengan performa terbaik didapatkan selisih pembacaan sebesar 5,7% atau sekitar 49 ppm. Hasil pengujian sistem sensor gas pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Sensor

Sensor	Pengukuran (ppm)	Pembanding (ppm)	Selisih (ppm)	Error (%)
A	860,215	933,679	73,46417	7,868245
B	828,935	933,679	104,7447	11,8402
C	884,653	933,679	49,02624	5,699301

Adanya selisih pembacaan nilai tersebut disebabkan adanya *voltage drop* pada *supply* tegangan serta tingkat sensitivitas sensor. Pada kondisi normal, *supply* tegangan sebesar 5V DC sedangkan pada sistem prototipe, sensor hanya mendapatkan *supply* sebesar 4,45V DC.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe skenario kebocoran gas pada 3 jalur pipa (*Line-A*, *Line-B*, dan *Line-C*) berbasis logika fuzzy pada modul interface Borland Delphi yang terintegrasi dengan board Arduino Mega 2560 melalui komunikasi serial. Hasil implementasi hardware dan software sistem dapat dilihat pada gambar 10. Prototipe menggunakan pipa berdiameter 1/2 inch dengan panjang *inlet* sekitar 1 meter dan *outlet* 30 cm. Kemudian menggunakan gas portabel 230 gram sebagai *supply* yang dihubungkan dengan *hose* berdimensi 6 mm x 40 cm. Proses titik pengambilan sampel gas menggunakan sensor MQ-5 sebagai detektornya.



Gambar 10. Hasil Implementasi Sistem

Prototipe menggunakan *power supply* yang meng-konversi tegangan 220 VAC menjadi 12 VDC 20 A yang kemudian dikonversi menjadi 7 VDC sebagai tegangan input Arduino dan 5 VDC untuk mensuplai peralatan output (LCD, sensor, *fan* DC, dan motor servo). Hasil estimasi arus maksimal yang digunakan prototipe mencapai 10 A karena penggunaan motor servo dengan torsi yang cukup besar.

Modul *interface* SI-PRIMBON (Sistem Informasi Proteksi dan *Monitoring* Kebocoran Gas Hidrokarbon) terdiri atas halaman informasi dan jendela sistem. Halaman informasi mencakup deskripsi umum serta prosedur pengoperasian sedangkan jendela sistem sebagai unit kendali yang mencakup aktivasi sistem, skenario kebocoran gas, sistem *monitoring*, perhitungan *fuzzy* serta *display output*. Berikut ini spesifikasi dari prototipe penelitian tercantum pada tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Prototipe

<i>Total Line</i>	3 (<i>Line-A</i> , <i>Line-B</i> , <i>Line-C</i>)
<i>Pipe Diameter</i>	1/2 inch
<i>Length</i>	1 meter (<i>inlet</i>), 30 cm, (<i>outlet</i>)
<i>Gas Supply</i>	<i>Butane Gas Portable</i> 230 gram
<i>Hose Gas Supply</i>	6 mm x 40 cm
<i>Sensing Element</i>	MQ-5 <i>Gas Detector</i>
<i>DC Fan</i>	2x2 cm 5 VDC (<i>inlet</i>), 8x8 cm 12 VDC (<i>exhaust</i>)
<i>Valve</i>	<i>Servo ball valve</i> (10 kgfcm)
<i>Voltage Supply</i>	220 VAC, 12 VDC, 7 VDC, 5 VDC (<i>adjustable</i>)
<i>Max Current Estimation</i>	+/- 10 A

B. Hasil Pengujian

Pengujian skenario kebocoran mode manual input kadar digunakan dalam menganalisis kesesuaian perhitungan fuzzy serta respons output yang dihasilkan. Perhitungan logika fuzzy sistem dibandingkan dengan validasi pada Excel. Hasil pengujian tercantum pada tabel 6. Berdasarkan tabel 6, diketahui bahwa dari 10 percobaan yang dilakukan, sistem memiliki kesesuaian perhitungan fuzzy dan output yang dihasilkan sebesar 100%.

Tabel 6. Skenario Mode Manual Input Kadar

No.	PPM	μS	μW	μD	$\Sigma \alpha$	Indikator	Alarm	ESD
1	0;0;250	1;1;1	0;0;0	0;0;0	1	0	0	0
2	0;250;770	1;1;0	0;0;0	0;0;1	1	50	100	50
3	250;825;0	1;0;1	0;0;0	0;1;0	1	50	100	50
4	900;200;100	0;1;1	0;0;0	1;0;0	1	50	100	50
5	765;920;205	0;0;1	0;0;0	1;1;0	1	100	100	100
6	50;795;875	1;0;0	0;0;0	0;1;1	1	100	100	100
7	800;150;1000	0;1;0	0;0;0	1;0;1	1	100	100	100
8	525;675;600	0;0;0	0.9;0.3;0.6	0.1;0.7;0.4	2	67.5	85	60
9	10;550;990	1;0;0	0;0;8;0	0;0;2;1	1	60	100	60
10	670;590;770	0;0;0	0.32;0.64;0	0.68;0.36;1	1.64	90.24	100	90.24

Rancang Bangun Sistem Proteksi Dan Monitoring Kebocoran Gas Hidrokarbon Berbasis Fuzzy Sugeno

Sebagai contoh pada percobaan 9, nilai kadar yang diinputkan adalah 10, 550, dan 990 ppm (*safety, warning, dangerous*), menghasilkan nilai *fuzzifikasi*, agregasi, dan *defuzzifikasi* yang sesuai dengan validasi Excel. Output yang dihasilkan berupa indikator *warning* (kuning), *buzzer* bekerja, serta *shutdown* pada *Line-C*. Kondisi tersebut sesuai dengan *cause and effect* nomor 6.

Pada pengujian, terdapat keterlambatan respons sekitar 1.5 detik diakibatkan karakteristik komunikasi serial. Pada sistem, Arduino mengirim data ke modul *interface* dengan interval 0.5 detik. Kemudian modul *interface* mengolah data secara berulang setiap 1 detik. Sehingga sistem membutuhkan waktu 1.5 detik untuk mengolah data dan mengirimkan sinyal kendali output antara modul *interface* dengan *board* Arduino. Pengujian skenario kebocoran mode manual input sudut digunakan dalam menganalisis performansi unit proteksi melakukan normalisasi guna menurunkan kadar gas berbahaya menjadi aman melalui *exhaust fan*. Hasil pengujian tercantum pada tabel 7

Tabel 7. Hasil Percobaan Input Sudut dengan Manual

No. Percobaan	Servo A (°)	Servo B (°)	Servo C (°)	Normalisasi (Detik)
1.	0	0	0	0
2.	0	0	100	90
3.	0	100	0	180
4.	100	0	0	90
5.	20	50	80	100
6.	0	20	70	70
7.	50	50	0	60
8.	0	50	50	60
9.	50	0	50	60
10.	0	50	100	60
11.	100	100	100	100
12.	50	50	50	60
Rata-rata				77,5

Berdasarkan tabel 7, pada percobaan kedua yakni saat *Line-C* dibuka penuh dibutuhkan waktu 90 detik untuk melakukan normalisasi kondisi. Normalisasi terlama yakni 180 detik terjadi pada percobaan *Line-B* terbuka penuh. Sedangkan pada percobaan 7, 8, 9, 10, dan 12 menghasilkan waktu normalisasi yang sama yakni 60 detik.



Gambar 11. Hasil Simulasi Percobaan Nomor 9 Mode Input Sudut Manual

Dari 12 percobaan tersebut dapat diketahui bahwa sistem proteksi mampu melakukan normalisasi kondisi dalam rentang waktu 60 hingga 180 detik dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan adalah 77,5

detik. Berikut ditampilkan contoh hasil pengujian untuk percobaan nomor 9 pada gambar 11.

Pengujian berikutnya menggunakan skenario mode otomatis dengan sudut random. Sistem berhasil melakukan pengacakan nilai sudut servo dengan memanfaatkan fungsi *random between* pada modul *interface*. Hasil pengujian mode ini tercantum pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Percobaan Input Sudut dengan Automatis

No. Percobaan	Servo A (°)	Servo B (°)	Servo C (°)
1.	0	3	86
2.	20	27	67
3.	32	16	37
4.	42	8	47
5.	7	84	6
6.	29	92	37
7.	78	33	70
8.	85	72	30
9.	16	33	47
10.	24	83	28

Pada percobaan 2 diketahui bahwa bukaan *valve* adalah 20, 27, dan 67 derajat (*Line-A, Line-B, dan Line-C*) menghasilkan pembacaan sensor 300, 350, dan 700 ppm. Nilai pembacaan sensor tersebut linier dengan bukaan *valve*. Pada percobaan input maupun acak sudut diketahui bahwa sistem tidak dapat mencapai kondisi berbahaya (*dangerous*). Hal tersebut dikarenakan *exhaust fan* sudah bekerja saat kondisi siaga (*warning*) yang diakibatkan *plant shutdown* ditandai dengan lampu indikator kuning menyala. Ketika *exhaust fan* menyala maka gas akan disedot dan dibuang ke udara bebas sehingga terjadi penurunan nilai ppm, dengan demikian kondisi berbahaya tidak dapat tercapai. dan contoh hasil simulasi pada percobaan nomor 2 dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil Simulasi Percobaan Nomor 2 Mode Automatis Sudut Random

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, diketahui bahwa prototipe sistem proteksi dan monitoring kebocoran gas berbasis *fuzzy controller* menggunakan Arduino dan Delphi mampu bekerja dengan baik. Prototipe yang mengacu pada purwarupa *manifold area* di lapangan dengan 3 jalur pipa (*Line-A, Line-B, dan Line-C*), dilengkapi *servo valve* sebagai skenario kebocoran, indikator lampu, *buzzer*, *display* LCD serta *shutdown system* yang bekerja sesuai kondisi terdeteksi. Sistem terbukti handal dalam menampilkan kadar gas terdeteksi dalam bentuk

grafik pada modul *interface* dengan tingkat kesesuaian perhitungan *fuzzy* mencapai 100% sehingga menghasilkan respons output yang sesuai meskipun terdapat *delay* selama 1.5 detik. Unit proteksi berupa *closing flow* dan *exhaust fan* mampu melakukan normalisasi kondisi dalam rata-rata waktu 77.5 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Widodo, M. M. Amin, A. Sutrisman, and A. A. Putra, "Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih Dan Gas Berbahaya Co, Co2, Dan Ch4 Di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler," *Pseudocode*, vol. 4, no. 2, pp. 105–119, 2017, doi: 10.33369/pseudocode.4.2.105-119.
- [2] Kenexis, "Fire and Gas Systems Engineering Handbook," 2013.
- [3] S. I. L. Manual, "SIL MANUAL SAFETY INSTRUMENTED."
- [4] A. Mahalingam, R. T. Naayagi, and N. E. Mastorakis, "Design and implementation of an economic gas leakage detector," in *Recent Researches in Applications of Electrical and Computer Engineering*, 2012, no. 3, pp. 20–24.
- [5] T. H. Mujawar, V. D. Bachuwar, M. S. Kasbe, A. D. Shaligram, and L. P. Deshmukh, "Development of wireless sensor network system for LPG gas leakage detection system," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 558–563, 2015, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>.
- [6] L. Hakim and V. Yonatan, "Deteksi Kebocoran Gas LPG menggunakan Detektor Arduino dengan algoritma Fuzzy Logic Mandani," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 1, no. 2, pp. 114–121, 2017, doi: 10.29207/resti.v1i2.35.
- [7] J. Tang *et al.*, "High-Sensitivity Gas Pressure Sensor Based on Fabry-Pérot Interferometer With a Side-Opened Channel in Hollow-Core Photonic Bandgap Fiber," *IEEE Photonics J.*, vol. 7, no. 6, pp. 1–7, 2015, doi: 10.1109/JPHOT.2015.2489926.
- [8] H. H. Yan and Y. Rahayu, "Design and Development of Gas Leakage Monitoring System using Arduino and ZigBee," *Proceeding Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, vol. 1, no. 1, pp. 20–21, 2014, doi: 10.11591/eecsi.v1.404.
- [9] M. F. Febriyan, I. Ziad, and S. Suroso, "Rancang Bangun Emergency Button Berbasis LORA," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 95–98, 2020, doi: 10.33387/protk.v7i2.2028.
- [10] L. I. Ramadhan, D. Syauqy, and B. H. Prasetyo, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Metode Fuzzy yang Diimplementasikan dengan Real Time Operating System (RTOS)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 11, pp. 1206–1213, 2017.
- [11] A. Wiyono, A. Sudrajat, F. Rahmah, and U. Darusalam, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Dan Pengaman Kebocoran Gas Berbasis Algoritma Bahasa C Dengan Menggunakan Sensor Mq-6," *Konf. Nas. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. I, pp. 78–85, 2017.
- [12] A. Nurhidayat, "Pengembangan dan Evaluasi Sistem Peringatan Dini untuk Kebocoran LPG Rumah Tangga," *Univ. Indones.*, 2010.
- [13] W. A. Suteja and adi surya Antara, "Sistem Pencatatan Pemakaian Listrik Menggunakan Aplikasi Arduino," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 73–78, 2019, doi: 10.33387/protk.v6i2.1229.
- [14] A. S. Wardhana, M. Ashari, and H. Suryoatmojo, "Designing and modeling a novel dual parabolic concentrator with three degree of freedom (DOF) robotic arm," *Sol. Energy*, vol. 194, pp. 436–449, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.10.057.
- [15] A. S. Wardhana, M. Ashari, and H. Suryoatmojo, "Optimal Control of Robotic Arm System to Improve Flux Distribution on Dual Parabola Dish Concentrator," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 364–378, 2020, doi: 10.22266/ijies2020.0229.34.
- [16] F. S. Fahmi and D. I. Saputra, "Pengontrolan Buka Valve Pada Sistem Vessel Separator Dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis Node Nirkabel," *Sent. 2019 Semin. Nas. Tek. Elektro 2019*, no. November 2019, pp. 135–149, 2019.
- [17] N. Sukerti, "Penerapan Fuzzy Topsis Untuk Seleksi Penerima Bantuan Kemiskinan," *J. Inform.*, vol. 15, no. 2, pp. 127–140, 2015.
- [18] H. N. Widhi and H. Winarno, "Sistem Penyiraman Tanaman Anggrek Menggunakan Sensor Kelembaban Dengan Program Borland Delphi 7 Berbasis Modul Arduino Uno R3," *Gema Teknol.*, vol. 18, no. 1, p. 41, 2014, doi: 10.14710/gt.v18i1.8807.