

Perancangan Sistem Deteksi Kebocoran Pipa Berbasis Internet of Things

Fadila Nur Azizah¹, Nike Dwi G. Drantantiyas, S.Si., M.T.², Ferizandi Qauzar Gani, S.T., M.T.³

Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan
Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365

¹fadilanurazizah13@gmail.com

²nike.drantantiyas@tf.itera.ac.id

³ferizandy.gani@tf.itera.ac.id

Intisari — Penelitian ini meninjau kebocoran pipa secara actual melalui *website* berbasis *internet of thing*. Peninjauan ini dilakukan dengan merancang purwarupa berbentuk T yang dilengkapi dengan menggunakan sensor *water flow* dan *ultrasonic*. Sistem dibagi menjadi 3 variasi bentuk yaitu bentuk T, bentuk L dan bentuk L terbalik. Variasi ini akan dilihat hasil sensor dengan membandingkan sebelum (normal) dan sesudah adanya kebocoran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensor *water flow* dan *ultrasonic* memiliki tingkat akurasi 99% dan presisi 99%. Pengujian fungsional sistem menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dalam memantau laju aliran dan tingkat air. Hal ini dapat dilihat dari hasil perbedaan pembacaan sensor sebelum (normal) dan sesudah adanya kebocoran. Pada *flow*, selisih diambil dari hasil rata-rata sensor setiap percobaan, sedangkan pada *level* selisih diambil dari gradien. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menampilkan data *real time* yang diakses melalui *web*, menentukan kebocoran melalui selisih *flow* dan *level*, serta hubungan *flow* dan tekanan.

Kata kunci — Deteksi kebocoran, sensor aliran, sensor ultrasonik, Internet of Things, desain, *web*.

Abstract — This study examines pipeline leaks in real-time through a *website* based on the Internet of Things. The review is conducted by designing a prototype in the shape of a T, equipped with water flow and ultrasonic sensors. The system is divided into three shape variations: T-shape, L-shape, and inverted L-shape. These variations will be evaluated by comparing sensor readings before (normal) and after the leak occurrence. The results of this study show that the water flow and ultrasonic sensors have an accuracy of 99% and a precision of 99%. Functional testing of the system shows that the system performs well in monitoring the flow rate and water level. This can be observed from the difference in sensor readings before (normal) and after the leak. For the flow, the difference is taken from the average sensor readings for each experiment, while for the level, the difference is taken from the gradient. Overall, this research successfully displays real-time data accessed through a *website*, detects leaks through flow and level differences, and analyzes the relationship between flow and pressure.

Keywords — Leak detection, flow sensor, ultrasonic sensor, Internet of Things, design, *website*.

I. PENDAHULUAN

Banyaknya perusahaan industri yang ada dalam negeri memanfaatkan pipa sebagai alternatif sarana transportasi air [1]. Permintaan kebutuhan industri akan mendorong semakin banyak penggunaan jaringan pipa sebagai sarana transportasi air karena dirasa lebih ekonomis dan efisien. Tetapi penggunaan pipa ini sering terjadi masalah yang berakibat kebocoran. Kebocoran sendiri terdiri atas 2 faktor, yaitu faktor kebocoran secara teknis pada kegiatan perawatan, dan kebocoran yang tidak diinginkan. Kebocoran teknis pada suatu sistem yang diperlukan dalam kegiatan perawatan umumnya berkisar 5% [2]. Kebocoran yang tidak diinginkan yang terjadi pada pipa juga sangat beragam mulai

dengan adanya rekahan pipa, pencurian air, sambungan yang tidak rapat, pipa patah, dan lain-lain. Semakin besar kapasitas sistem jaringan, maka akan semakin besar pula persentase kebocorannya. Ketika hal ini tidak cepat diketahui maka akan berakibat fatal berupa kerugian baik dari segi perusahaan maupun masyarakat.

Adanya kemungkinan terjadinya peristiwa tersebut tersebut perlu dilakukan adanya pemantauan pipa secara terus menerus. Pencegahan kebocoran harus dilakukan mulai dari desain, konstruksi dan perlu adanya simulasi, karena proses penanggulangan kebocoran sangat sulit dan mahal. Pemantauan pipa dilakukan untuk mengetahui debit aliran dan tekanan fluida yang ada dalam pipa. Tetapi pemantauan pipa tidak seharusnya dilakukan secara

konvensional karena ini kurang efektif terhadap waktu dan tenaga [3]. Sehingga perlu adanya upaya untuk menjaga keefektifan tersebut.

Perkembangan teknologi yang sangat pesat memungkinkan untuk menggunakan alat ukur digital yang lebih akurat. Salah satu alat ukur digital yang akurat adalah sensor. Sensor dapat mengetahui suatu keadaan dengan cepat dan tepat [4]. Sehingga penggunaan sensor ini lebih efektif untuk digunakan. Pada kasus pendeteksi kebocoran pipa ini dibutuhkan beberapa sensor seperti, sensor *water flow* YF-S201, sensor *level* Ultrasonik HC-SR04. Selain itu dibutuhkan *solenoid valve* untuk pemantauan pengujian alat. Sensor *water flow* YF-S201 digunakan untuk menghitung debit fluida yang mengalir didalam pipa. Sensor *ultrasonic* HC-SR04 digunakan untuk mempermudah proses mendeteksi suatu performansi yang akan diukur di bagian wadah fluida sebagai *output* [5]. Kemudian adanya *solenoid valve* ini digunakan untuk mengendalikan fluida air yang keluar dari tangki atau wadah yang akan dialirkan lewat pipa-pipa [6].

Pemantauan sistem ini dapat dilakukan secara terus menerus dimanapun dan dapat diprediksi secara *real-time*. Selaras dengan industrial 4.0, *Internet of Things* hadir untuk lebih memudahkan pekerjaan manusia. Sebagai teknologi yang canggih, IoT telah muncul untuk memahami, memantau, dan mendukung sistem keberlanjutan [7]. Teknologi ini berupa perangkat pintar yang dapat di akses dari kejauhan sehingga menjadi solusi kompleks dalam berbagai sektor. Penggunaan *Internet of Things* yang disesuaikan dengan sensor -sensor yang dipakai menjadikan pengelolaannya suatu sistem lebih efisien [8]. Sehingga perkembangan teknologi IoT ini akan semakin berpengaruh dalam pemantauan dan pengendalian sistem yang akan dipasang pada pipa untuk mengetahui kebocoran secara dini dan *real-time* [9].

Sistem pendeteksi kebocoran pipa yang terkoneksi dengan *Internet of Things* dapat mengukur dan mengirim data dari pipa ke pusat kendali agar pemantauan kebocoran pipa dapat dipantau secara *real-time*. Data tersebut berasal dari sensor melalui ESP32

yang dikirimkan melalui jaringan *IoT* ke pusat pemantauan berupa *web*. Teknologi *IoT* ini dapat melakukan pengendalian jarak jauh di seluruh jaringan yang ada dan dapat meningkatkan efisiensi dari kinerja sistem. Untuk mengetahui performa kinerja alat dilakukanlah pengecekan keberfungsian alat dengan melihat nilai akurasi, presisi, dan *error* pada sistem untuk mengetahui seberapa baik sistem tersebut akan bekerja. Memastikan sistem pendeteksi kebocoran pipa secara akurat sangat penting untuk mencegah salah mendeteksi [10]. Selain itu, memastikan bahwa sistem beroperasi dengan andal dalam berbagai kondisi [11]. Presisi menekankan pada kemampuan sistem untuk dapat mengendalikan hasil yang tepat dan konsisten [12]. Sedangkan *error* dapat memastikan keandalan sistem dan mengatasi ketidakpastian dalam proses pemantauan. Kinerja sistem ini terletak pada kemampuan nya untuk menyediakan akses *real-time* ke dalam suatu *web*.

Dari beberapa permasalahan yang ada dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk merancang *prototipe* sistem pendeteksi kebocoran pipa yang di analisis berdasarkan *flow rate* dan tekanan terhadap kebocoran pipa. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi deteksi kebocoran pipa yang lebih efisien dan akurat. Selain itu, penelitian ini juga membuka peluang untuk studi lanjutan yang dapat memperdalam pemahaman mengenai dinamika kebocoran pipa dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, sehingga dapat diterapkan dalam berbagai industri untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional.

II. PERANCANGAN ALAT

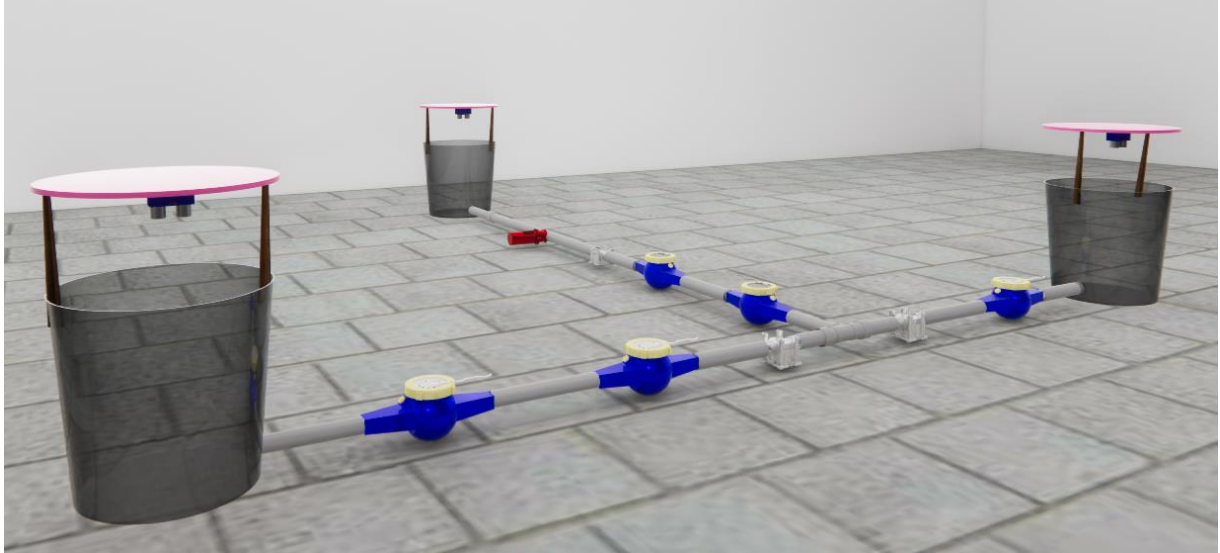
Perancangan alat di sini terdiri dari desain alat, perancangan arsitektur sistem, rancangan hardware dan desain *web*.

A. Desain Alat

Alat dirancang seperti yang terlihat pada Gambar 1 di atas. Dimana desain berbentuk seperti Huruf T. Pada gambar digunakan tiga buah wadah untuk penampungan air. Satu

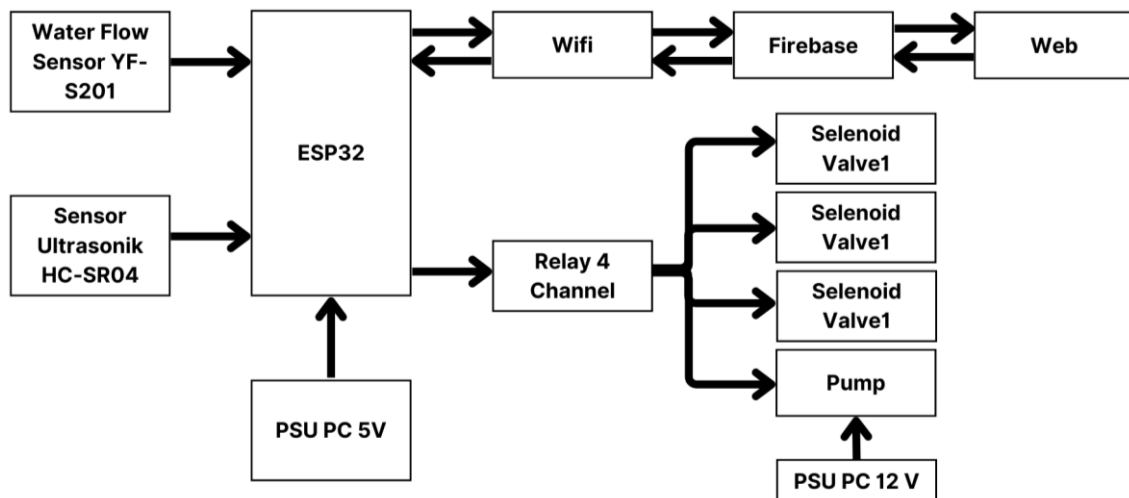
wadah paling belakang digunakan sebagai input dan dua wadah bagian kanan dan kiri digunakan sebagai output. Kemudian pada alat ini menggunakan lima sensor *water flow* (berwarna biru) dan tiga buah sensor *ultrasonic* (bentuk benda bermata dua yang

menempel di bawah tutup). Dibagian tengah antar sensor di beri lubang kebocoran. Selanjutnya terdapat satu buah pompa air (berwarna merah) dan tiga buah solenoid valve (berwarna putih) untuk mengontrol aliran air.



Gbr. 1 Desain 3D alat

B. Perancangan Arsitektur



Gbr. 2 Diagram blok perancangan alat

Berdasarkan blok diagram perancangan sistem pada Gambar. 1 di atas, dapat dilihat bahwa input rangkaian terdiri dari sensor *ultrasonic* HC-SR04, sensor *water flow* YF-S201. Selanjutnya data hasil pembacaan dari sensor akan diproses dan dikirimkan oleh ESP32 melalui wifi sehingga dapat terhubung pada firebase. Data dari firebase selanjutnya dapat dipantau dan dikontrol oleh perangkat yang memiliki akses ke web. Modul Relay merupakan output yang

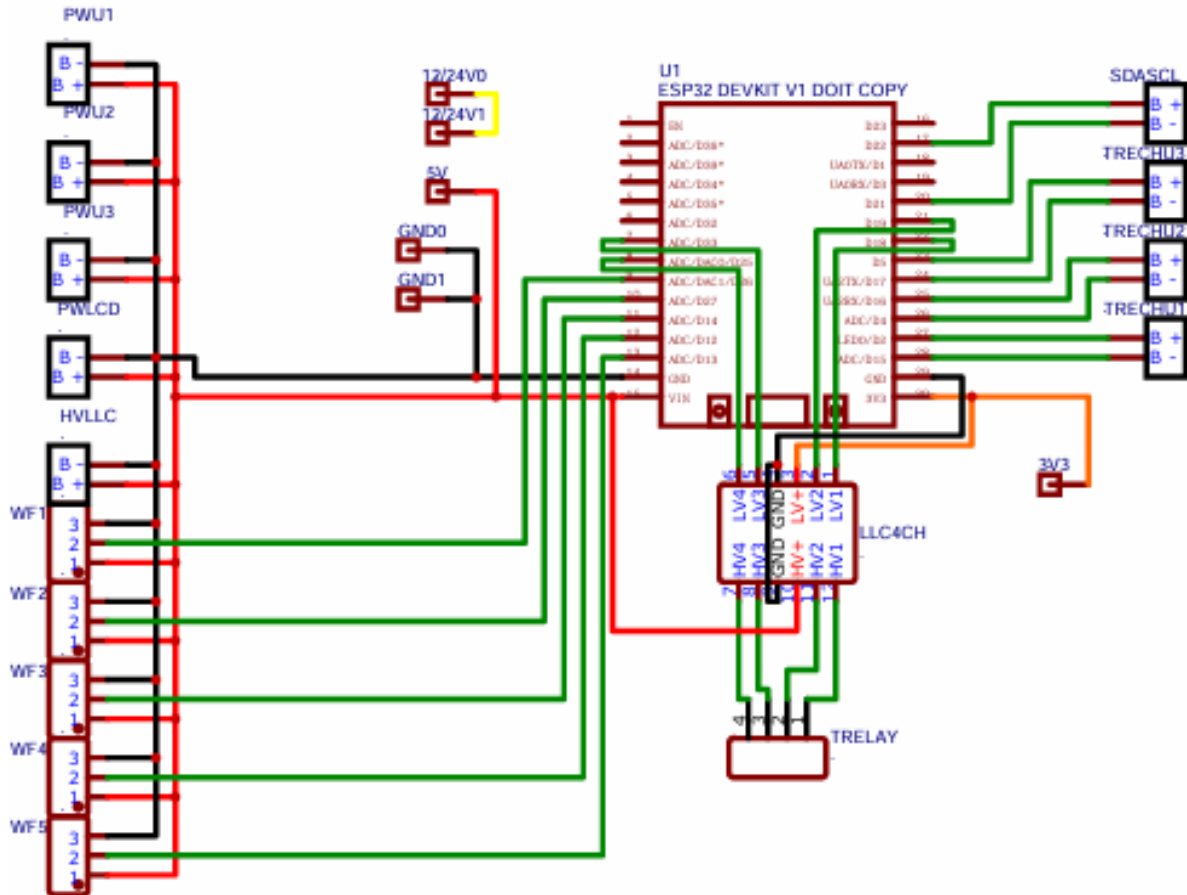
dikendalikan oleh ESP8266 juga untuk dapat mengontrol pompa pengisian pipa. LCD yang digunakan 12×6 characters berfungsi untuk menampilkan data pengukuran sensor di lapangan.

C. Rancangan Hardware

Sesuai hasil rancangan arsitektur sistem yang telah dibuat, desain rancangan alat dapat direalisasikan dalam bentuk benda kerja yang siap untuk dioperasikan. Pada

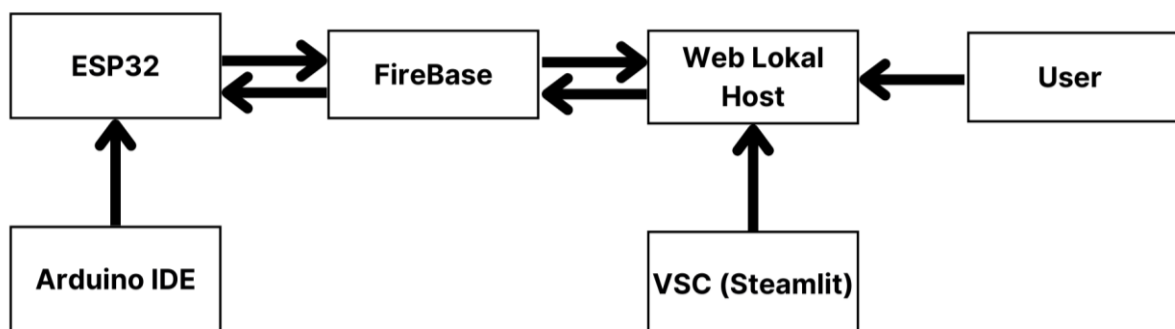
bagian ini memperlihatkan proses pengambilan data oleh sensor *water flow* yang kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 serta modul wifi ESP32 yang telah ter *package* di dalamnya yang berfungsi untuk proses pengiriman data ke firebase. Proses ini dimulai ketika pompa dinyalakan kemudian *solenoid valve* pada pipa dibuka air akan

mengalir melalui pipa yang akan direkam oleh sensor *water flow* YF-S201. Sensor akan mengumpulkan data debit air yang mengalir melewatinya, dan kemudian akan dikirimkan ke ESP32. Sensor *water flow* YF-S201 akan mengirimkan data ke Firebase melalui ESP32 tersebut. Rancangan skematik alat ini dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gbr. 3 Skematik sistem

D. Perancangan Internet of Things

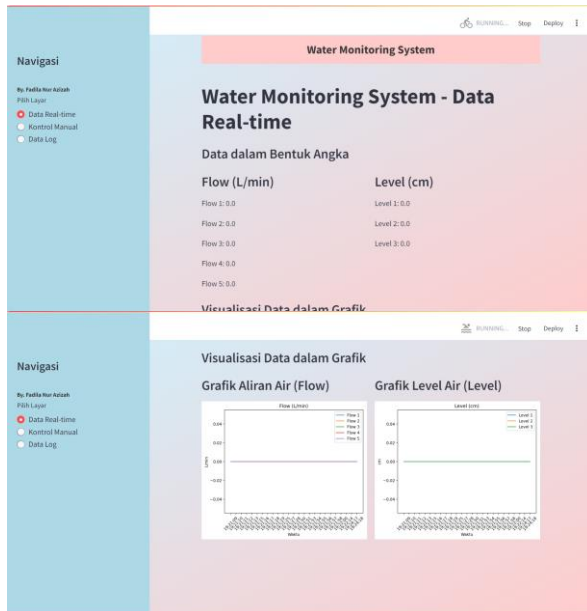


Gbr. 4 Diagram blok sistem

Pada tahap ini dilakukan pembuatan program yang dirancang sebagai sarana dalam proses pengiriman data, pengolahan data, input dan output sistem. Proses pembuatan program terdiri dari pembuatan program Arduino IDE untuk di masukkan ke dalam ESP32, firebase dan *website* streamlit. Dalam perancangan perangkat lunak, diagram blok sebagai cara kerja dari sistem yang ditunjukkan pada Gambar. 4 diatas. Langkah awal proses adalah inisialisasi input dan output nilai sensor *ultrasonic* dan *water flow* YF-S201 dari ESP32 ke firebase. Nilai ini akan ditampilkan di *website local host*. Sedangkan *relay* yang berisi pompa, solenoid valve 1,2 dan 3 akan dikontrol melalui *website localhost* masuk ke firebase dan di teruskan ke ESP32 untuk mengontrol sistem.

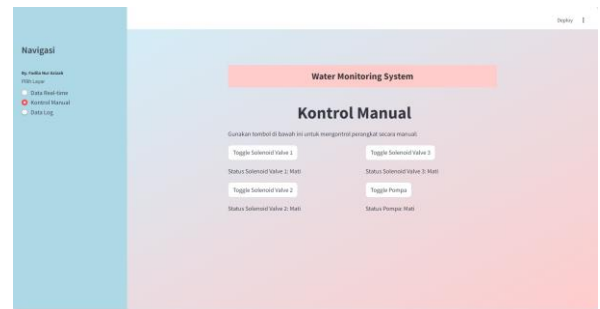
E. Desain Web

Desain *Web* yang telah dibuat pada *localhost*. Dalam desain *web* ini terdapat 3 halaman yaitu data *real time*, kontrol manual dan data log. Gambar desain *web* yang tersedia dapat dilihat sebagai berikut.



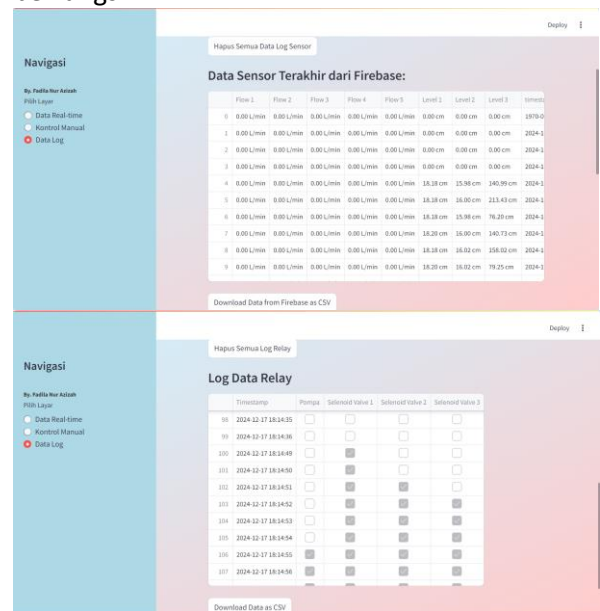
Gbr. 5. Data real time web

Data *Real Time* seperti pada Gambar 5 merupakan data yang menampilkan data sensor yang berubah setiap satu detik sekali. Data yang terlihat yaitu nilai hasil pembacaan lima sensor *water flow* dan tiga sensor ultrasonik dalam bentuk desimal dan grafik.



Gbr. 6. Kontrol manual web

Pada tampilan kontrol manual pada *web* seperti pada Gambar 6 tersebut digunakan untuk mengontrol *relay* untuk menghidupkan dan mematikan pompa, solenoid satu, dua dan tiga secara manual. Ketika tombol pada *web* di tekan maka kerja alat akan otomatis berfungsi.



Gbr. 7. Data log pada web

Pada slide terakhir pada *web* seperti terlihat pada Gambar 7 tersebut dimana ini adalah data sensor yang telah terekam dari firebase dan data *relay* yang dilengkapi dengan timestamp. Data *relay* yang dapat dilihat ketika kapan pompa dan solenoid sedang dihidupkan atau tidaknya. Tanda ceklis menandakan *relay* sedang hidup.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan permasalahan yang ada, dalam penelitian ini ada dua aspek penting yang akan dibahas, yaitu validasi pembacaan sensor dan pengujian fungsional alat sebagai berikut.

A. Validasi Pembacaan Sensor

Validasi pembacaan sensor meliputi sensor *water flow* YF-S201 dan sensor *ultrasonic* HC-SR04. Pada sensor *water flow* dilakukan dengan lima kali percobaan setiap sensornya. Data hasil pembacaan sensor *water flow* ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Nilai Sensor *Water flow*

Flow 1 L/min	Flow 2 L/min	Flow 3 L/min	Flow 4 L/min	Flow 5 L/min
2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
2,15	2,15	2,15	2,14	2,14
2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
2,14	2,14	2,14	2,14	2,14

Data-data nilai Tabel 1 dibandingkan dengan perhitungan matematis. Dimana dengan volume 2,75 liter air dapat habis melewati setiap sensor dengan waktu 77 detik. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan bantuan *google collab* didapatkan hasil analisis perancangan seperti yang ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Sensor *Water flow*

Sensor	Akurasi (%)	Presisi (%)	Error (%)
Flow 1	99,74	99,81	0,26
Flow 2	99,74	99,81	0,26
Flow 3	99,74	99,81	0,26
Flow 4	99,82	99,76	0,17
Flow 5	99,82	99,74	0,17

Tabel 2 di atas dapat terlihat bahwa hasil analisis sensor *water flow* memiliki akurasi dan presisi yang sangat tinggi, sehingga errornya sangat kecil. Selanjutnya dilakukan validasi untuk pembacaan sensor *ultrasonic*. Digunakan tiga sensor *ultrasonic* yang di pasang dengan jarak 10 cm dari wadah penampungan air. Tetapi pada percobaan kali ini dilakukan pada sebuah kotak dengan tinggi 7,5 cm diukur menggunakan penggaris. Kemudian data hasil nilai yang terbaca oleh sensor *ultrasonic* adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Data Pembacaan Nilai Sensor *Ultrasonic*

Percobaan	Level 1 cm	Level 2	Level 3
1	7.512	7.580	7.615
2	7.495	7.580	7.615
3	7.495	7.580	7.615
4	7.51	7.580	7.615
5	7.495	7.597	7.615
Akurasi	99.976 %	98.88800	98.46667
Pesisi	0.009311	0.007603	0.000000
Error	0.104000	1.112000	1.533333

Tabel 3 di atas terlihat bahwa terdapat lima kali percobaan. Dengan hasil nilai yang saling berdekatan. Sehingga setelah dilakukan perhitungan menggunakan bantuan *google collabs* juga didapatkan hasil analisis sensor *ultrasonic* berupa nilai akurasi dan presisi nya sangat tinggi. Sehingga nilai errornya sangat rendah. Adanya kesalahan baca pada sensor digunakan untuk evaluasi kode sensor tersebut yang diaplikasikan pada alat.

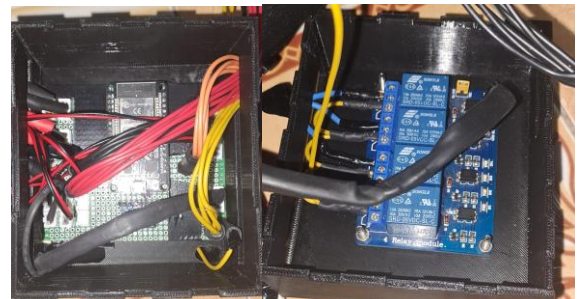
B. Pengujian Fungsional Alat

Desain perancangan alat pada Gambar 1 diaplikasikan pada *prototype*. *Prototype* alat ini dapat dilihat pada Gambar 8.



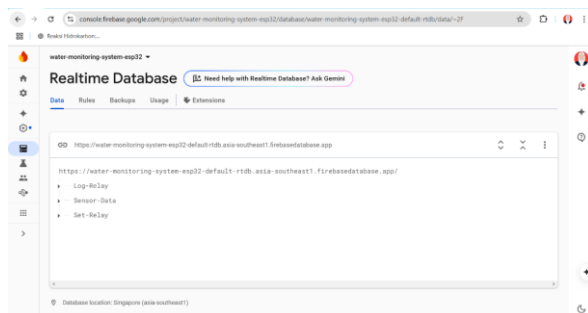
Gbr. 8. *Prototype* alat

Desain arsitektur perancangan skematik pada Gambar 3. juga diaplikasikan pada sistem *hardware* yang dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gbr. 9. Perancangan sistem hardware

Pengaplikasian sistem pada alat tersebut menghasilkan kinerja alat yang terdapat pada *website*. Sebelum data masuk ke *website* dan *prototype*, data di simpan pada *Real Time* database. *Real Time* database ini terdapat pada *comsol* firebase. Tampilan muka *Real Time* database terdapat dapat dilihat pada Gambar 10.



Gbr. 10. Antarmuka Firebase

Secara keseluruhan, *real time database* ini dirancang untuk mendukung sistem secara langsung dan efisien dengan menyediakan data yang terus diperbarui untuk pengambilan keputusan dalam waktu nyata.

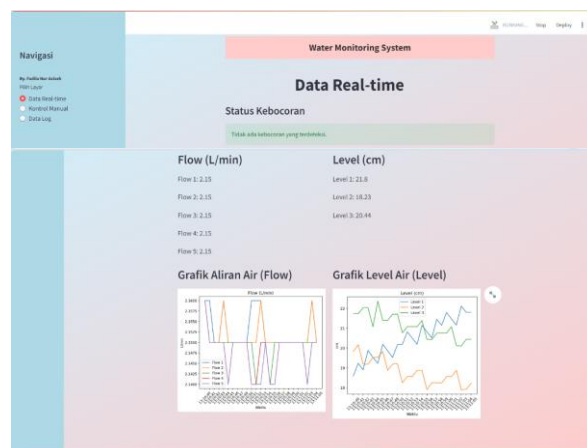
Prototype alat, database pada firebase dan *website* harus dipastikan berjalan secara sinkron agar kinerjanya berjalan dengan baik. Pentingnya kinerja alat tersebut diujicoba berdasarkan beberapa faktor. Faktor ketika alat tidak mengalami kebocoran dan alat mengalami Kebocoran.

Faktor ujicoba ketika alat sama sekali tidak mengalami kebocoran. Dilakukan tiga kali percobaan yaitu seluruh *solenoid valve* dihidupkan, hanya *solenoid valve* satu dan dua yang dihidupkan, terakhir hanya *solenoid valve* satu dan tiga yang dihidupkan. Data yang disajikan berupa data sensor setelah difilter menggunakan *low pass filter butterworth*

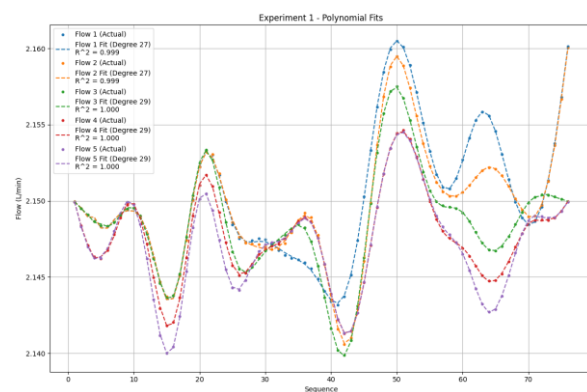
Pada percobaan pertama yaitu tidak ada kebocoran pada alat dan semua *solenoid valve* dihidupkan menampilkan data *real time* pada *website* seperti tampak pada Gambar 11.

Secara umum pada layar data *Real Time* terdapat status tidak terjadi kebocoran sehingga sesuai dengan apa yang sedang terjadi. Selain data *real time*, pada layar ini juga menampilkan sebagian data *flow* dan *level* yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Keseluruhan data pembacaan sensor pada

percobaan yang dapat di lihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



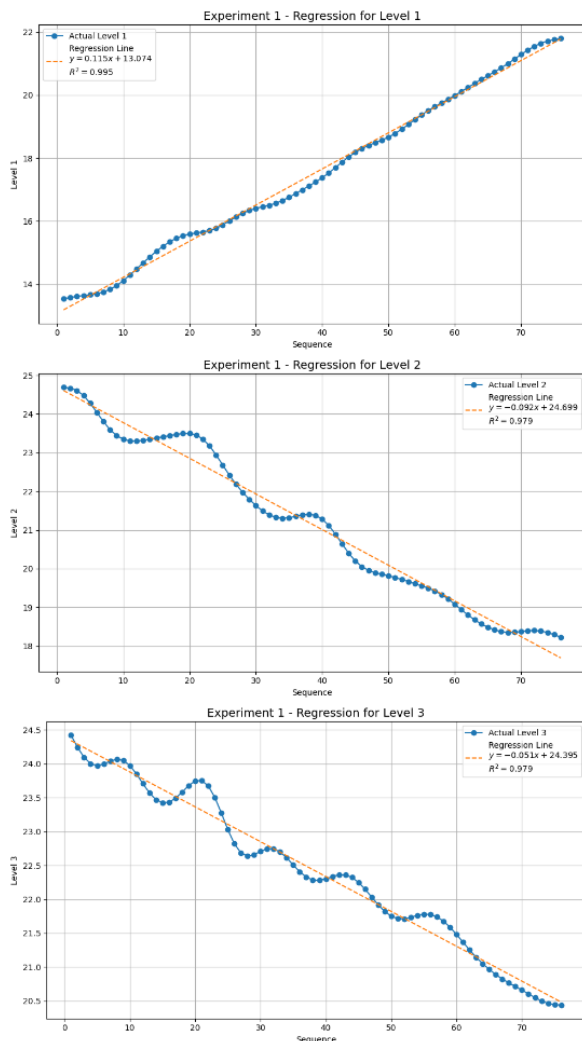
Gbr. 11. HMI *website* percobaan 1



Gbr. 12. Hasil dan model flow percobaan 1

Gambar 12. Menampilkan data hasil pengukuran aliran. Ada lima aliran yang terbaca dari sensor *water flow* yaitu *flow* 1-5. Berdasarkan grafik semua aliran memiliki nilai yang sangat stabil, hampir tanpa fluktuasi di sepanjang urutan. Nilai rata-rata laju aliran dari berisar 2,1 L/min, dengan perbedaan yang sangat kecil dari masing masing aliran. Dari percobaan ini juga dilakukan analisis regresi polinomial dalam menentukan model yang cocok untuk digunakan.

Gambar 12 tersebut sudah menunjukkan hasil analisis menggunakan regresi polinomial dengan derajat antara 27 hingga 29. *Flow* pada sensor ini memiliki pola fluktuasi yang cukup tajam, mencerminkan perubahan dinamis pada aliran. Secara keseluruhan percobaan ini menandakan kebutuhan model dengan derajat tinggi untuk menangkap fluktuasi aliran yang intens dan cepat berubah.



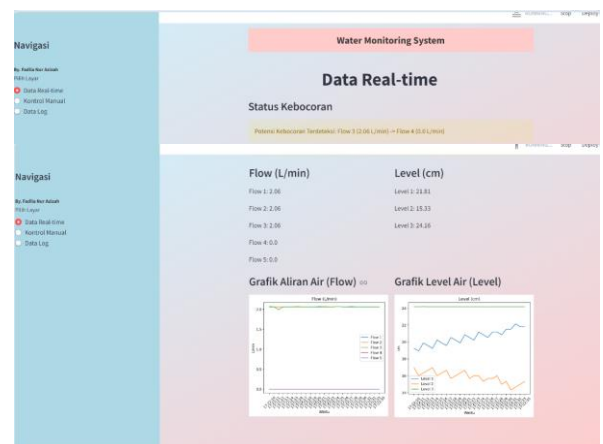
Gbr. 13. Hasil dan model level percobaan 1

Gambar 13 menampilkan hasil data *level* 1-3 yang digambarkan oleh grafik. Grafik pada *level* 1 terlihat meningkat secara konsisten dari awal hingga akhir. Pada *level* 2 dan 3 mengalami penurunan sepanjang urutan sekuen (waktu). Kenaikan pada *level* 1 menunjukkan pengurangan air. Sedangkan penurunan pada *level* 3 dan 2 ini menunjukkan penambahan air.

Pada Gambar 13 ini juga sudah menunjukkan analisis regresi linier dengan nilai gradien menunjukkan hubungan simetris antara peningkatan pada *level* 1 sebesar 0,11 dengan penurunan pada *level* 2 sebesar 0,09 dan 3 sebesar -0,05. Tingginya nilai R^2 lebih dari 0,95 menegaskan bahwa regresi linier adalah model yang sangat sesuai untuk data ini, meskipun fluktuasi kecil tetap ada pada *level* 2 dan *level* 3.

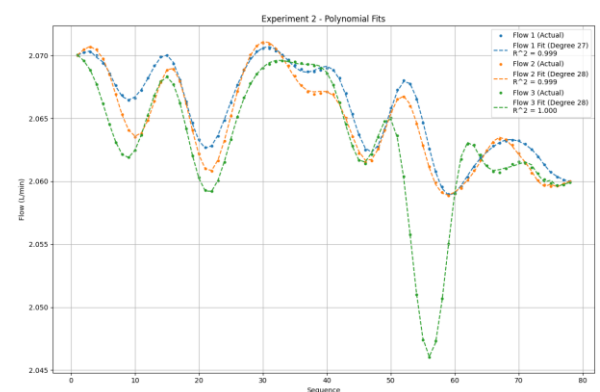
Pada percobaan kedua yaitu tidak ada kebocoran dan hanya *solenoid valve* 1 dan 2

yang dihidupkan menampilkan data *real time* pada *website* seperti tampak pada Gambar 14.



Gbr. 14. HMI website percobaan 2

Secara umum data *Real Time* menggambarkan status kebocoran yang tampak pada layar *website* dan terindikasi bocor karena terdapat perbedaan *flow* yang sangat jauh. Keseluruhan data pembacaan sensor pada percobaan yang dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.

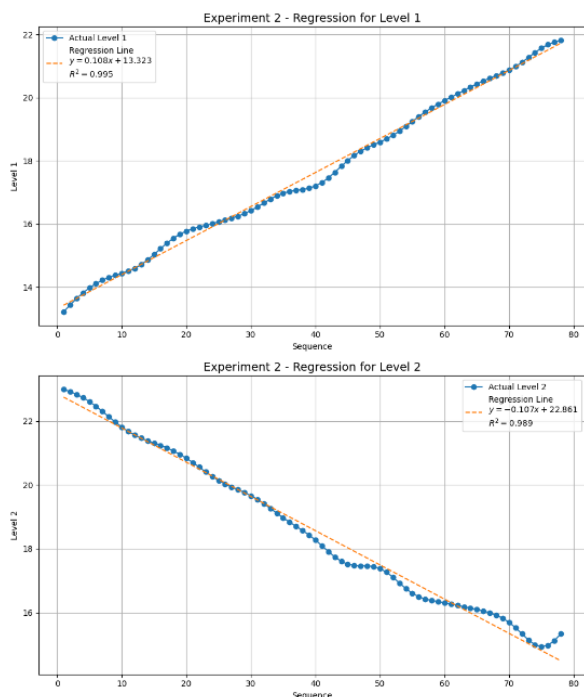


Gbr. 15. Hasil dan model flow percobaan 2

Gambar 15 menampilkan keseluruhan data tiga data sensor *water flow* yaitu *flow* 1-3. Ketiga data *flow* ini menunjukkan pola yang sangat stabil di sepanjang urutan sekuen (waktu). Tidak ada fluktuasi yang signifikan dan semua data konsisten pada nilai sekitar 2 L/min.

Gambar 15 ini juga menampilkan hasil analisis menggunakan regresi polinomial dengan derajat 27 hingga 28. Aliran dalam percobaan ini menunjukkan fluktuasi yang signifikan, dengan rentang *flow* antara 2,045 hingga 2,070 L/min. Model regresi polinomial berhasil dalam menangkap pola perubahan tersebut dengan sangat akurat,

dibuktikan oleh nilai R^2 yang bernilai 0,999 hingga 1,000. Kompleksitas pola fluktuasi memerlukan derajat regresi yang cukup tinggi untuk menangkap variasi detail dalam aliran sehingga hasil prediksinya optimal.

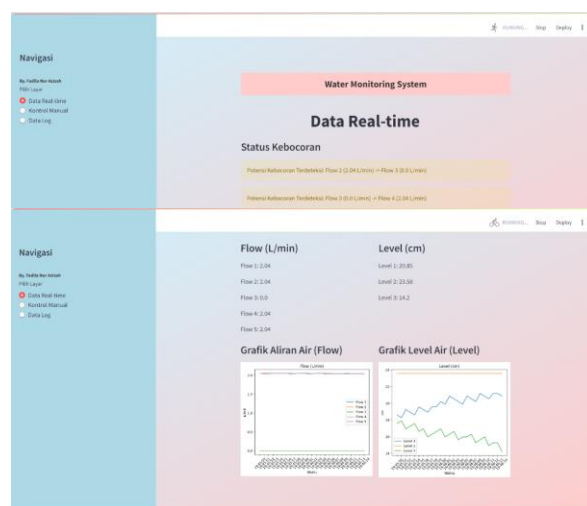


Gbr. 16. Hasil dan model level percobaan 2

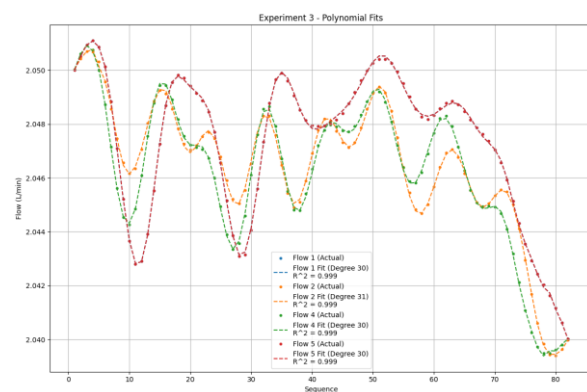
Gambar 16 menampilkan data hasil sensor ultrasonik yaitu *level 1* dan *2*. Kedua grafik ini menunjukkan pola berlawanan, sama seperti penjelasan sebelumnya. Melalui Gambar 16 juga menunjukkan hasil analisis regresi. *Level 1* mengalami peningkatan linier, sementara *level 2* mengalami penurunan linier dengan gradien yang sama sebesar $\pm 0,10$ cm/detik. Nilai R^2 yang tinggi mencapai lebih dari 0,95 pada kedua grafik menegaskan bahwa regresi linier merupakan model yang sangat sesuai untuk mempresentasikan data.

Pada percobaan ketiga yaitu tidak ada kebocoran dan hanya *solenoid valve 1* dan *3* yang dihidupkan menampilkan data *Real Time* pada *website* seperti tampak pada Gambar 17.

Secara umum data *real time* menampilkan status kebocoran juga tampak pada gambar *website* dan terindikasi bocor karena terdapat perbedaan *flow* yang sangat jauh yang seharusnya tidak menjadi nilai input kebocoran. Keseluruhan data pembacaan sensor pada percobaan yang dapat dilihat pada Gambar 18 dan Gambar 19.



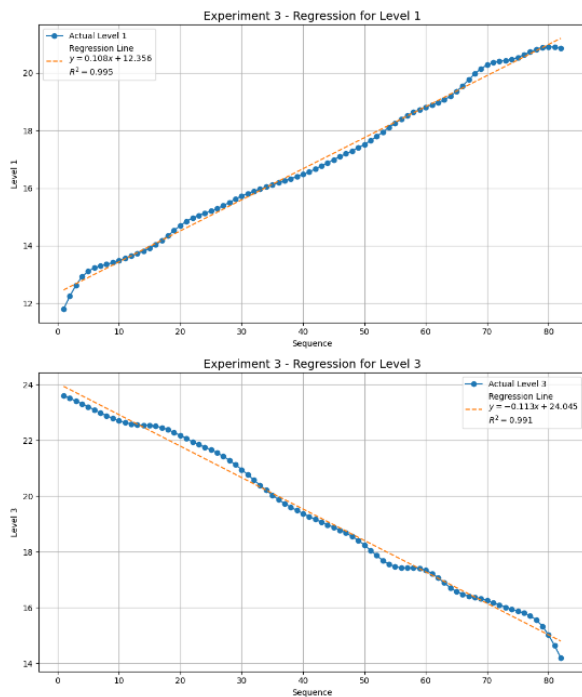
Gbr. 17. HMI website percobaan 3



Gbr. 18. Hasil dan model flow percobaan 3

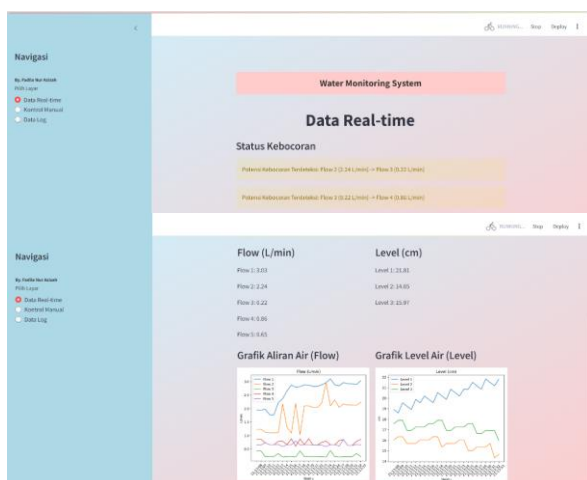
Gambar 18 menampilkan data hasil pengukuran aliran. Grafik ini terdiri dari *flow 1-4*. Semua data menunjukkan nilai yang sangat konsisten hampir tidak ada fluktuasi yang terdeteksi. Nilai rata-rata dari semua aliran tampaknya berada pada sekitar 2 L/min. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi aliran sangat stabil selama percobaan.

Gambar 18 sudah menampilkan hasil analisis menggunakan dengan regresi polinomial yang memiliki derajat antara 30 hingga 31. Rentang *flow rate* antara 2,042 hingga 2,050 L/min, tetapi dengan perubahan yang sangat detail di sepanjang sekuen (waktu). Model regresi polinomial mampu menangkap kompleksitas dengan R^2 sebesar 0,999 hingga 1,000. Hal tersebut menunjukkan bahwa fluktuasi untuk menangkap dinamika data yang sangat baik.

Gbr. 19. Hasil dan model *level* percobaan 3

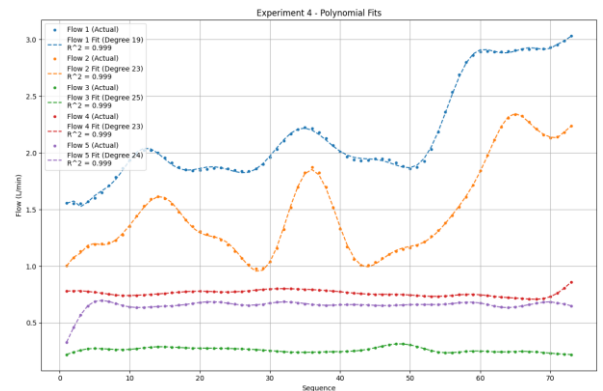
Gambar 19 menampilkan data hasil sensor ultrasonik *level* 1 menunjukkan adanya proses kenaikan dan *level* 3 penurunan air secara konsisten. Gambar 19 juga sudah menunjukkan analisis regresi linier *level* 1 dan yang simetris dengan gradien kedua nya sebesar +0,18 dan -0,11. Nilai R^2 lebih dari 0,95 menunjukkan bahwa regresi linier sangat sesuai untuk data ini.

Pada percobaan keempat yaitu adanya kebocoran pada alat dan semua *solenoid valve* dihidupkan menampilkan data *Real Time* pada *website* seperti tampak pada Gambar 20.

Gbr. 20. HMI *website* percobaan 4

Secara keseluruhan data *real time* pada layar dapat menampilkan status terjadi

kebocoran sesuai dengan apa yang sedang terjadi. Pergerakan sebagian data aliran dan *level* dijelaskan dalam bentuk desimal dan grafik. Data pembacaan sensor percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22.



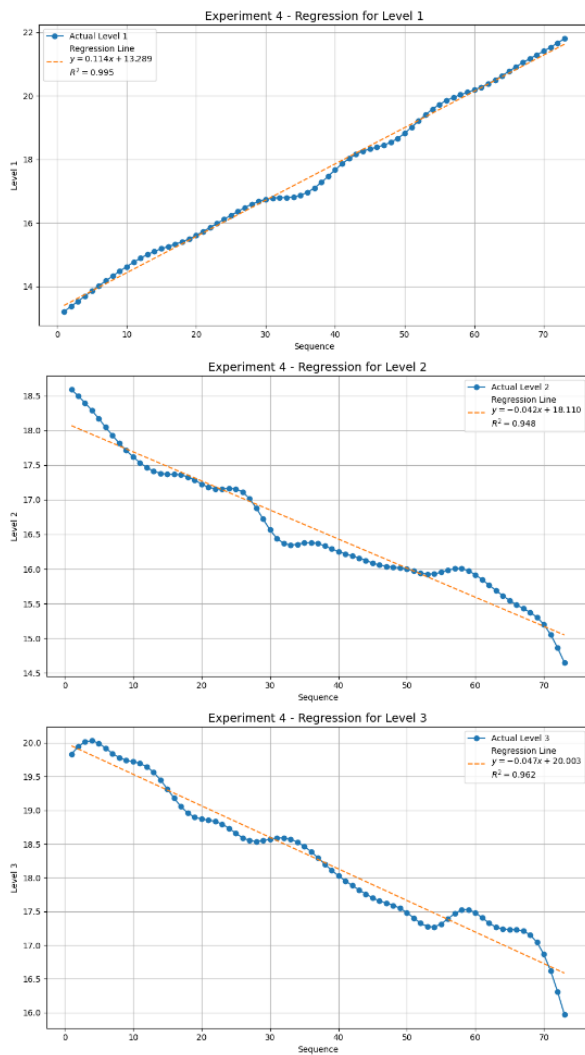
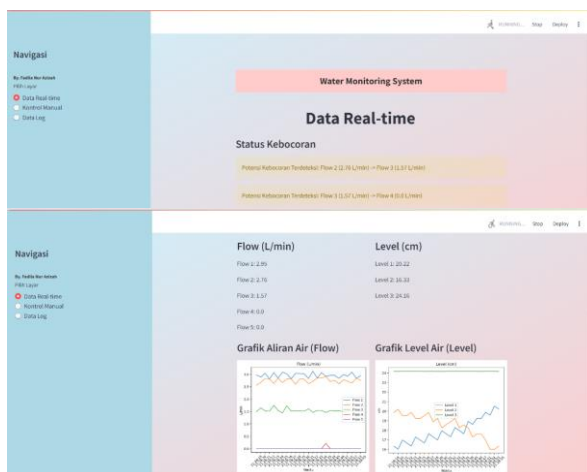
Gbr. 21. Hasil dan model flow percobaan 4

Gambar 21 menampilkan data hasil analisis regresi polinomial yang memiliki derajat antara 19 hingga 25, menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,999 menunjukkan kecocokan yang sangat tinggi antara model dan nilai actual. Pada percobaan ini menunjukkan karakteristik dengan rentang *flow* dari sekitar 0,5 hingga 3,0 L/min. Pola fluktuasi aliran teratur dengan amplitudo yang berbeda setiap aliran.

Gambar 22 menampilkan data hasil sensor ultrasonik *level* 1 menunjukkan garis peningkatan, *level* 2 dan 3 mengalami garis penurunan stabil. Analisis regresi linier menunjukkan peningkatan linier dengan gradien sebesar $\pm 0,04$ hingga 0,11 cm/detik. Nilai R^2 lebih dari 0,995, sehingga garis regresi mempresentasikan data yang sangat baik.

Pada percobaan kelima yaitu adanya kebocoran pada alat dan hanya *solenoid valve* 1 dan 2 yang dihidupkan menampilkan data *Real Time* pada *website* seperti tampak pada Gambar 23.

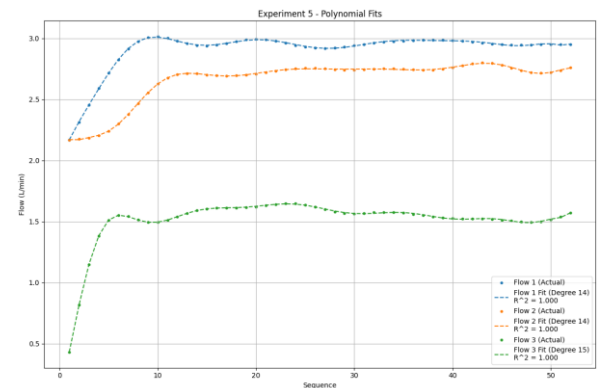
Secara keseluruhan data *real time* dapat dilihat pada *web* seperti Gambar 14. Terdapat status terjadi kebocoran sesuai dengan apa yang sedang terjadi. Sebagian data sensor yang masuk juga dapat dilihat dari grafik. Keseluruhan data pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 24 dan Gambar 25.

Gbr. 22. Hasil dan model *level* percobaan 3

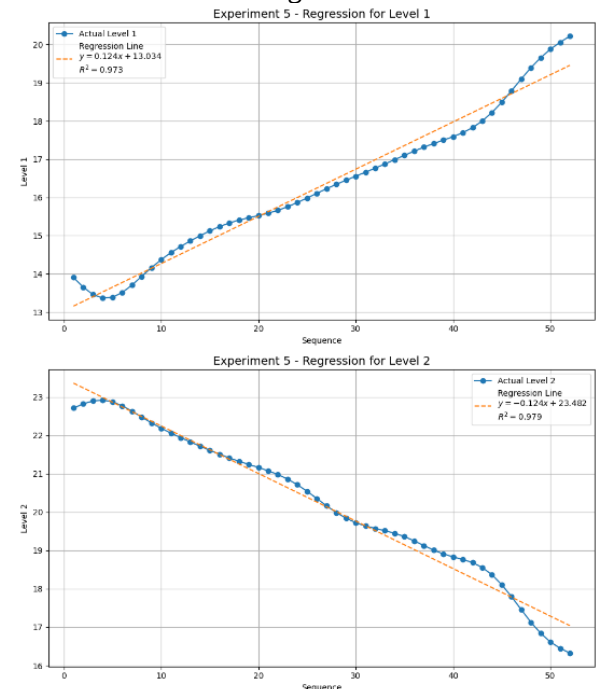
Gbr. 23. HMI website percobaan 5

Gambar 24. menampilkan data hasil pengukuran aliran. *Flow* 1, 2 dan 3 menunjukkan kenaikan tajam pada awal grafik, kemudian cenderung stabil. Hasil analisis dengan regresi polinomial yang memiliki derajat antara 14 hingga 15 menghasilkan nilai R^2 sebesar 1,00. Fluktuasi

yang lebih teratur dan amplitudo yang kecil menunjukkan bahwa model yang sederhana cukup untuk memodelkan data dalam percobaan ini.

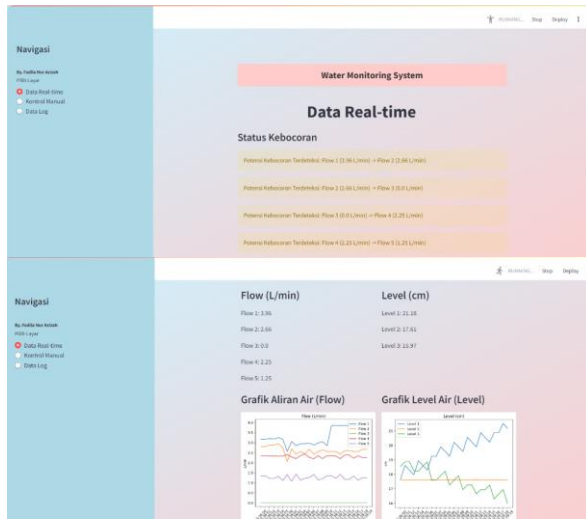


Gbr. 24. Perancangan Sistem Hardware

Gbr. 25. Hasil dan model *level* percobaan 5

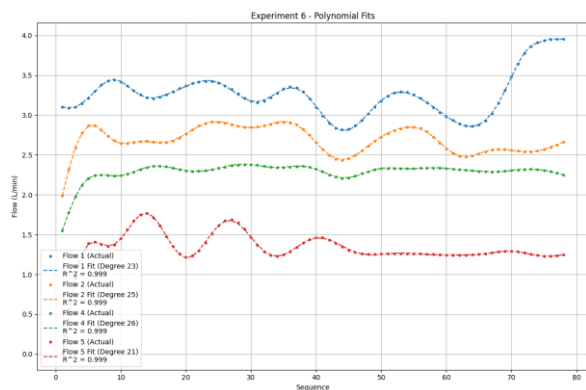
Gambar 25 menampilkan data hasil sensor ultrasonik *level* 1 yang menunjukkan kenaikan dan *level* 2 menunjukkan penurunan yang stabil. Analisis regresi linier untuk kedua *level* memiliki gradien yang sama yaitu sebesar $\pm 0,12$. Tingginya nilai R^2 mencapai lebih dari 0,95 menegaskan bahwa regresi linier merupakan model yang sangat sesuai untuk merepresentasikan hubungan ini.

Pada percobaan keenam yaitu adanya kebocoran pada alat dan hanya *solenoid valve* 1 dan 3 yang dihidupkan menampilkan data *real time* pada website seperti tampak pada Gambar 26.



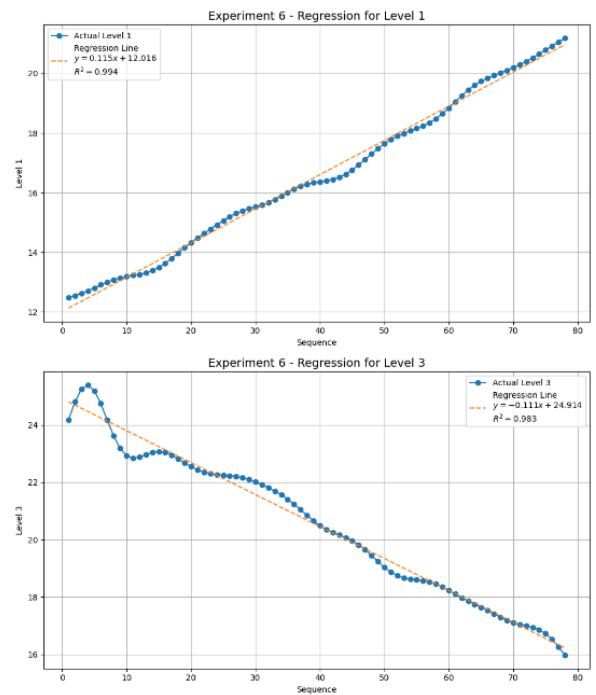
Gbr. 26. HMI website percobaan 6

Sebagian data *Real Time* dapat dilihat pada *web* seperti Gambar 26. Dimana terdapat status terjadi kebocoran sehingga sesuai dengan apa yang sedang terjadi.



Gbr. 27. Hasil dan model flow percobaan 5

Gambar 27 menampilkan data hasil untuk *flow* 1 dan 2 menunjukkan pola fluktuasi yang signifikan. *Flow* 4 dan 5 cenderung lebih stabil walaupun masih ada fluktuasi kecil pada awal hingga pertengahan urutan, namun cenderung stabil di bagian akhir grafik. Gambar 27 juga menampilkan hasil analisis dengan regresi polinomial yang memiliki derajat antara 21 hingga 26. Model ini memberikan nilai R^2 sebesar 0,999 yang menunjukkan bahwa model sangat akurat. Fluktuasi pola teratur dan variasi amplitudo yang unik sehingga diperlukan penggunaan derajat regresi kompleks untuk model merepresentasikan pola data dinamis dan beragam.



Gbr. 28. Hasil dan model level percobaan 6

Gambar 28 menampilkan data hasil *level* 1 menunjukkan garis kenaikan dan *level* 3 menunjukkan garis penurunan yang stabil. Analisis regresi linier menunjukkan nilai gradien yang sama yaitu sebesar $\pm 0,11$ cm/detik. Tingginya R^2 lebih dari 0,95 pada kedua grafik menunjukkan bahwa model regresi linier sangat kuat terhadap garis regresinya. Penjabaran hasil pembacaan sensor di atas didapatkan selisih antar percobaan yang dapat di lihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Selisih percobaan pada sensor flow

Sensor	1 dan 4	2 dan 5	3 dan 6
Flow 1 L/min	0,0087	0,8441	1,2081
Flow 2 L/min	0,6745	0,5949	0,6374
Flow 3 L/min	1,8875	0,5500	0,2400
Flow 4 L/min	1,3854	-	0,7232
Flow 5 L/min	1,4923	-	-

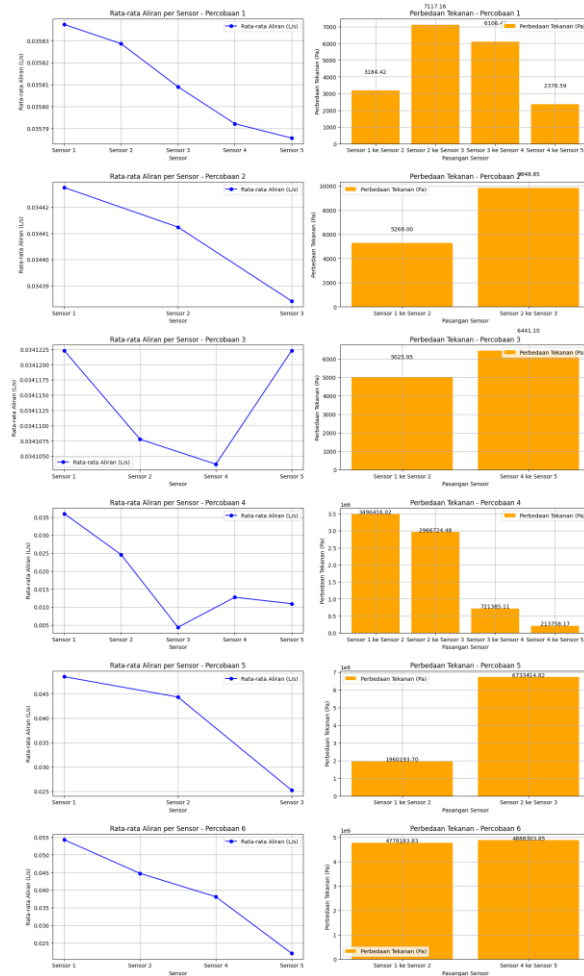
Tabel 5. Selisih percobaan sensor ultrasonik

Sensor	1 dan 4	2 dan 5	3 dan 6
Level 1 Cm/s	0,00032	0,01585	0,00679
Level 2 Cm/s	0,05026	0,01653	0,00040
Level 3 Cm/s	0,00466	0,00012	0,00126

Dari data di atas menunjukkan bahwa setiap ada dan tidak adanya kebocoran memiliki perbedaan perhitungan baik pada flow maupun pada levelnya. Pada flow dapat di tunjukkan dari perbedaan rata rata sensor setiap percobaan nya. Sedangkan untuk *ultrasonic* dilihat dari perbedaan gradiennya.

Selanjutnya dari data-data diatas dilakukan analisis tekanan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kebocoran pipa terhadap tekanan nya. Meskipun kebocoran pipa ini tetap dilihat dari sensor *water flow*, di mana kebocoran akan terdeteksi ketika adanya nilai *flowrate* yang berbeda. Sehingga dari sini untuk menganalisis tekanan perlu menggunakan kecepatan aliran air yang di dapatkan dari nilai *flow rate* nya. Dari sini perbedaan tekanan dari dua tempat yang berbeda akan terlihat. Kemudian dari hasil kedua data perbedaan tekanan dan *flowrate* nya, dapat dibandingkan seperti pada Gambar 16.

Pada Gambar 16. ditunjukan grafik antara laju aliran dan diagram perbedaan tekanan. Percobaan yang dilakukan sebanyak enam kali dengan merata-ratakan data *flow rate* dari setiap percobaan. Analisis perbedaan tekanan nya, ketika tidak ada perubahan *flow rate* pada sensor ke sensor berikutnya maka tidak ada juga perbedaan tekanannya. Namun sebaliknya jika terdapat perbedaan *flow rate* yang terjadi dari sensor satu ke sensor yang lainnya maka perubahan tekanan juga akan semakin meningkat. Tinggi rendahnya perubahan tekanan dipengaruhi oleh perubahan *flowrate* yang terjadi pada setiap sensor.

Gbr. 29. Perbandingan *flow rate* dan tekanan

IV. PENUTUP

Dalam penelitian ini, telah berhasil meninjau rancangan sebuah sistem *prototype* untuk mendeteksi kebocoran pada pipa dengan menggunakan sensor *water flow* dan *ultrasonic* yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things. Sistem ini menunjukan potensi yang signifikan dalam meningkatkan diterapkan dalam berbagai industri untuk meningkatkan efisiensi operasional. Hasil penelitian ini menunjukkan data real time yang diakses meleauai web, menentukan kebocoran melalui selisih flow dan level, serta hubungan flow dan tekanan. Dengan demikian, penelitian ini membuka peluang studi lanjutan untuk memperdalam pemahaman mengenai dinamika kebocoran pipa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kedua orang tua, keluarga, dan orang terkasih yang telah memberikan doa, dukungan dan bantuannya.

Kemudian terimakasih juga kepada para dosen pembimbing yang telah melunaskan watunya untuk membimbing saya dari awal hingga akhir sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

REFERENSI

- [1] A. Phady, F. R. Rahim, I. M. Suci, and T. Rachman, "Kajian Teknologi Penanganan Kebocoran Pipa Pada Bangunan Lepas Pantai Di Laut Utara Karawang," *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 2, no. 1, pp. 54–59, 2019, doi: 10.62012/sensistek.v2i1.13218.
- [2] A. M. Ilmah, A. Syarifuddin, A. Lungiding, A. Risdianto, and P. N. Madura, "Penerapan pemodelan numerik terhadap kebocoran pipa pada aliran fluida," vol. xx, no. xx, pp. 167–172, 2024.
- [3] H. S. SENDI, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Jumlah Sisa Volume Minyak Underground Tank Berbasis Mikrokontroler," *Skripsi*, 2018.
- [4] T. Darmana and W. Sya'ban, "Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Putaran Motor Dan Pendeteksi Kestabilan Putaran Pada Porosnya," *Ranc. Bangun Alat Ukur Kecepatan Putaran Mot. Dan Pendeteksi Kestabilan Putaran Pada Porosnya*, vol. 7, no. 1, pp. 71–76, 2019.
- [5] E. Dejband, Y. C. Manie, Y. J. Deng, M. A. Bitew, T. H. Tan, and P. C. Peng, "High Accuracy and Cost-Effective Fiber Optic Liquid Level Sensing Sistem Based on Deep Neural Network," *Sensors*, vol. 23, no. 4, 2023, doi: 10.3390/s23042360.
- [6] S. V. Angadi and R. L. Jackson, "A critical review on the solenoid valve reliability, performance and remaining useful life including its industrial applications," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 136, 2022.
- [7] J. Tarifa-Fernández, A. M. Sánchez-Pérez, and S. Cruz-RamAUD, "Internet of Things and their coming perspectives: A real options approach," *Sustain.*, vol. 11, no. 11, 2019, doi: 10.3390/su11113178.
- [8] I. Bagus, G. Purwani, I. N. S. Kumara, and M. Sudarma, "Application of IoT-Based Sistem for Monitoring Energy Consumption," *Int. J. Eng. Emerg. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 81–93, 2020, [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/ijeet/article/view/60487>
- [9] H. Kusuma, F. Ramadhan, A. A. Alawi, R. Nauval, and J. Setiawan, "Judul Prototypee Pendeteksi Kebocoran Pipa Berbasis Iot Menggunakan Nodemcu Esp8266 Melalui Dashboard Adafruit.Io," *J. Teknol. Dan Sist. Inf. Bisnis*, vol. 3, no. 2, pp. 327–333, 2021, doi: 10.47233/jteksis.v3i2.253.
- [10] M. A. Ayamga and C. I. Nakpih, "An IoT-Based Water Leakage Detection and Localization Sistem," *Asian J. Res. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 3, pp. 1–14, 2024, doi: 10.9734/ajrcos/2024/v17i3421.
- [11] A. Dash, S. Bandopadhyay, and S. R. Samal, "AI-Enabled IoT Framework for Leakage Detection and Its Consekuen Prediction during External Transportation of LPG," 2023.
- [12] E. Lety Istikhomah Puspita Sari and I. Ketut Agung Enriko, "Design Gas LPG Leak Detection Sistem Based on Internet of Things," *JIM J. Ilm. Mhs. Pendidik. Sej.*, vol. 8, no. 3, pp. 1053–1060, 2023, [Online]. Available: <http://jim.unsyiah.ac.id/sejarah/mm>