

Desain dan Implementasi Sistem Pengendalian Otomatis untuk Mengatur Debit Air Pada Prototipe Bendung sebagai Pencegahan Banjir

<http://dx.doi.org/10.28932/jutisi.v4i3.873>

Gun Gun Maulana^{#1}, Suharyadi Pancono^{*2}, Anastasia Mia^{#3}

Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung

Jl. Kanayakan 21, Bandung 40135

¹gungun@polman-bandung.ac.id

³Anastasiamia25@gmail.com

** Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung*

Jl. Kanayakan 21, Bandung 40135

²suharyadi_p@polman-bandung.ac.id

Abstract — Weir is a construction which is used to withstand the rate of water, and ensure water is distributed evenly. In Indonesia there are many weirs are controlled manually. It is less effective because of many human errors, for example in Garut (21/09/2016) and Bekasi (11/20/2014, 04/21/2016). In this study, the automatic weir control system was designed using VDI 2206 design method. Data of water level and flow sensor were processed by a fuzzy logic method to determine the opening of sluice and condition of the weir (safe/danger). Data is displayed on interface based on Microsoft Visual Studio. The test results on the prototype (32x20x18cm) indicate system can work automatically with 99.7% accuracy. The error is affected by ultrasonic sensor error: 5,61% and water flow sensor: 4,83%. Interface show sensor data from microcontroller can be displayed in real time. Benefits of this system are it is easy to control and monitor the weir, water flow is distributed evenly, and provides early warning information to anticipate flooding..

Keywords— Weir, Water Flow, Fuzzy Logic, Interface

I. PENDAHULUAN

Bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan taraf muka air sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi atau dengan pompa ke tempat tertentu yang membutuhkannya[1]. Di Indonesia sebagian besar pintu untuk mengendalikan bendung masih menggunakan cara manual yaitu masih membutuhkan tenaga manusia untuk membuka dan menutup pintu air, Dengan pintu air yang dioperasikan secara manual dengan menggunakan tenaga manusia, biasanya tidak ada informasi data yang menunjukkan ketinggian dan debit air secara otomatis, sehingga kurangnya fasilitas sistem pemantauan yang ada

membuat respon penanganan jika air meluap menjadi lambat[10]. Pengawasan terhadap ketinggian air pada bendungan merupakan pekerjaan yang tidak terlalu berat, namun jika terjadi kelalaian dalam pengawasan akibatnya sangat merugikan karena menyangkut keselamatan warga disekitarnya[1][11]. kerugian yang di timbulkan akibat kejadian banjir tersebut, diantaranya yaitu kerugian material dan bahkan kemungkinan jatuhnya korban jiwa[2]. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat memonitor kondisi air secara real time [3], Pada Penelitian ini, untuk mengatur bukaan pintu air bendung berdasarkan ketinggian dan debit air yang harus dialirkan bendung sebagai pencegahan terjadinya banjir, diperlukan suatu sistem yang dapat bekerja secara otomatis [4]. Sistem kendali Fuzzy merupakan salah satu alternatif sistem kendali yang sederhana, dimana pada sistem kendali Fuzzy tidak memerlukan pengetahuan tentang parameter- parameter dari system[5]. Fuzzy logic adalah cabang dari matematika dengan bantuan computer memodelkan dunia nyata seperti yang dilakukan manusia. Penggunaan PID sebagai komponen kontrol proses dilatarbelakangi terutama karena kesederhanaan dari strukturnya[2]. Penyelesaian masalah dengan himpunan fuzzy lebih mudah dari pada dengan menggunakan teori probabilitas, Logika fuzzy menjadi salah satu teknologi yang paling sukses saat ini dalam mengembangkan sistem kontrol yang canggih [6], Berbagai penerapan telah menunjukkan bahwa pengendali berbasis logika fuzzy dapat mengatasi sifat ketidakpastian yang selalu muncul pada sistem kendali [7], Bahkan Saat ini sudah banyak dikembangkan pengontrol PID yang telah terintegrasi ke dalam sebuah bahasa pemrograman, bahkan memungkinkan dilakukan pengontrolan secara real time, antara lain adalah menggunakan pemrograman Matlab[5].

Dengan menggunakan sistem ini diharapkan dapat memberikan beberapa keuntungan antara lain pengendalian pintu air dan debit air bendung menjadi lebih mudah dan ringan karena dilakukan secara otomatis, proses pemantauan yang dilakukan operator menjadi lebih mudah dengan menggunakan sebuah antarmuka berbasis *Microsoft Visual Studio*. *Microsoft Visual Studio* merupakan suatu program yang dirancang untuk menangkap posisi dan mengatur keluaran yang nantinya akan diterima oleh mikrokontroler [8], *Microsoft Visual Studio* merupakan sebuah bahasa pemrograman yang bersifat event driven dan menawarkan Integrated Development Environment (IDE) visual untuk membuat program aplikasi berbasis sistem operasi Microsoft Windows dengan menggunakan model pemrograman Common Object Model (COM) [9].

II. LANDASAN TEORI

A. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pengendalian dan pemantauan bendung, antara lain:

1) *Penelitian yang dilakukan Fahrudin. 2014 dari Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Makassar*: Menjabarkan tentang alat yang dirancang mampu memonitoring ketinggian aktifitas air pada waduk serta mengontrol pintu air secara otomatis sesuai ketinggian aktifitas air, Pemanfaatan sensor ping ultrasonic sebagai input dan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai pusat pengolahan dari input sehingga menghasilkan output dari LCD grafik, Sistem monitoring ini juga menggunakan LCD grafik yang metode penerapannya sangat sulit untuk memvisualisasikan gambar yg dikirim oleh sensor Ping,

2) *Penelitian yang dilakukan oleh Dzulfikar Akmaludin dan Rudy Hermawan dari STIMIK AMIKOM Yogyakarta pada tahun 2010*: Menjabarkan tentang Perancangan Prototipe Sistem Pengendali Kanal Air dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega8535. Hasil dari penelitian ini adalah: Mikrokontroler ATmega8535 dapat digunakan sebagai sistem kendali pada kanal air. Dapat menggunakan switch atau saklar sebagai sensor yang di jadikan acuan pendeteksi ketinggian air, dan pelampung yang terbuat dari plastik,

3) *Penelitian yang dilakukan Fivtatianti Hendajani dan Andri Tri Sulistiyanto dari STMIK Jakarta pada tahun 2017*: menjabarkan tentang Visualisasi Pintu Air Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik Memanfaatkan NUVOTON NUC140VE3CN Alat ini mampu mengontrol aliran air yang keluar dari bendungan dengan pergerakan pintu air secara otomatis yang dikendalikan oleh mikrokontroler sesuai ketinggian permukaan air yang dibaca oleh sensor ultrasonik. Dalam hal simulasi alat ini mampu mendeteksi permukaan air secara akurat sampai dengan jarak kurang dari 200 cm dari sensor ultrasonik ke permukaan air.

Maka kelebihan dari sistem yang kami kembangkan adalah system mampu mengendalikan pintu-pintu air bendung berdasarkan ketinggian dan debit air yang harus dialirkan bendung secara otomatis. Pada sistem ini ketinggian air, debit air, dan keadaan pintu air bendung juga dapat dipantau melalui sebuah antarmuka berbasis *Visual Studio* untuk memudahkan pekerjaan operator dan untuk mengetahui perubahan data secara *real time*, serta data tersebut juga dapat di akses dengan Android, agar dapat menyebarkan informasi ke masyarakat dan bertujuan sebagai peringatan dini jika terjadinya banjir.

B. Bendung

Bendung adalah suatu konstruksi bangunan air dengan kelengkapannya yang dibangun melintang sungai untuk menahan laju air dan meninggikan taraf muka air, sehingga air dapat dialirkan ke beberapa tempat tertentu yang membutuhkannya. Pada umumnya bendung juga digunakan sebagai penampung air dalam jumlah besar yang kemudian akan disalurkan ke beberapa wilayah untuk memenuhi kebutuhan sehari – hari. Bendung juga berfungsi sebagai alat pengendali dan pemonitor seluruh tata pengaturan air dan juga sebagai antisipasi bencana banjir [2].

C. Debit Air (Flow Rate)

Debit air (*flow rate*) merupakan jumlah volume air yang mengalir dalam waktu tertentu melalui suatu penampang air, sungai, saluran, pipa atau keran. Aliran air dikatakan memiliki sifat ideal apabila air tidak dapat dimanfaatkan dan berpindah tanpa mengalami gesekan, hal ini berarti pada gerakan air tersebut memiliki kecepatan yang tetap pada masing-masing titik dalam pipa dan gerakannya beraturan akibat pengaruh gravitasi bumi [7].

D. Ultrasonic Sensor

Sensor ultrasonic termasuk kedalam kategori sensor aktif dan sensor *exteroceptive*, sensor ini bekerja dengan mengirim satu paket gelombang *ultrasonic* dan menghitung waktu tempuh hingga sinyal tersebut memantul kembali ke sensor. Jarak d , yaitu jarak antara sensor dan objek yang menyebabkan pemantulan dapat dihitung berdasarkan kecepatan propagasi suara (c) dan waktu tempuh gelombang hingga kembali lagi ke sensor (t) [5]

$$d = \frac{c.t}{2} \quad (1)$$

E. Water Flow Sensor

Water Flow Sensor terdiri dari katup plastik, rotor air, dan sensor *Hall Effect*. Ketika air mengalir melalui gulungan rotor-rotor. Kecepatan perubahan dengan tingkat aliran yang berbeda sesuai sensor *Hall Effect output* sinyal [7]. Kelebihan sensor ini adalah hanya membutuhkan 1 sinyal (SIG) selain jalur 5V DC dan *ground*, seperti pada gambar 1.



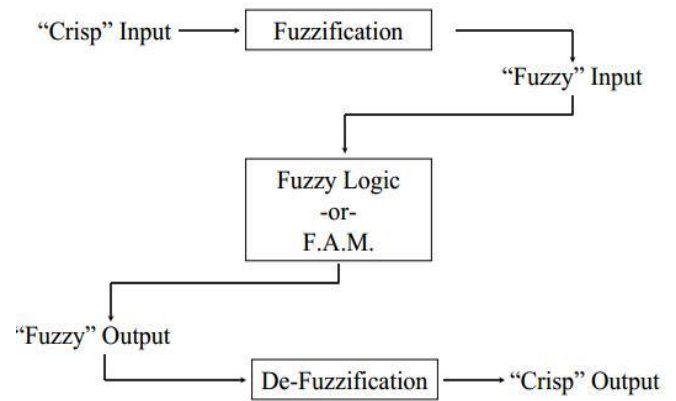
Gambar 1. Water Flow Sensor YF-S201 [7]

F. Microsoft Visual Studio

Antarmuka pada sistem ini menggunakan perangkat lunak Microsoft Visual Studio dengan bahasa Visual Basic.NET. Microsoft Visual Studio ini adalah perangkat lunak lengkap (*suite*) yang dapat digunakan untuk melakukan pengembangan aplikasi, baik itu aplikasi bisnis, aplikasi personal, ataupun komponen aplikasinya, dalam bentuk aplikasi console, aplikasi Windows, ataupun aplikasi Web. Kompiler yang dimasukkan ke dalam paket Visual Studio antara lain Visual C++, Visual C#, Visual Basic, Visual Basic .NET, Visual InterDev, Visual J++, Visual J#, Visual FoxPro, dan Visual SourceSafe [3].

G. Fuzzy Logic

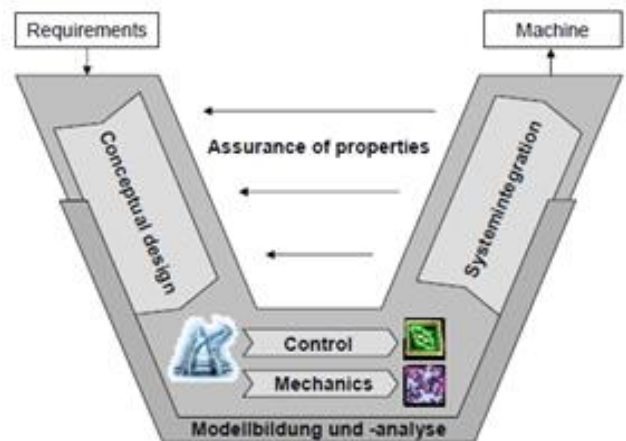
Fuzzy logic (logika fuzzy) adalah suatu bentuk dari beberapa nilai logika dimana nilai kebenaran dari suatu variabel dapat bernilai antara 0 dan 1. *Fuzzy logic* juga merupakan sebuah metodologi “berhitung” dengan variabel kata-kata (*linguistic variable*), biasanya sebagai pengganti berhitung dengan bilangan [12]. Dimana kata-kata ini akan lebih mudah dipahami oleh manusia karena lebih dekat dengan intuisi manusia dan sudah dipakai sehari-hari. *Fuzzy logic* juga dapat diartikan sebagai sebuah metode kontrol dengan pendekatan yang menghasilkan logika bernilai banyak, berkisar dari 0 sampai 1 (0 -100%) [12]. *Fuzzy logic* dapat diselesaikan dengan beberapa model, yaitu model Mamdani, model Sugeno, dan model Tsukamoto. Pada penelitian ini, *fuzzy logic* yang digunakan adalah model Mamdani, Pada Gambar 2. dibawah ini menunjukkan blok diagram proses *fuzzy logic* model Mamdani [4].



Gambar 2. Proses fuzzy logic [9]

H. Standar Perancangan VDI 2206 (Mechatronic Design Methodology)

Pada Gambar 3. Dibawah ini adalah Pedoman VDI 2206 "Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme" (metodologi Pembangunan untuk sistem mekatronika) merupakan hasil kolaborasi bekerja dengan komite VDI A127 "Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme". Mekatronika adalah sinergi dalam integrasi mekanik, listrik, dan sistem komputer dengan sistem informasi untuk desain dan pembuatan produk dan proses [3].



Gambar 3. Model perancangan sistem mekatronika VDI 2206 [3]

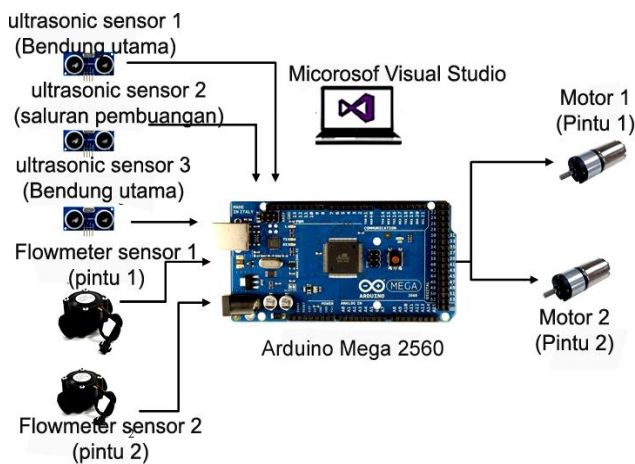
- 1) *Products Requirements*: dimulai dengan mendeskripsikan tugas yang akan di jalankan.
- 2) *System design*: menemukan konsep solusi yang menjelaskan tentang keseluruhan fungsi dari sistem, yang akan dibagi kedalam sub-fungsi, agar mendapatkan solusi yang cocok pada masing-masing elemen.
- 3) *Domain specific design*: konsep solusi yang telah berkembang dari gabungan *domain* yang berkaitan.
- 4) *System Integration*: hasil dari domain pokok yang di integrasikan untuk sebuah sistem secara keseluruhan agar menganalisa hubungan timbal-balik
- 5) *Verification/validation*: kemajuan atau perkembangan desain yang telah dicek.

- 6) *Modelling and model analysis*: tahapan penjelasan simulasi *modelling* dan analisis karakteristik sistem dengan bantuan model dan komputer untuk simulasi.
- 7) *Product/Unir*: Hasil dari implementasi system.

III. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

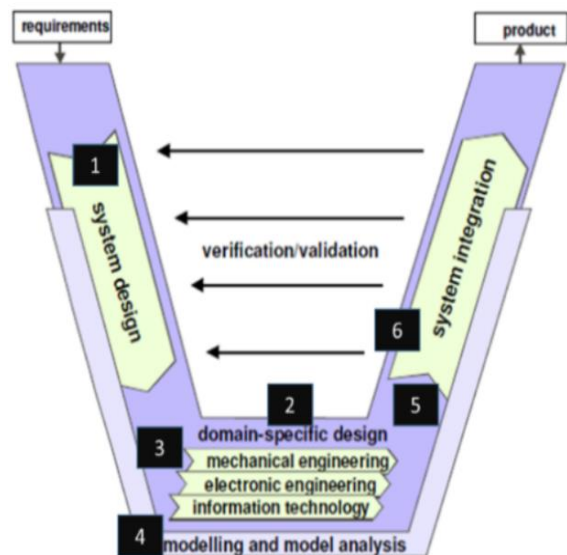
Pada penelitian ini, sistem kendali bendung akan membaca ketinggian air dengan menggunakan *ultrasonic sensor*, menentukan debit air yang harus dikeluarkan dari bendung dengan menggunakan *water flow sensor*, menentukan pintu air mana yang harus dibuka, dan menyesuaikan besarnya bukaan pintu air sesuai debit air yang ingin dicapai. Sistem ini juga dilengkapi dengan antarmuka berbasis Microsoft Visual Studio untuk memantau ketinggian air, debit air, keadaan pintu air, dan status dari bendung seperti pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Gambaran Umum Sistem Prototipe Bendung

B. Penerapan Standar Perancangan Metode VDI 2206

Alur perancangan V model pada VDI 2206 ditampilkan pada gambar 5. yang digunakan dalam perancangan sistem. pengaplikasian model VDI 2206 pada sistem, diantaranya Perancangan Sistem, Domain Desain Spesifik dan Integrasi Sistem.



Gambar 5. V model dan sub proses model VDI 2206 keseluruhan [3]

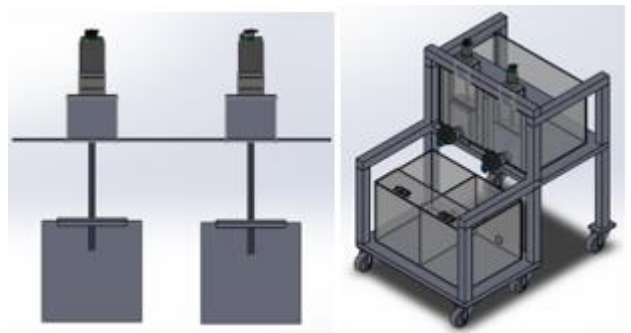
C. Perancangan Sistem

Tahapan ini merupakan sub proses dari garis besar pembuatan sistem yang telah ditetapkan. Daftar persyaratan ini dibuat dengan tujuan untuk memperjelas batasan-batasan yang perlu diperhatikan dalam pengerjaan sistem serta mempermudah tahapan yang harus dilakukan. Dalam tabel I. terlampir spesifikasi dari tuntutan yang harus dipenuhi dalam proses perancangan sistem ini secara umum.

D. Domain Rancangan Spesifik

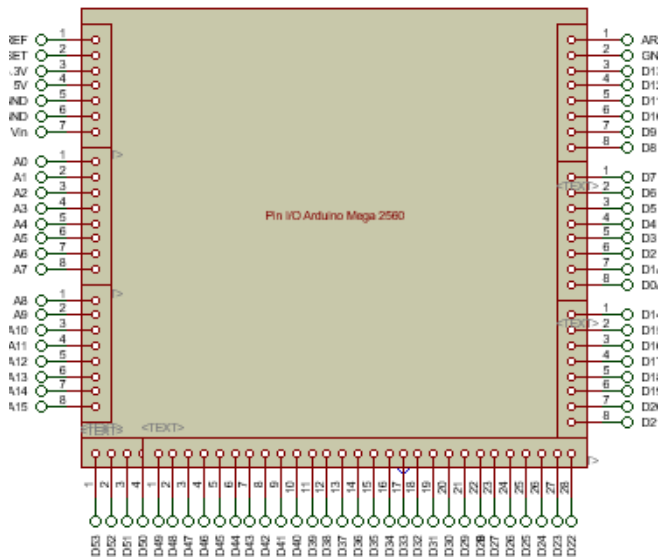
Menurut standar VDI 2206, pada sistem mekatronika ada tiga domain utama yang menyusun suatu produk, yaitu mekanik, elektrik, dan informatik.

1) *Perancangan Domain Mekanik*: Sistem mekanik prototipe bendung yang dibangun terdiri dari motor DC, kopling, *threaded rod and nut* M6, dan pintu air. Bahan yang digunakan untuk kopling adalah aluminium alloy karena kokoh dan memiliki ketahanan terhadap karat, selain itu bahan ini ringan sehingga tidak terlalu membebani motor DC. Bahan yang digunakan untuk konstruksi prototype bendung adalah akrilik. Pada Gambar 6. berikut ini tampilan rancangan desain dari mekanik.



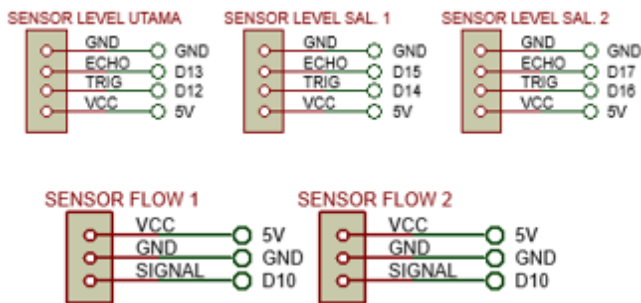
Gambar 6. Rancangan mekanik

2) *Perancangan Domain Elektrik*: Gambar 7 merupakan gambar dari sambungan milik Arduino Mega 2560 yang berfungsi untuk mengolah data sensor dan sebagai pengendali utama sistem ini.



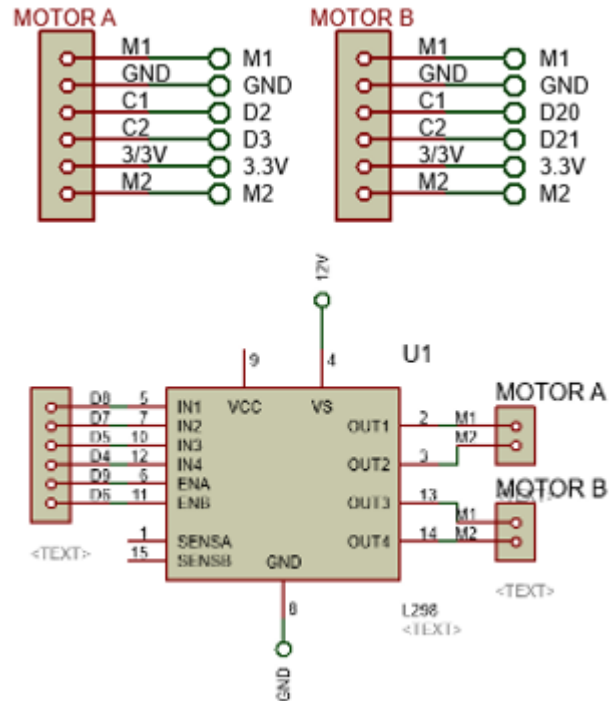
Gambar 7. Sambungan konektor kontroler Arduino Mega 2560

Berikut adalah skematik sambungan Arduino Mega 2560 dengan *sensor ultrasonic*.



Gambar 8. Rangkaian *sensor ultrasonic* dan *water flow sensor*

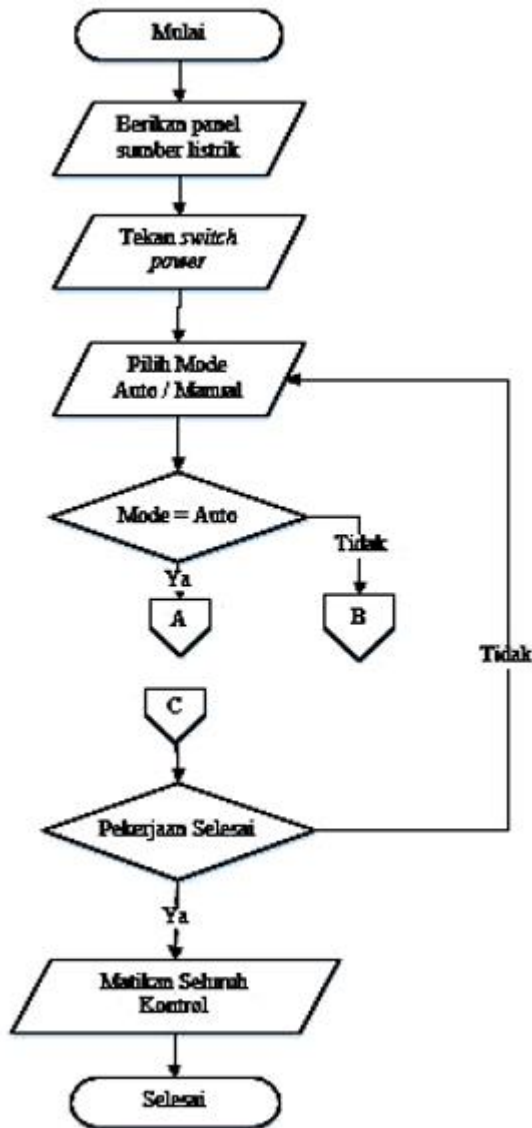
Pada gambar 8, terdapat skematik rangkaian untuk tiga buah *sensor ultrasonic*. Konektor *sensor ultrasonic* memiliki empat *pin*, dua *pin* untuk catu daya, dan dua *pin* lainnya untuk *Trigger* dan *Echo* yang terhubung ke kontroler. Pada gambar 8, terdapat skematik rangkaian untuk dua buah *water flow sensor*. Konektor *sensor ultrasonic* memiliki tiga *pin*, dua *pin* untuk catu daya, dan satu *pin* lainnya untuk *Signal* yang terhubung ke kontroler.



Gambar 9. Rangkaian penggerak motor DC

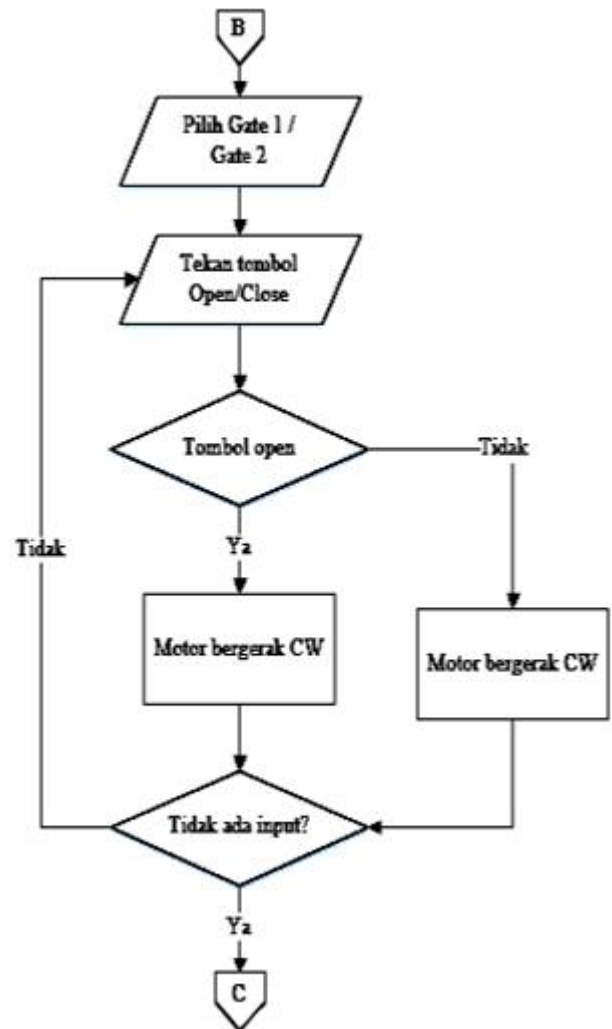
Pada gambar 9, terdapat skematik rangkaian penggerak untuk dua buah motor DC. Konektor motor DC memiliki enam *pin*, dua *pin* (M1 dan M2) terhubung ke rangkaian penggerak pada gambar 9, dua *pin* untuk catu daya encoder (3,3V dan Gnd), dan dua *pin Signal encoder* (C1 dan C2) yang terhubung ke kontroler.

3) *Perancangan Domain Informatik*: Pada perancangan domain informatik, sistem yang akan dirancang menggunakan Arduino IDE dan Microsoft Visual Studio. Sistem ini menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mengendalikannya. Adapun diagram alir sistem secara umum dapat dilihat pada gambar 10.



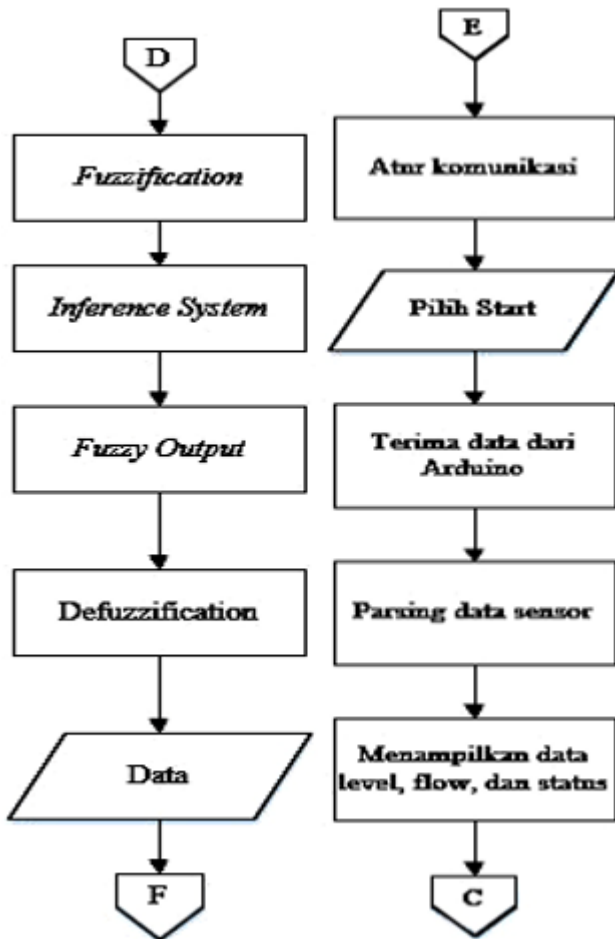
Gambar 10. Diagram alir sistem secara umum

Jika mode auto yang dipilih, maka sensor akan membaca data ketinggian dan debit air, kemudian diolah di mikrokontroler untuk *fuzzy logic process* dan dikirim ke antarmuka. Setelah *fuzzy logic process*, maka dihasilkan data *output* untuk mengendalikan motor pada pintu air. Jika mode manual yang dipilih, pengguna memilih motor yang akan digerakkan. Jika tombol *jog (open/close)* pada antarmuka ditekan motor tersebut akan bergerak (CW/CCW) sesuai dengan tombol yang ditekan. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 juga mengirim data sensor ke antarmuka untuk proses pemantauan, seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir mode auto dan manual

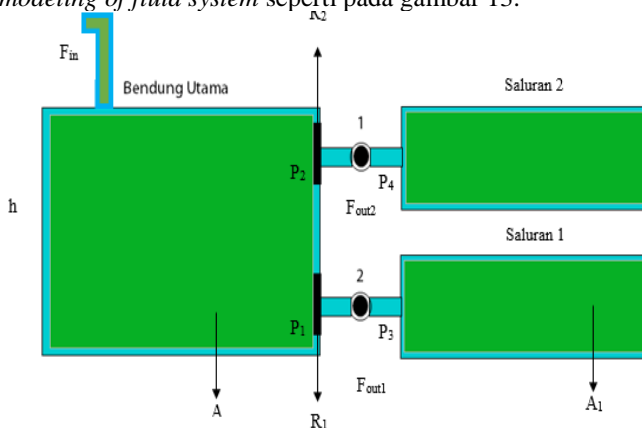
Pada sistem ini, digunakan *fuzzy logic process* sebagai metode pengendalian dan pengambilan keputusan. Data yang diperoleh dari sensor kemudian difuzzifikasi oleh sistem, yaitu *input* dikonversi menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Kemudian, *input* yang telah difuzzifikasi dievaluasi menggunakan rule yang telah ditetapkan (*rule evaluation*). Lalu dilakukan defuzzifikasi dimana *output fuzzy* dari sistem diubah menjadi bentuk *crisp* menggunakan fungsi keanggotaan. Diagram alir *fuzzy logic proses* dapat dilihat pada gambar 12. Pada antarmuka, yang pertama dilakukan yaitu mengatur komunikasi antara antarmuka dan mikrokontroler. Kemudian menekan tombol *Start* dan antarmuka akan menerima data sensor dari mikrokontroler. Lalu dilakukan proses parsing data agar dapat ditampilkan pada antarmuka, dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir fuzzy logic process dan antarmuka sistem

E. Pemodelan dan Analisis Model

Agar perancangan yang nanti akan dibuat sesuai, maka dibutuhkan langkah pemodelan terlebih dahulu. Pemodelan yang digunakan pada sistem bendung ini yaitu *mathematical modeling of fluid system* seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Physical process

| | | |
|----------------------|---|-----|
| F_{in} | = incoming flowrate (m ³ /s) | |
| F_{out1}, F_{out2} | = outgoing flowrate (m ³ /s) | |
| h, h_2, h_3 | = head in tank (m) | |
| R_1, R_2 | = resistance to flow | |
| A, A_1, A_2 | = area of tank (m ²) | |
| P_1, P_2 | = pressure | |
| P | = $\rho \cdot g \cdot h$ | (2) |

Resistance of the liquid didefinisikan sebagai perubahan pada level (antara suatu tempat dengan tempat lain) dimana menyebabkan terjadinya perubahan pada flow rate [14].

$$R = \text{Resistance to flow} = \frac{\text{pressure difference}}{\text{flow through valve (m}^3/\text{s)}} \quad (3)$$

$$\text{Pressure difference} = P_1 - P_2 = R \cdot F_{out}$$

$$V = A \cdot h \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dh}{dt} = F_{in} - F_{out1} - F_{out2}$$

$$P_1 - P_3 = R_1 \cdot F_{out1}$$

$$P_1 - P_3 = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_2 - P_4 = R_2 \cdot F_{out2}$$

$$P_2 - P_4 = \rho \cdot g \cdot h$$

$$A \frac{dh}{dt} = F_{in} - \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_1} - \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_2} \quad (5)$$

$$\frac{dh}{dt} + \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_1} + \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_2} = F_{in}$$

$$\dot{h} = \frac{F_{in} - \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_1} - \frac{\rho \cdot g \cdot h}{R_2}}{A}$$

$$V_1 = A_1 \cdot h_1$$

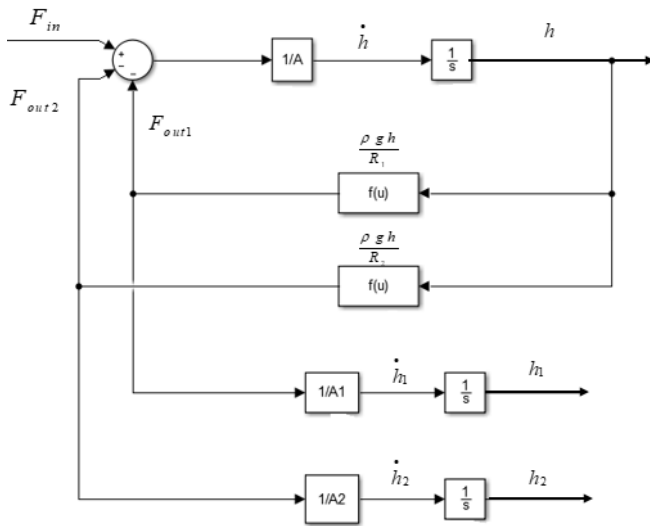
$$\frac{dV_1}{dt} = A_1 \frac{dh_1}{dt} = F_{in}$$

$$\dot{h}_1 = \frac{F_{in}}{A_1} = \frac{F_{out1}}{A_1}$$

$$V_2 = A_2 \cdot h_2 \quad (6)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = A_2 \frac{dh_2}{dt} = F_{in}$$

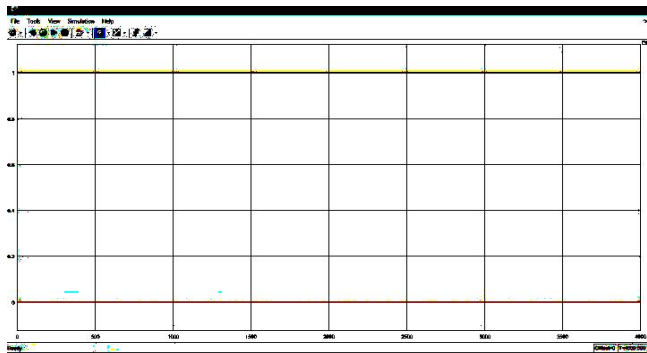
$$\dot{h}_2 = \frac{F_{in}}{A_2} = \frac{F_{out2}}{A_2} \quad (7)$$



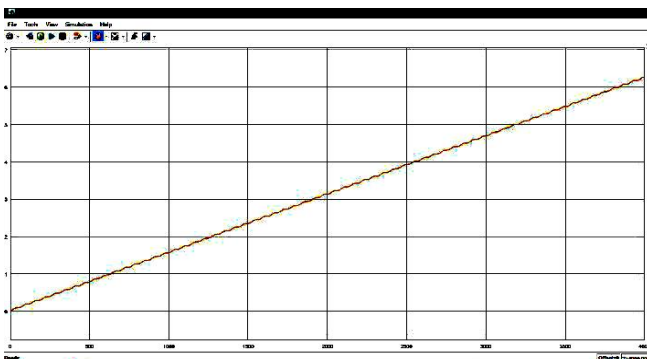
Gambar 14. Diagram blok *physical process*

Dari diagram blok pada gambar 14, dengan massa jenis air sebesar 1000 kg/m^3 , gaya gravitasi sebesar 9.8 m/s^2 dan beberapa parameter hambatan (R) yang berubah-ubah, maka diperoleh beberapa hasil respon sistem seperti berikut :

a. Besar hambatan (*resistance*) yaitu $R_1 = 0, R_2 = 0$

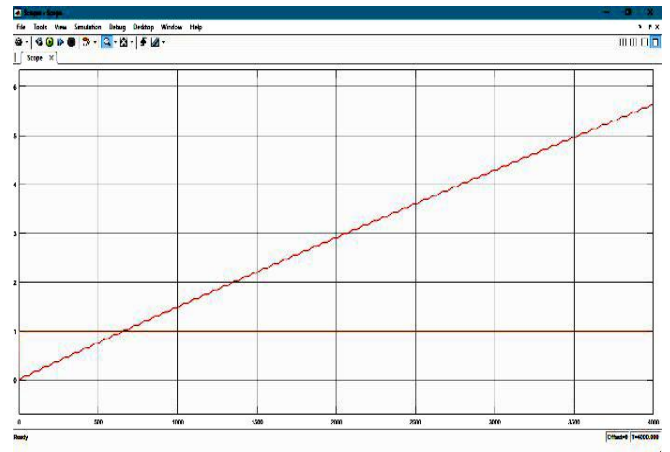


Gambar 15. Respon sistem persamaan 3.9 ($R_1 = 0, R_2 = 0$)

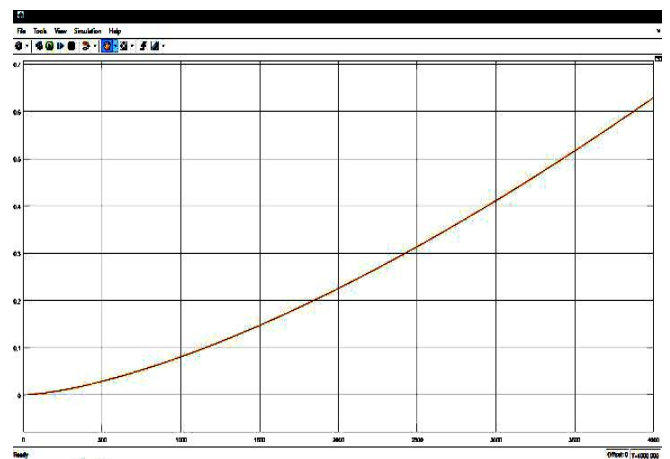


Gambar 16. Respon sistem persamaan 3 dan 4 ($R_1 = 0, R_2 = 0$)

b. Besar hambatan (*resistance*) yaitu $R_1 = 1000, R_2 = 1000$



Gambar 17. Respon sistem persamaan 7 ($R_1 = 1000, R_2 = 1000$)



Gambar 18. Respon sistem persamaan 6 dan 7

Dari Gambar 15, 16, 17, 18 dapat disimpulkan semakin kecil nilai hambatan (R_1 dan R_2) maka semakin rendah *level* air pada bendung utama, yang berarti nilai debit air yang dikeluarkan dari bendung akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya semakin besar nilai hambatan (R_1 dan R_2) maka semakin tinggi *level* air pada bendung utama, yang berarti nilai debit air yang dikeluarkan dari bendung akan semakin kecil. Untuk menjaga agar *level* dan debit air pada bendung utama tetap pada kondisi aman, maka diperlukan suatu metode untuk mengendalikannya beberapa parameter tersebut, sehingga dipilihlah metode *fuzzy logic control* untuk mengendalikan sistem ini. Selain itu, ada beberapa alasan penggunaan logika fuzzy, antara lain:

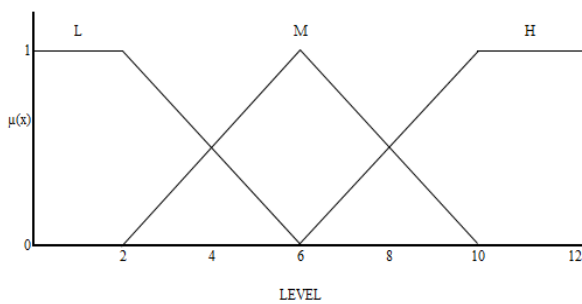
1. Logika fuzzy sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan, dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan. Artinya logika ini bisa diterapkan baik pada prototipe maupun pada

keadaan nyata di bendung yang mempunyai parameter ketinggian dan debit air yang berubah-ubah, dengan mengubah nilai parameter dari *membership function*.

2. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional. Hal ini umumnya terjadi pada aplikasi di bidang teknik mesin maupun teknik elektro.

3. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami. Logika fuzzy menggunakan bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti. Sehingga sistem ini dapat digunakan untuk sistem ini yang menggunakan bahasa sehari-hari seperti *low, medium, high* untuk mewakili setiap kategori Siaga 1, Siaga 2, Siaga 3 untuk menentukan kondisi bendung.

1. *Fuzzy Logic Process* Himpunan Fuzzy Himpunan Fuzzy untuk Variabel Level seperti terlihat pada gambar 19.

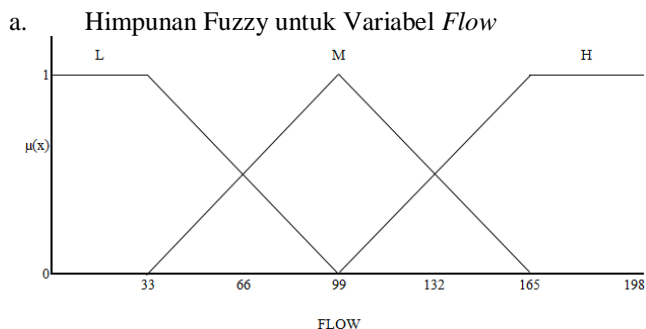


Gambar 19. Himpunan Fuzzy untuk Variabel Level

Tabel I merupakan tabel *linguistic* yang digunakan untuk variabel *level*, dimana setiap nilai rentang ketinggian mewakili dari kategori status siaga bendung.

TABEL I
TABEL LINGUISTIC VARIABEL LEVEL

| No | Linguistic Variabel | Domain Himpunan Fuzzy (cm) | Kategori |
|----|---------------------|----------------------------|----------|
| 1 | Low (L) | 0-6 | Siaga 3 |
| 2 | Medium (M) | 2-10 | Siaga 2 |
| 3 | High (H) | >10 | Siaga 1 |

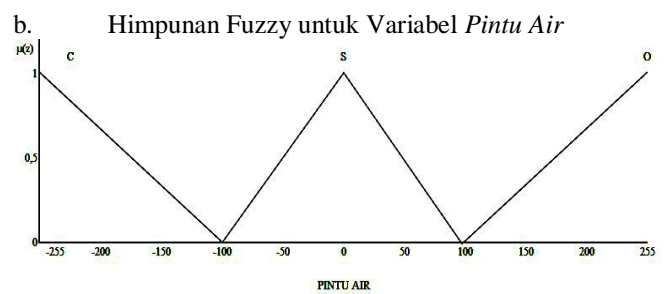


Gambar 20. Himpunan Fuzzy untuk Variabel Flow

Pada Gambar 20. himpunan fuzzy untuk variabel *flow*, adapun semesta pembicaraan yang digunakan yaitu dengan rentang debit air, sebesar 0 – 198 cm. Tabel II merupakan tabel *linguistic* yang digunakan untuk variabel *flow*, dimana setiap nilai rentang ketinggian mewakili dari kategori status siaga bendung.

TABEL II
TABEL LINGUISTIC VARIABEL FLOW

| No | Linguistic Variabel | Domain Himpunan Fuzzy (cm) | Kategori |
|----|---------------------|----------------------------|----------|
| 1 | Low (L) | 0-33 | Siaga 3 |
| 2 | Medium (M) | 33-165 | Siaga 2 |
| 3 | High (H) | 99-198 | Siaga 1 |



Gambar 21. Himpunan Fuzzy untuk Variabel Pintu Air

Gambar 21. menunjukkan himpunan fuzzy untuk variabel pintu air, adapun semesta pembicaraan yang digunakan yaitu dengan rentang pwm, sebesar -255 sampai dengan 255, dimana negatif (-) berarti *output* pwm yang membuat motor DC bergerak CCW, sedangkan positif (+) berarti *output* pwm yang membuat motor DC bergerak CW.

Tabel III merupakan tabel *linguistic* yang digunakan untuk variabel pintu air.

TABEL III
TABEL LINGUISTIC VARIABEL PINTU AIR

| No | Linguistic Variabel | Domain Himpunan Fuzzy (cm) |
|----|---------------------|----------------------------|
| 1 | Close (C) | (-255) - (-100) |
| 2 | Stop(S) | (-100) - 100 |
| 3 | Open (O) | 100 - 255 |

F. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada metode *mamdani* ini, fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi MIN. Misal, tentukan besarnya pwm motor DC untuk menggerakkan pintu air, jika nilai dari variabel level adalah 4 dan nilai dari variabel flow adalah 132.

1) Inference System

Pada table IV dibawah ini menunjukkan adalah table rule base yang akan mengkonversi nilai,

TABEL IV
RULES BASE

| | | Level | | | |
|------|---|-------|---|---|--|
| | | L | M | H | |
| Flow | L | C | O | O | |
| | M | C | S | O | |
| | H | C | C | O | |

Dimana :

- L = Low
- M = Medium
- H = High
- O = Open
- C = Close
- S = Stop

Kemudian, dari tabel V diuraikan menjadi sembilan aturan dasar (rules base) seperti berikut :

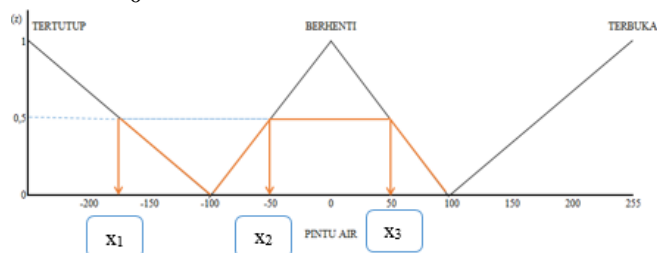
- [R1] IF Level LOW AND Flow LOW
THEN Pintu Air CLOSE
 $\alpha_{Predikat1}$
 $= \mu_{LevelLow} \cap \mu_{FlowLow}$
 $= \min(\mu_{LevelLow}(4), \mu_{FlowLow}(132))$
 $= \min(0,5;0)$
 $= 0$
- [R2] IF Level LOW AND Flow MEDIUM
THEN Pintu Air CLOSE
 $\alpha_{Predikat2}$
 $= \mu_{LevelLow} \cap \mu_{FlowMedium}$
 $= \min(\mu_{LevelLow}(4), \mu_{FlowMedium}(132))$
 $= \min(0,5;0,5)$
 $= 0,5$
- [R3] IF Level LOW AND Flow HIGH
THEN Pintu Air CLOSE
 $\alpha_{Predikat3}$
 $= \mu_{LevelLow} \cap \mu_{FlowHigh}$
 $= \min(\mu_{LevelLow}(4), \mu_{FlowHigh}(132))$
 $= \min(0,5;0,5)$
 $= 0,5$
- [R4] IF Level MEDIUM AND Flow LOW
THEN Pintu Air OPEN
 $\alpha_{Predikat4}$
 $= \mu_{LevelMedium} \cap \mu_{FlowLow}$
 $= \min(\mu_{LevelMedium}(4), \mu_{FlowLow}(132))$
 $= \min(0,5;0)$
 $= 0$
- [R5] IF Level MEDIUM AND Flow MEDIUM
THEN Pintu Air STOP
 $\alpha_{Predikat5}$
 $= \mu_{LevelMedium} \cap \mu_{FlowMedium}$

$$= \min(\mu_{LevelMedium}(4), \mu_{FlowMedium}(132))$$

$$= \min(0,5;0,5)$$

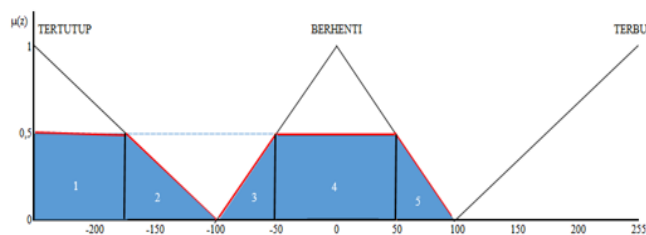
$$= 0,5$$

- [R6] IF Level MEDIUM AND Flow HIGH
THEN Pintu Air CLOSE
 $\alpha_{Predikat6}$
 $= \mu_{LevelMedium} \cap \mu_{FlowHigh}$
 $= \min(\mu_{LevelMedium}(4), \mu_{FlowHigh}(132))$
 $= \min(0,5;0,5)$
 $= 0,5$
- [R7] IF Level HIGH AND Flow LOW
THEN Pintu Air OPEN
 $\alpha_{Predikat7}$
 $= \mu_{LevelHigh} \cap \mu_{FlowLow}$
 $= \min(\mu_{LevelHigh}(4), \mu_{FlowLow}(132))$
 $= \min(0;0)$
 $= 0$
- [R8] IF Level HIGH AND Flow MEDIUM
THEN Pintu Air OPEN
 $\alpha_{Predikat8}$
 $= \mu_{LevelHigh} \cap \mu_{FlowMedium}$
 $= \min(\mu_{LevelHigh}(4), \mu_{FlowMedium}(132))$
 $= \min(0;0,5)$
 $= 0$
- [R9] IF Level HIGH AND Flow HIGH
THEN Pintu Air OPEN
 $\alpha_{Predikat9}$
 $= \mu_{LevelHigh} \cap \mu_{FlowHigh}$
 $= \min(\mu_{LevelHigh}(4), \mu_{FlowHigh}(132))$
 $= \min(0;0,5)$
 $= 0$



Gambar 22. Komposisi Output

- 2) Mengkomposisikan semua output
Dari gambar 22. Terlihat bagaimana gambaran tentang komposisi output

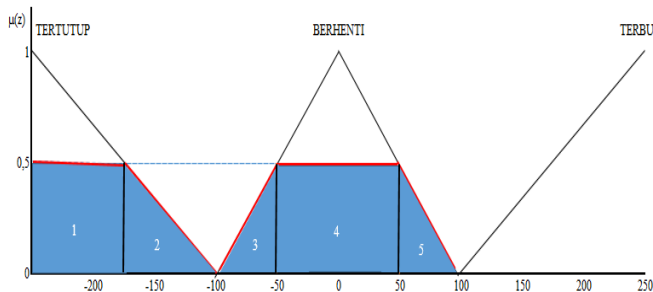


Gambar 23. Komposisi Semua Output

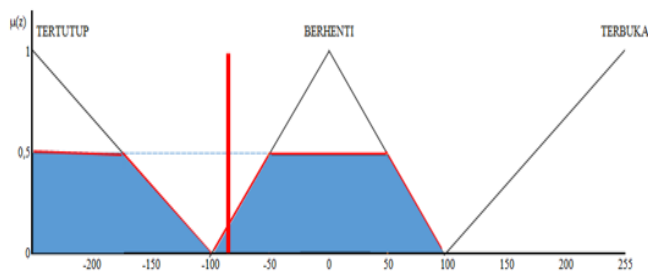
3) Defuzzyfikasi

Metode defuzzyfikasi yang digunakan pada system ini adalah centroid technique seperti pada gambar 23.. Metode ini mencari *centre of gravity* (COG) dari aggregate set. Untuk melihat komposisi luas daerah output sebagaimana terlihat pada gambar 24.

Luas Daerah



Gambar 24. Komposisi Luas Daerah Output



Gambar 25. Output Defuzzyfikasi

Gambar 25 menunjukkan besarnya nilai pwm motor DC jika nilai dari variabel *level* 4 dan nilai dari variabel *flow* 132 adalah **85,1** untuk arah CCW.

G. Integrasi Sistem

Tahap ini merupakan tahapan akhir dari proses perancangan system, yaitu integrasi sistem. Proses ini merupakan gabungan dari semua sistem.

H. Verifikasi dan Validasi

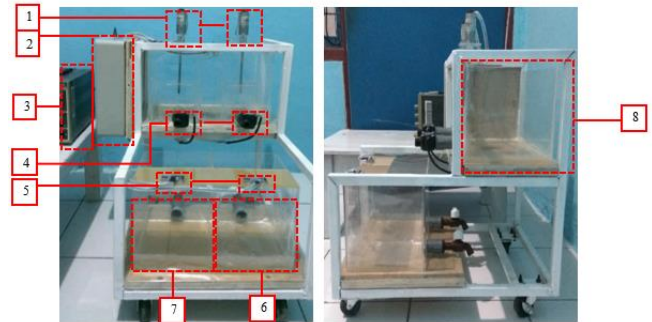
Verifikasi dan validasi sistem dilakukan mengacu pada daftar tuntutan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Setelah proses verifikasi dan validasi dilakukan maka akan dilakukan tahap pengujian sistem sebagai perbandingan antara rencana sistem dengan aktual sistem.

I. Produk

Domain terakhir ini merupakan hasil dari implementasi sistem yang telah dirancang dan merupakan gabungan dari domain mekanik, elektrik, dan informatik.

IV. HASIL IMPLEMENTASI DAN ANALISIS

Pada bab ini membahas mengenai hasil yang didapatkan dari rancangan yang telah dibuat seperti pada gambar 26.



Gambar 26. Tampak Depan dan Samping Prototipe

Keterangan :

1. Motor DC, sebagai penggerak untuk mengendalikan pintu air.
2. Box panel, sebagai tempat komponen dan rangkaian elektrik.
3. *Power supply*, sebagai sumber tegangan (*supply*) untuk sistem ini.
4. *Water flow sensor*, untuk mengukur besarnya debit air bendung.
5. *Ultrasonic sensor*, berfungsi untuk mengukur ketinggian permukaan air.
6. Saluran 1, sebagai saluran pembuangan 1 untuk mengalirkan air dari bendung utama.
7. Saluran 2, sebagai saluran pembuangan 2 untuk mengalirkan air dari bendung utama.
8. Bendung utama, sebagai tempat utama untuk menampung air.

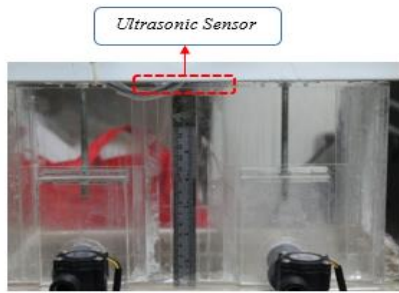
A. Pengujian Sensor Ketinggian dan Debit Bendung

- 1) *Ultrasonic Sensor*: Pengujian sensor ultrasonic dilakukan dengan tujuan untuk menentukan ketelitian sensor saat membaca ketinggian air pada bendung. Persamaan 9. digunakan untuk menghitung jarak antara air dan sensor dimana t = air time. Air time adalah waktu tempuh gelombang ultrasonic yang dipantulkan dari Trigger dan kembali diterima oleh Echo.

Pada persamaan 9 merupakan jarak dari sensor ultrasonic ke bagian dasar prototipe bendung. Sedangkan c adalah kecepatan rambat suara.

$$d = 17,5 - \frac{c.t}{2} \quad (9)$$

Pengujian dilakukan dengan asumsi kecepatan rambat suara di udara sebesar 340 m/s. Tabel V menunjukkan hasil pengukuran sensor ultrasonic yang dibandingkan dengan pengukuran menggunakan penggaris yang memiliki ketelitian ± 1 mm, seperti dapat dilihat pada gambar 27 dan gambar 28.



Gambar 27. Pengambilan Data Ketinggian Air



Gambar 28. Pengambilan data hasil pengukuran dan program arduino

Pada gambar 28 menunjukkan perbandingan antara data hasil pengukuran dengan data *duration* (*air time*) yang digunakan untuk perhitungan menggunakan persamaan 9. Kemudian dilakukanlah pengujian dengan pengambilan data setiap 0,5 cm sehingga diperoleh data seperti pada tabel V.

TABEL V
HASIL PENGUJIAN ULTRASONIC SENSOR

| No | Ketinggian air [cm] | Pengujian | | | |
|-----------|---------------------|---------------|------------|------------|-----------|
| | | Air Time [uS] | Teori [cm] | Error [cm] | Error [%] |
| 1 | 1 | 960 | 1.18 | 0.18 | 15.25 |
| 2 | 1.5 | 930 | 1.69 | 0.19 | 11.24 |
| 3 | 2 | 918 | 1.894 | 0.11 | 5.60 |
| 4 | 2.5 | 870 | 2.71 | 0.21 | 7.75 |
| 5 | 3 | 841 | 3.203 | 0.20 | 6.34 |
| 6 | 3.5 | 813 | 3.679 | 0.18 | 4.87 |
| 7 | 4 | 765 | 4.495 | 0.49 | 11.01 |
| 8 | 4.5 | 743 | 4.869 | 0.37 | 7.58 |
| 9 | 5 | 721 | 5.243 | 0.24 | 4.63 |
| 10 | 5.5 | 689 | 5.787 | 0.29 | 4.96 |
| 11 | 6 | 659 | 6.297 | 0.30 | 4.72 |
| 12 | 6.5 | 632 | 6.756 | 0.26 | 3.79 |
| 13 | 7 | 602 | 7.266 | 0.27 | 3.66 |
| 14 | 7.5 | 584 | 7.572 | 0.07 | 0.95 |
| 15 | 8 | 540 | 8.32 | 0.32 | 3.85 |
| 16 | 8.5 | 515 | 8.745 | 0.24 | 2.80 |
| 17 | 9 | 485 | 9.255 | 0.25 | 2.76 |
| 18 | 9.5 | 455 | 9.765 | 0.27 | 2.71 |
| 19 | 10 | 453 | 9.799 | 0.20 | 2.05 |
| Rata-rata | | | | 0.24 | 5.61 |

Dari tabel V di atas dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan sensor *ultrasonic* memiliki rata-rata kesalahan sebesar 5,61% dari setiap pengukuran yang dilakukannya. Hal ini berarti sensor *ultrasonic* yang digunakan pada sistem ini memiliki akurasi sebesar 94,39%. Kesalahan pembacaan sensor yang terbesar adalah 0,49 cm. Oleh sebab itu, sistem ini dapat mendeteksi ketinggian air bendung dengan toleransi kesalahan pembacaan sebesar $\pm 0,5$ cm.

2) Sensor Water Flow: Pengujian sensor water flow dilakukan dengan maksud untuk menentukan ketelitian sensor saat membaca debit air pada bendung. Pada datasheet sensor water flow YF-S201 (terlampir) diketahui bahwa Flow rate pulse characteristics:

$$\text{Frequency (Hz)} = 7.5 * \text{lowrat} (\text{l/min}) \quad (10)$$

Sehingga persamaan 10 digunakan untuk menghitung *flow rate* (lit/min). Pengujian *water flow sensor* seperti terlihat pada gambar 29. dilakukan dengan cara mengeluarkan air dari wadah melewati *water flow sensor* sesuai dengan debit air (*flow rate*) yang ingin dikeluarkan dengan satuan liter/menit, sehingga pengambilan setiap datanya dilakukan selama 1 menit untuk mengetahui pulsa yang dihasilkan. Adapun data yang diperoleh terdapat pada tabel VI.



Gambar 29. Pengujian water flow sensor

TABEL VI
HASIL PENGUJIAN SENSOR WATER FLOW

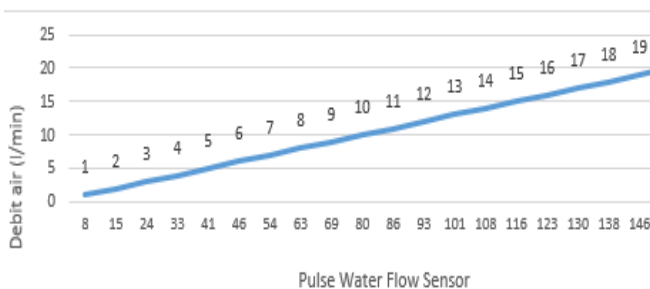
| No | Debit air [l/min] | Pulse Water Flow Sensor | Perhitungan | Error [%] | Akurasi [%] |
|----|-------------------|-------------------------|-------------|-----------|-------------|
| 1 | 1 | 8 | 1.07 | 6.25 | 93.75 |
| 2 | 2 | 15 | 2.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3 | 3 | 24 | 3.20 | 6.25 | 93.75 |
| 4 | 4 | 33 | 4.40 | 9.09 | 90.91 |
| 5 | 5 | 41 | 5.47 | 8.54 | 91.46 |
| 6 | 6 | 46 | 6.13 | 2.17 | 97.83 |
| 7 | 7 | 54 | 7.20 | 2.78 | 97.22 |
| 8 | 8 | 63 | 8.40 | 4.76 | 95.24 |
| 9 | 9 | 69 | 9.20 | 2.17 | 97.83 |
| 10 | 10 | 80 | 10.67 | 6.25 | 93.75 |
| 11 | 11 | 86 | 11.47 | 4.07 | 95.93 |

| | | | | | |
|-----------|----|-----|-------|------|-------|
| 12 | 12 | 93 | 12.40 | 3.23 | 96.77 |
| 13 | 13 | 101 | 13.47 | 3.47 | 96.53 |
| 14 | 14 | 108 | 14.40 | 2.78 | 97.22 |
| 15 | 15 | 116 | 15.47 | 3.02 | 96.98 |
| 16 | 16 | 123 | 16.40 | 2.44 | 97.56 |
| 17 | 17 | 130 | 17.33 | 1.92 | 98.08 |
| 18 | 18 | 138 | 18.40 | 2.17 | 97.83 |
| 19 | 19 | 146 | 19.47 | 2.40 | 97.60 |
| 20 | 20 | 153 | 20.40 | 1.96 | 98.04 |
| Rata-rata | | | | 3.79 | 96.21 |

| | | |
|----|----|------|
| 7 | 40 | 4.43 |
| 8 | 30 | 3.38 |
| 9 | 20 | 2.36 |
| 10 | 10 | 1.1 |
| 11 | 0 | 0 |

Dari tabel VI di atas dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan sensor *water flow* memiliki kesalahan sebesar 3,79% dari setiap pengukuran yang dilakukannya. Hal ini berarti sensor *water flow* yang digunakan pada sistem ini memiliki akurasi sebesar 96,21%. Kesalahan pembacaan sensor yang terbesar adalah 9,09 %.

Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa semakin besar debit air yang dialirkan maka *pulse* yang dihasilkan oleh *water flow sensor* juga akan semakin besar. Untuk melihat lebih jelas perbandingan antara debit air dan *pulse* dari *water flow sensor* dari dapat dilihat pada gambar 30.



Gambar 30. Grafik hasil pengujian sensor *water flow*

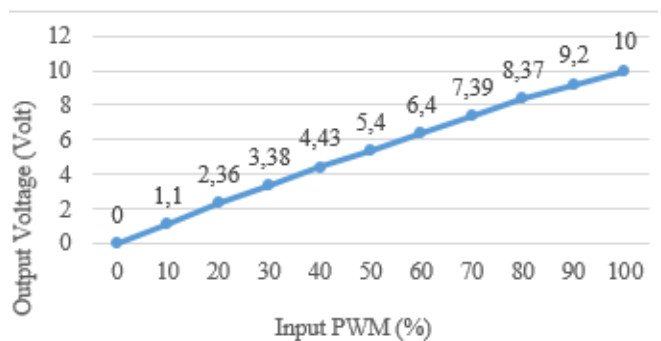
B. Pengujian Penggerak Motor DC

Motor DC merupakan motor yang digunakan untuk membuka kedua pintu air prototipe bendung pada sistem ini. Motor DC dapat dikendalikan dengan menggunakan PWM yang dikeluarkan dari mikrokontroler. Keluaran PWM 0-100% dari mikrokontroler diolah dengan *driver* motor L298. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan masukan sebesar 12 V. Hasil dari pengujian driver ini dapat dilihat pada tabel VII.

TABEL VII
HASIL PENGUJIAN DRIVER MOTOR DC

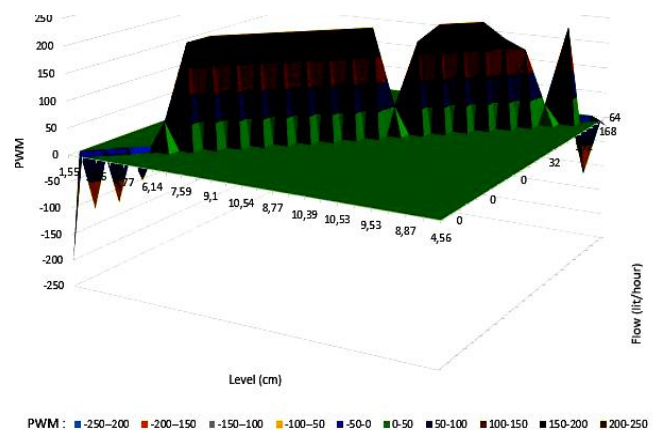
| No | PWM Input (%) | Tegangan Output (V) |
|----|---------------|---------------------|
| 1 | 100 | 10 |
| 2 | 90 | 9.2 |
| 3 | 80 | 8.37 |
| 4 | 70 | 7.39 |
| 5 | 60 | 6.4 |
| 6 | 50 | 5.4 |

Berdasarkan *datasheet* dari driver L298, diketahui bahwa terdapat penurunan tegangan (*drop voltage*) antara tegangan input dan tegangan output driver sebesar 1,8 – 3,2 Volt, tergantung dari besarnya tegangan masukan dan arus yang ada. Sehingga dapat dilihat pada saat pwm 100%, terjadi penurunan tegangan dari 12V menjadi 10V. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa semakin besar pwm yang diberikan maka *output* tegangan dari driver juga akan semakin besar. Untuk melihat lebih jelas perbandingan antara tegangan keluaran dan pwm yang diberikan dapat dilihat pada gambar 31.



Gambar 31. Grafik hasil pengujian *driver* motor DC

C. Pengujian dan Analisis Kontrol



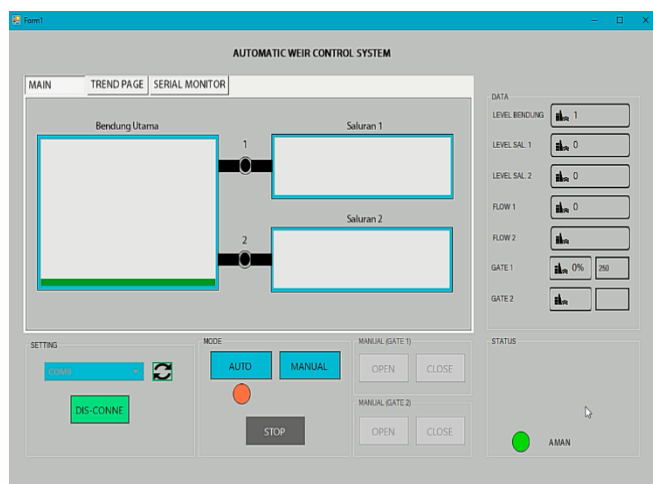
Gambar 32. Grafik perbandingan *input* ketinggian air, debit air, dan *output* pwm

Dari grafik pada gambar 32, dapat disimpulkan bahwa :

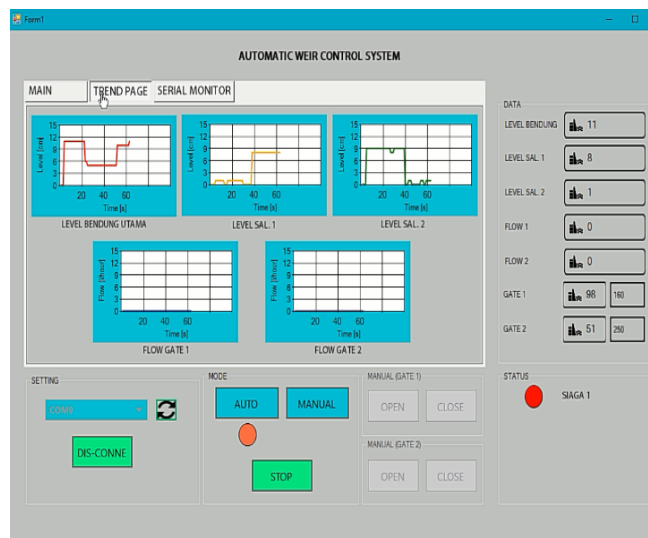
- Pada saat ketinggian air rendah dan debit air rendah maka PWM akan bernilai negatif, yang berarti bahwa motor akan bergerak CCW (pintu air tertutup).
- Pada saat ketinggian air semakin meningkat sedangkan debit air rendah, maka *output* PWM yang dihasilkan juga akan meningkat sehingga pintu air terbuka dan debit air yang keluar dari bendung akan meningkat.
- Pada saat debit air yang dikeluarkan meningkat dan ketinggian air semakin menurun (rendah), maka PWM yang dihasilkanpun akan menurun sehingga pintu air akan tertutup kembali.

Data *output* pada gambar 32 merupakan perbandingan antara hasil program sistem dengan hasil perhitungan secara teori seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Data pada Gambar 32 dihasilkan dari program (mikrokontroler) dibandingkan dengan *output* hasil perhitungan (dengan simulasi Matlab). Data *output* PWM yang bernilai negatif (-) menunjukkan pintu bergerak tertutup, sedangkan untuk *output* PWM yang bernilai positif (+) menunjukkan pintu bergerak terbuka. Dari beberapa data yang diambil hasil dari *Fuzzy Logic Process*, diperoleh rata-rata *error* sebesar 5,32%. Sehingga dapat diketahui bahwa *Fuzzy Logic Process* dapat bekerja dengan akurasi sebesar 94,68% untuk mengendalikan debit air bendung.

- 1) *Hasil Pengujian Program Antarmuka*: Program antarmuka *Automatic Weir Control System* merupakan suatu program antarmuka untuk mempermudah pengguna dalam melakukan pemantauan data ketinggian dan debit air bendung, serta besarnya bukaan dan pwm dari pintu air secara *real time*. Program antarmuka dibagi menjadi dua bagian, yaitu mode *auto* dan mode manual, seperti pada gambar 33.



Gambar 33. Program Antarmuka, Mode Auto (Status Aman)



Gambar 34. Program Antarmuka (Grafik Level dan Flow)

Pada gambar 34. Bendung berada pada kategori aman jika ketinggian air berada pada ketinggian 0 – 2 cm, siaga 3 pada ketinggian 2 – 6 cm, siaga 2 pada ketinggian 6 – 10 cm, dan siaga 1 pada ketinggian lebih dari 10 cm. Pada gambar 34, dapat dilihat grafik perubahan ketinggian air dan debit air per satuan waktu (s). Agar antarmuka (VB.NET) dapat menampilkan data dari beberapa sensor yang dikirim dari mikrokontroler secara real time, digunakan metode *parsing data* dengan menggunakan *Regular Expression*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem kendali dan pemantauan prototipe bendung yang dibangun dan selama proses penyusunan Penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengendalian bendung ini dapat mengatur besarnya bukaan pintu air berdasarkan ketinggian dan debit air secara otomatis dengan menerapkan metode *Fuzzy Logic Control*, dimana *output* PWM yang dihasilkan mempunyai rata-rata akurasi sebesar 94,68%.
2. Data ketinggian dan debit air yang diolah oleh mikrokontroler dapat ditampilkan pada antarmuka berbasis VB.Net dengan menggunakan komunikasi serial dan data tersebut diparsing dengan metode *Regular Expression*. Adapun *error* yang terjadi pada pembacaan *ultrasonic sensor* yaitu sebesar 5,61% dan *water flow sensor* sebesar 3,79%.

Adapun saran untuk pengembangan Penelitian antara lain.

1. Tingkat ketelitian dari *ultrasonic sensor* dan *water flow sensor* menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi *error* pada penelitian ini. Sehingga pemilihan sensor dengan tingkat akurasi yang tinggi sangat disarankan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Untuk sistem pemantauan dapat dikembangkan lagi, misalnya sistem pemantauan dengan berbasis internet (IoT).

3. Pengembangan *design* untuk konstruksi bendung dan pintu air yang lebih baik sangat disarankan untuk mencegah adanya kebocoran dan kelanjutan penelitian ini kedepannya

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak Polman Bandung yang telah memberikan fasilitas dan tempatnya bagi penulis dan juga rekan peneliti yang telah membantu melakukan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Mudah-mudahan penelitian ini bisa bermanfaat untuk kita semua

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Pengolahan Data Kementerian Pekerjaan Umum RI, *Buku Informasi Statistik Infrastruktur Pekerjaan Umum 2014*. 2014.
- [2] U. M. Nuvoton and K. Kunci, "NUC140VE3CN Pendahuluan Komponen Utama Perangkat," vol. 16, no. 1, pp. 41–51, 2017.
- [3] M. H. H. Ichsan, W. Kurniawan, and M. Huda, "Water Quality Monitoring with Fuzzy Logic Control based on Graphical Programming," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 14, no. 4, p. 1446, 2016.
- [4] D. Hervita, A. Taqwa, and M. M. Rose, "SISTEM MONITORING LEVEL AIR RADIATOR KENDARAAN DENGAN METODE FUZZY," *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, 2017.
- [5] E. D. Saeful Bahri, Husnibes Muchtar, "Prototipe Sistem Kendali Pid Dan Monitoring Temperatur Berbasis Labview," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2014, no. November, pp. 1–5.
- [6] D. J. T. Pangan, H. J. Timur., and 1995. Tahunan, "Laporan Tahunan, Laporan Pertanian Departemen Pertanian." 1995.
- [7] E. Yazid, "Penerapan Kendali Cerdas Pada Sistem Tangki Air Menggunakan Logika Fuzzy," *Himpun. Fis. Indones.*, vol. 9, no. 2, pp. 11–23, 2009.
- [8] F. Simamora, E. Susanto, D. Ph. I. Prasetya, and D. Wibawa, "RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL POSISI BOLA PADA BIDANG DATAR MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC BERBASIS VISUAL STUDIO C ++ Design of Control System of Ball on Plate Using Fuzzy logic Controller Based on Visual Studio C ++," 2016, vol. 3, no. 3, pp. 4322–4329.
- [9] S. Supatmi, "Simulasi Pengontrolan Lampu Gedung," in *Seminar nasional Informatika 2010*, 2010, vol. 2010, no. semnasIF.
- [10] Kusumadewi, Sri. 2004. Aplikasi Logika Fuzzy untuk Mendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [11] Saputra, Pico. 2014. Prototipe Sistem Pengaturan Pintu Air Otomatis pada Bendungan sebagai Pengendali Banjir. Bengkulu : Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu