

Desain Kendali Otomatis *Prototype Inlet-Outlet Air Limbah KPPL*

Rahmawati¹, Siti Amra², Muhammad Kamal³, Arief Mardiyanto^{*4}

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata
24301 INDONESIA

e-mail: ¹rahmawati.gunawan@gmail.com, ²sitiamra26@yahoo.co.id, ³m.kamal@pnl.ac.id,

^{*4}ariefmardiyanto@pnl.ac.id

Abstrak

Kolam penampungan dan pengolahan air limbah (KPPL) di industri memiliki peran krusial dalam pengelolaan limbah. Pengendalian valve inlet dan outlet sangat penting untuk menjaga keseimbangan aliran dan efisiensi proses. Saat ini, KPPL di PT.X menggunakan metode manual dalam pengendalian valve yang bergantung pada pengamatan visual dan pengambilan sampel, yang terbatas dalam akurasi dan responsivitas. Oleh karena itu, perlu dirancang prototype kontrol valve otomatis untuk meningkatkan kinerja sistem pengolahan limbah di PT. X. Penelitian ini bertujuan membangun sistem kontrol otomatis yang menggunakan sensor level dan pH serta motor DC untuk mengatur aliran air limbah. Sistem ini menggunakan kendali on-off histeresis untuk mencegah penggunaan energi berlebih dan memperpanjang umur komponen dengan mengurangi frekuensi buka-tutup valve. Sensor ultrasonik mendeteksi ketinggian air, sementara sensor pH memantau kualitas air sebelum dibuang ke laut. Pengujian menunjukkan akurasi sensor, dengan kesalahan rata-rata 0,94% untuk sensor level dan 0,9% untuk sensor pH. Pengaturan histeresis menjaga kondisi pompa dan motor mati saat level air dalam rentang aman, yang meningkatkan efisiensi dan mengurangi keausan. Sistem ini memberikan kontrol lebih presisi terhadap aliran limbah, memastikan pembuangan yang aman dan sesuai standar lingkungan, serta mengurangi intervensi manual dan risiko kesalahan operasional.

Kata kunci— histeresis, kendali on-off, KPPL, pH, sensor ultrasonik

Abstract

Wastewater treatment and retention ponds (KPPL) in industry play a crucial role in waste management. Controlling the inlet and outlet valves is essential to maintain flow balance and process efficiency. Currently, the KPPL at PT.X uses a manual method in valve control that relies on visual observation and sampling, which is limited in accuracy and responsiveness. Therefore, it is necessary to design an automatic valve control prototype to improve the performance of the wastewater treatment system at PT. X. This study aims to build an automatic control system that uses level and pH sensors and a DC motor to regulate wastewater flow. This system uses hysteresis on-off control to prevent excessive energy consumption and extend component life by reducing the frequency of valve opening and closing. The ultrasonic sensor detects the water level, while the pH sensor monitors the water quality before being discharged into the sea. Testing shows the accuracy of the sensors, with an average error of 0.94% for the level sensor and 0.9% for the pH sensor. Hysteresis control keeps the pump and motor off when the water level is within the safe range, which increases efficiency and reduces wear. This system provides more precise control over wastewater flow, ensures safe and environmentally friendly disposal, and reduces manual intervention and the risk of operational errors.

Keywords— hysteresis, on-off control, KPPL, pH, ultrasonic sensor

1. PENDAHULUAN

Kolam Penampungan dan Pengolahan Limbah (KPPL) merupakan infrastruktur penting dalam pengelolaan limbah industri, termasuk di PT. X yang memproduksi pupuk berbahan dasar amoniak dan karbondioksida. Limbah industri PT. X dibuang ke laut setelah dipastikan kualitas air limbahnya. Lingkungan laut sebagai tempat pembuangan limbah pabrik berpotensi mempengaruhi kehidupan plankton dan biota perairan [1], [2]. KPPL PT. X berfungsi berfungsi untuk mengatur komposisi air limbah dan kecepatan buangnya ke laut.

Sistem inlet pada KPPL merupakan komponen penting yang berfungsi menjaga dan mengontrol aliran air limbah yang masuk ke KPPL untuk memastikan level air limbah tetap stabil. Sedangkan sistem outlet digunakan untuk mengontrol aliran limbah yang keluar dari KPPL, dengan peran penting dalam memastikan pembuangan air limbah telah memenuhi standar baku mutu yang sesuai sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Pengukuran air limbah dilakukan secara rutin untuk mencegah kerusakan lingkungan dan menjaga keseimbangan organisme. Saat ini, pengendalian sistem *inlet dan outlet* pada KPPL PT. X masih dilakukan secara manual dengan metode pengukuran level dan kualitas air menggunakan peralatan konvensional. Meskipun metode ini mampu memberikan informasi dasar tentang kondisi air limbah, namun akurasi dan responsivitasnya masih terbatas. Operasi buka-tutup valve dapat diatur berdasarkan angka pH menggunakan mikrokontroler dengan parameter yang digunakan adalah debit aliran limbah, konsentrasi penetral, dan jenis aliran penetral [3]. Teknologi berbasis IoT digunakan untuk pemantauan air limbah secara real-time dengan sensor pH dan suhu, serta pengiriman data melalui cloud dan modul GSM [4]. Sistem pemantauan limbah berbasis sensor dan AI yang memanfaatkan metode Principal Component Analysis (PCA) [5], algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk evaluasi dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah serta prediksi kualitas proses yang lebih akurat [6].

Pengendalian manual sering kali dipengaruhi oleh faktor subjektivitas manusia dan perubahan kondisi lingkungan yang tidak terduga, sehingga meningkatkan potensi terjadinya kesalahan dan keterlambatan dalam pengambilan keputusan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem kendali otomatis yang lebih presisi untuk mengoptimalkan pengelolaan aliran limbah, meningkatkan efisiensi operasional, serta mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Prototype sistem pemantauan proses dirancang dengan mengintegrasikan sensor dan mikrokontroler yang diperlukan untuk memastikan kondisi proses yang terjadi [6]. Sebelum sistem ini diterapkan secara luas, maka dikembangkan dan diuji terlebih dahulu melalui pembuatan prototype untuk memastikan kinerja dan keandalannya dalam berbagai kondisi operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototype sistem kendali otomatis *inlet dan outlet* air limbah di KPPL PT. X. Prototype ini dirancang agar efektif dalam memperoleh data real-time kualitas air limbah untuk pengendalian, serta dilakukan pengujian dan validasi kinerja prototype guna memberikan rekomendasi implementasi yang tepat di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Sistem Monitoring

Pengukuran pH menggunakan sensor pH 4502C. Penilaian derajat hubungan nilai pH dan tegangan menggunakan persamaan regresi linier [7]. Regresi linier adalah teknik statistik yang digunakan untuk membuat model dan menyelidiki pengaruh satu atau beberapa variabel independen terhadap satu variabel dependen. Regresi ini melibatkan 2 variabel yaitu satu variabel independen (tegangan) dan satu variabel dependen (nilai pH) ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$y = ax + b \quad (1)$$

y: variabel dependen, x: variabel independen, a: konstanta (intercept), b: koefisien regresi (slope).

Pengukuran level (ketinggian air) berbasis jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Rumus pada Persamaan (2) menghitung jarak benda dengan sensor ultrasonik adalah:

$$S = \frac{340 \times t}{2} \quad (2)$$

Di mana:

S = Level adalah jarak antara sensor dengan benda yang diukur (m).

t = waktu yang dibutuhkan sinyal untuk kembali ke sensor (s).

Kecepatan gelombang suara = 340 m/s

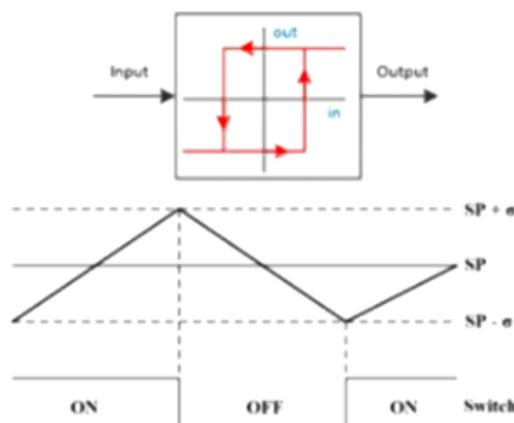
Faktor pembagi jarak karena gelombang suara mengalami pemantulan = 2

2.2. Sistem kendali

Air limbah ke KPPL berasal dari tiga pabrik yaitu urea, amoniak dan utility. Air limbah dari pabrik amoniak dan utility dialirkan ke kolam netralisasi dan equalisasi, sementara air limbah pabrik urea ke kolam hidrolisa terlebih dahulu baru dialirkan ke kolam netralisasi dan equalisasi. Sistem outlet menggunakan sensor pH untuk kendali motor menggerakkan buka tutup pintu outlet. Jika $6,0 \leq \text{pH} \leq 8,0$ maka pintu outlet terbuka. Jika nilai pH tidak memenuhi kondisi ini, maka pintu outlet tertutup yang artinya limbah tidak dialirkan ke laut.

Penelitian ini memantau dan mengendalikan sistem inlet-outlet air limbah di KPPL menggunakan teknologi kendali on-off histeresis. Dengan penerapan kendali histeresis, sistem inlet dan outlet air limbah di KPPL dapat beroperasi lebih efisien dan stabil, meminimalkan risiko kerusakan pada komponen, dan memastikan pengelolaan limbah yang lebih baik.

Sistem kendali histeresis adalah jenis kendali on-off yang memiliki deadband dalam rentang nilai referensi (setpoint). Pada alat ini, kendali histeresis dirancang menggunakan sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air, sementara pompa berfungsi untuk mengalirkan air limbah yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Gambar 1 menunjukkan skema kendali histeresis. Kendali ini bekerja dengan menambahkan pita histeresis pada nilai setpoint (SP), kondisi on dapat berada pada penjumlahan SP dan *error* (SP+e) atau pada pengurangan SP dan *error* (SP-e) tergantung pada kondisi awal.



Gambar 1. Sistem kendali on-off histeresis

Sistem kendali on-off histeresis untuk mengendalikan ketinggian air dalam sistem KPPL dan menghasilkan respon yakni mengaktifkan relai sesuai nilai referensi ketinggian yang

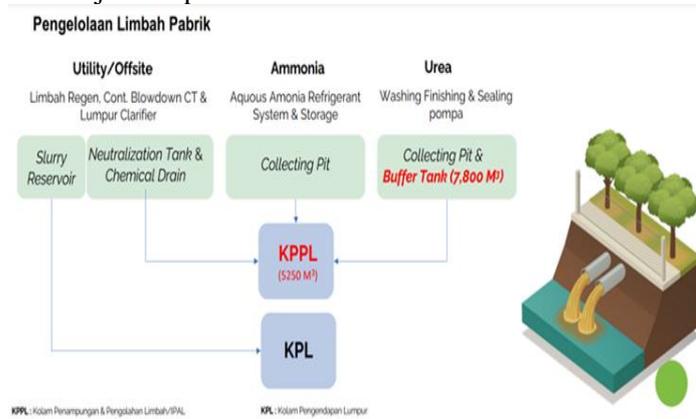
diberikan menggunakan sensor ultrasonik. Sistem inlet menerapkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi level air limbah pada setiap pabrik dan kolam hidrolisa sebagai masukan kendali pompa untuk mengalirkan air limbah. Level air limbah memiliki batas tinggi 70% dari kapasitas penuh dan batas rendah 30% dari kapasitas penuh. Dengan pengaturan ini, pompa hanya akan dinyalakan saat level air mencapai 70% dan hanya akan dimatikan saat level turun di bawah 30%. Pengaturan batas tinggi dan rendah akan memastikan bahwa pompa tidak sering menyala dan mati (menghindari "chattering").

Pada kolam hidrolisa, jika sensor mendeteksi batas tinggi, motor DC berputar searah jarum jam hingga mencapai limit switch dan berhenti. Sebaliknya jika batas rendah, motor berputar berlawanan arah jarum jam hingga mencapai limit switch dan berhenti. Dua buah limit switch pull up digunakan untuk pengaturan berhenti motor, jika limit switch ditekan, maka motor DC akan berhenti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

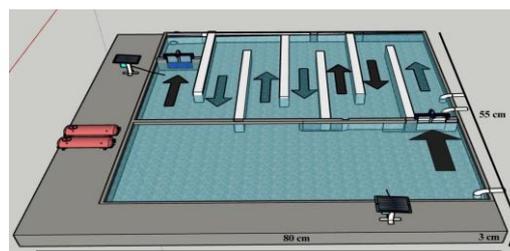
3.1. Prototype KPPL PT. X

Desain prototype KPPL PT. X adalah miniatur kolam KPPL dengan skala 1:60 untuk implementasi kontrol valve. Miniatur ini memungkinkan pengujian dan simulasi sistem kontrol dalam skala lebih kecil dan aman, sehingga dapat mengidentifikasi dan memperbaiki masalah sebelum implementasi penuh. Dengan miniatur, berbagai konfigurasi dan parameter operasional dapat diuji untuk mengoptimalkan desain sistem, serta menghemat biaya dan waktu karena perubahan dapat dilakukan lebih cepat. Selain itu, miniatur ini juga memberikan bukti konsep visual yang membantu mendapatkan dukungan dari manajemen PT. X. Sistem Pengelolaan Limbah Pabrik PT. X ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pengelolaan Limbah Pabrik PT. X

Sumber inlet berasal dari tiga tempat yaitu: utility, pabrik ammonia dan pabrik urea. Outlet dari KPPL adalah pintu keluar limbah yang sudah diproses dan dialirkan menuju laut. Prototype KPPL ditunjukkan pada Gambar 3.

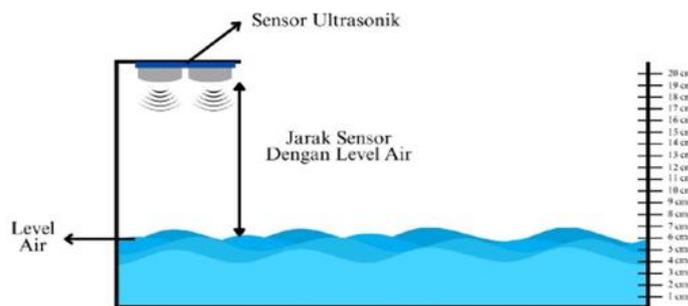


Gambar 3. Prototype KPPL PT. X

Desain prototype kendali inlet dan outlet KPPL melibatkan beberapa komponen utama seperti sensor, aktuator, sistem kendali, dan perangkat lunak untuk pengoperasian otomatis. Pompa untuk mengatur aliran air limbah, sedangkan motor untuk mengendalikan buka-tutup outlet. Sensor yang digunakan sensor Ultrasonik untuk mengukur level air limbah di tangki buffer dan kolam. Sensor pH untuk mengukur parameter kualitas air pada kolam netralisasi dan equalisasi untuk memastikan keamanan aliran limbah ke laut. Persyaratan limbah yang sudah diproses untuk dialirkan menuju laut harus memenuhi berbagai standar lingkungan yang ketat guna mencegah pencemaran dan kerusakan ekosistem laut. Rentang pH yang diperbolehkan antara 6.0 hingga 9.0.

3.2. Pengujian Sensor Level

Pengujian sensor level menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran manual (menggunakan penggaris) dengan data sensor untuk mendeteksi level air limbah. Sensor ini mengukur jarak melalui pantulan gelombang ultrasonik yang dihitung berdasarkan waktu tempuhnya, dengan kecepatan suara sebesar 343 m/s. Program untuk pengukuran level ini mengatur *pin Trig* sebagai output dan *pin Echo* sebagai input, menggunakan fungsi *pulseIn()* untuk membaca waktu pantulan dan menghitung jarak. Konsep pengujian sensor level ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsep pengujian sensor level

Pengujian pada sub sistem bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan fungsi dari sub sistem tersebut. Pengujian sensor level ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Sensor ultrasonik

No.	Level Air (cm)	Jarak ke Permukaan Air (cm)						Error (%)		
		Pengukuran Manual (Penggaris)			Pembacaan Sensor Ultrasonik			E1	E2	E3
		L1	L2	L3	S1	S2	S3			
1.	1	14	14	14	15	14	14	7,1	0	0
2.	2	13	13	13	13	13	13	0	0	0
3.	3	12	12	12	12	12	12	0	0	0
4.	4	11	11	11	11	11	11	0	0	0
5.	5	10	10	10	10	10	10	0	0	0
6.	6	9	9	9	9	9	9	0	0	0
7.	7	8	8	8	8	8	8	0	0	0
8.	8	7	7	7	7	7	7	0	0	0
9.	9	6	6	6	6	6	6	0	0	0

10.	10	5	5	5	5	5	5	0	0	0
11.	11	4	4	4	4	4	4	0	0	0
12.	12	3	3	3	3	3	3	0	0	0
13.	13	2	2	2	2	2	2	0	0	0
14.	14	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Keterangan:

- L1 = jarak ke permukaan air menggunakan penggaris pada Pabrik Urea
- L2 = jarak ke permukaan air menggunakan penggaris pada Pabrik Amoniak
- L3 = jarak ke permukaan air menggunakan penggaris pada Pabrik Utility
- S1 = sensor level (Ultrasonik) pada Pabrik Urea
- S2 = sensor level (Ultrasonik) pada Pabrik Amoniak
- S3 = sensor level (Ultrasonik) pada Pabrik Utility
- E1 = selisih pengukuran penggaris dan sensor level pada Pabrik Urea
- E2 = selisih pengukuran penggaris dan sensor level pada Pabrik Amoniak
- E3 = selisih pengukuran penggaris dan sensor level pada Pabrik Utility

Pengukuran level air secara akurat merupakan bagian penting dalam sistem monitoring proses industri. Sensor ultrasonik dipilih karena mampu memberikan pembacaan non-kontak dan respons cepat. Pengujian dilakukan pada tiga lokasi berbeda, yaitu Pabrik Urea, Pabrik Amoniak, dan Pabrik Utility. Pengujian ini untuk melihat akurasi dan konsistensi pembacaan sensor ultrasonik dalam mengukur level air.

Pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan 0,94% untuk sensor level. Akurasi sensor secara keseluruhan adalah 99,06%, menunjukkan konsistensi tinggi terhadap beberapa kali pengukuran. Secara keseluruhan, sensor menunjukkan performa yang akurat dan konsisten dalam mendeteksi level air limbah di KPPL. Hal ini sejalan dengan hasil studi yang mengevaluasi akurasi sensor ultrasonik dalam mengukur level air dan laju aliran di kanal irigasi terbuka. Dalam studi tersebut, pengukuran dibandingkan dengan metode limnigraf dan sensor tekanan. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memberikan pembacaan yang akurat, terutama dalam kondisi aliran yang berfluktuasi, sehingga menjadi pilihan andal untuk pemantauan level air [8].

3.3. Pengujian sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor pH 4502C dengan pH meter manual untuk memastikan akurasi (Gambar 5). Sensor ini mengukur pH dengan mengonversi nilai analog (0–1024) menjadi tegangan (0–5 volt) untuk disesuaikan dengan nilai keasaman larutan. Proses kalibrasi sensor melibatkan pengaturan tegangan untuk pH netral (pH 7) dan asam (pH 4) dengan mengatur potensiometer pada modul sensor.



Gambar 5. Konsep pengujian sensor pH

Proses kalibrasi sensor pH dimulai dengan menjalankan program pengukuran tegangan dari sensor. Hasil pembacaan awal menunjukkan nilai tegangan sebesar 3,05 volt, yang mencerminkan kondisi awal dari sensor sebelum dilakukan penyesuaian. Untuk melakukan kalibrasi terhadap nilai pH netral (pH = 7), potensiometer pada modul sensor pH kemudian diputar secara perlahan hingga didapatkan nilai tegangan sebesar 2,5 volt, yang ditetapkan sebagai representasi dari pH netral. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai tegangan sensor pada kondisi pH = 4. Untuk keperluan ini, bubuk larutan buffer standar dengan pH 4 dilarutkan ke dalam air sebanyak 250 ml. Setelah larutan siap dan sensor dicelupkan ke dalamnya, nilai tegangan yang terbaca adalah 3,1 volt. Nilai-nilai tegangan untuk pH = 4 dan pH = 7 ini kemudian digunakan untuk menghitung PH step, yang merupakan selisih tegangan per unit pH. Perhitungan yang digunakan adalah pada Persamaan (3) sebagai berikut:

$$pH_{step} = \frac{Tegangan_{pH4} - Tegangan_{pH7}}{7 - 4} = \frac{3,1 - 2,5}{3} = 0,2 \quad (3)$$

Setelah mendapatkan nilai PH step sebesar 0,2, maka program mikrokontroler diatur untuk menghitung nilai pH berdasarkan tegangan yang dibaca dari sensor. Nilai tegangan yang dibaca (TeganganPh) dihitung dari nilai analog ADC menggunakan rumus Persamaan (4):

$$Tegangan\ pH = \frac{5}{1023} \times nilai_analog\ pH \quad (4)$$

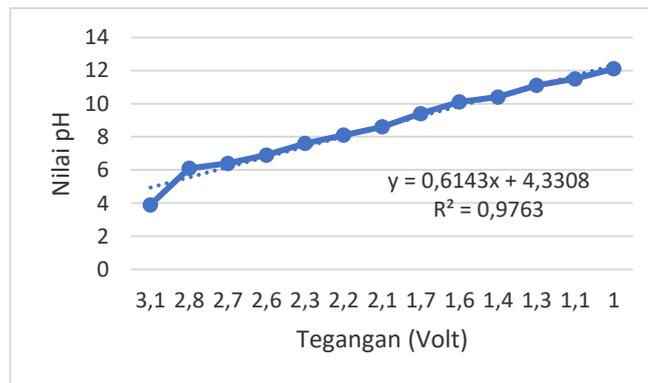
Kemudian, nilai pH (dalam variabel Po) dihitung dengan rumus Persamaan (5):

$$Po = 7 + \left(\frac{pH7 - Tegangan\ pH}{pH_{step}} \right) \quad (5)$$

Program pengukuran memproses nilai tegangan yang dibaca untuk menghitung nilai pH cairan:

```
nilai_pH = analogRead(A0);           //nilai_pH: hasil pembacaan analog dari pin A0
tegangan = nilai_pH*(5.0 / 1023);    //tegangan referensi arduino adalah 5 volt, 1023 adalah resolusi analog dari
                                     mikrokontroler.
serial.println(tegangan);           //monitoring hasil pembacaan tegangan
.....
float PH4 = 3.1;
float PH7 = 2.5;
TeganganPh = 5 / 1024.0 * nilai_analog_PH;
Po = 7.00 + ((PH7 - TeganganPh) / PH_step);
```

Dengan pendekatan ini, sistem mampu mengkonversi tegangan keluaran dari sensor menjadi nilai pH secara real-time, berdasarkan referensi dua titik kalibrasi yaitu pH 4 dan pH 7. Pengujian sensor pH menunjukkan tegangan pH, nilai ADC dan nilai pH menghasilkan rata-rata error sebesar 0,9 %. Modul pH meter berfungsi dengan akurasi tinggi sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai monitoring pH pada tandon air [9]. Hubungan tegangan terhadap nilai pH ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan nilai pH terhadap tegangan

Hubungan linier antara tegangan dan nilai pH, dengan persamaan regresi linier yang diberikan sebagai $y=0,6143x+4,3308$, di mana y adalah nilai pH dan x adalah tegangan. Nilai $R^2 = 0,9763$, menunjukkan bahwa model regresi sangat baik dalam menjelaskan hubungan antara tegangan dan pH. Koefisien 0,6143 menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 Volt pada tegangan akan meningkatkan nilai pH sebesar 0,6143 unit. Hal ini menunjukkan bahwa nilai pH dapat diprediksi dengan baik menggunakan tegangan, dengan hubungan linier yang kuat.

3.4. Pengujian Sistem Inlet KPPL

Pada sistem inlet, aliran limbah dari pabrik amoniak dan utility dialirkan ke kolam equalisasi dan netralisasi, sementara limbah dari pabrik urea ke kolam hidrolisa. Aliran ini dikendalikan oleh pompa air, dan penyaluran limbah dari kolam hidrolisa ke kolam equalisasi dan netralisasi diatur oleh motor DC yang membuka atau menutup pintu air berdasarkan level air. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi level air, di mana nilai batas HIGH dan LOW adalah 12 cm dan 6 cm untuk tangki pabrik, serta 16 cm dan 8 cm untuk kolam hidrolisa.

Sensor ultrasonik HC-SR04 dapat mengukur jarak antara 2 cm hingga 400 cm dengan akurasi 0,1 cm. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik 40 kHz melalui transmitter dan mendeteksi pantulannya menggunakan receiver. Modul ini memiliki beberapa pin, yaitu sumber tegangan 5V, trigger sebagai input pulsa, echo sebagai output pulsa, dan ground [10]. Pengujian mengamati kondisi pompa dan motor DC sesuai level air, menghasilkan diagram histeresis yang menggambarkan respons sistem terhadap perubahan level. Pengujian sistem inlet dapat dilakukan dengan mengamati kondisi pompa air dan motor DC berdasarkan level air pada pabrik atau kolam hidrolisa ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian sistem inlet pada tangki pabrik

No.	Level Air (cm)	Pompa Air	Output Mikro (V)	Output Pompa (V)
1.	6	OFF	0	0
2.	7	OFF	0	0
3.	8	OFF	0	0
4.	9	OFF	0	0
5.	10	OFF	0	0
6.	11	OFF	0	0
7.	12	ON	5	12,2
8.	11	ON	5	12
9.	10	ON	5	12,1
10.	9	ON	5	11,9
11.	8	ON	5	12

12.	7	ON	5	11,8
13.	6	OFF	0	0

Pengujian menunjukkan bahwa desain kontrol histeresis pada sistem ini mencegah pompa menyala-mati terlalu sering akibat fluktuasi kecil pada level air, yang dapat menguras energi dan memperpendek usia pompa. Dengan batas level HIGH dan LOW, sistem memastikan pompa bekerja hanya ketika level air benar-benar membutuhkan, sehingga menjaga efisiensi energi dan stabilitas aliran limbah.

Untuk pembuangan limbah dari kolam hidrolisa ke kolam netralisasi, motor DC mengontrol pintu air: berputar searah jarum jam untuk membuka dan berlawanan untuk menutup. Pengaturan ini menjaga sistem berjalan optimal sesuai kondisi level air yang terdeteksi. Sistem kendali motor pada inlet kolam hidrolisa menggunakan mekanisme histeresis untuk membuka dan menutup pintu air secara otomatis berdasarkan level air. Saat level air mencapai 16 cm, motor membuka pintu; ketika level turun di bawah 15 cm, motor berhenti tetapi pintu tetap terbuka. Penutupan pintu tertunda hingga level air mencapai 8 cm, pada titik ini motor berputar berlawanan arah jarum jam untuk menutup pintu, menandakan bahwa air telah berada di bawah level minimal. Sistem ini menjaga motor tetap mati ketika level air antara LOW = 8 cm dan HIGH = 16 cm, hanya mengaktifkan motor pada level kritis untuk membuka atau menutup pintu air. Penggunaan histeresis mencegah "*short cycling*," sehingga memperpanjang usia motor. Secara keseluruhan, sistem ini mengoptimalkan operasi pintu air berdasarkan level air, memastikan kontrol yang aman dan efisien untuk pembuangan limbah dari kolam hidrolisa ke kolam netralisasi. Sistem inlet pada kolam hidrolisa adalah kondisi motor untuk membuka atau menutup pintu air ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian sistem inlet pada kolam hidrolisa

No.	Level Air (cm)	Motor DC	Pintu Air
1.	8	Berhenti (OFF)	Tertutup
2.	9	Berhenti (OFF)	Tertutup
3.	10	Berhenti (OFF)	Tertutup
4.	11	Berhenti (OFF)	Tertutup
5.	12	Berhenti (OFF)	Tertutup
6.	13	Berhenti (OFF)	Tertutup
7.	14	Berhenti (OFF)	Tertutup
8.	15	Berhenti (OFF)	Tertutup
9.	16	Berputar searah jarum jam	Membuka
10.	15	Berhenti (OFF)	Terbuka
11.	14	Berhenti (OFF)	Terbuka
12.	13	Berhenti (OFF)	Terbuka
13.	12	Berhenti (OFF)	Terbuka
14.	11	Berhenti (OFF)	Terbuka
15.	10	Berhenti (OFF)	Terbuka
16.	9	Berhenti (OFF)	Terbuka
17.	8	Berputar berlawanan arah jarum jam	Menutup

3.5. Pengujian Sistem Outlet KPPL

Sistem kerja outlet yaitu menyalurkan air limbah dari KPPL ke saluran pembuangan menuju laut. Sistem monitoring dan kontrol pompa berbasis arduino mampu memberikan kemudahan dalam mendeteksi kualitas air limbah di mana sebelum diaplikasikan dilakukan dalam bentuk prototyping [11]. Pembuangan air ke laut menggunakan pompa air sebagai proses

penyaluran dan berdasarkan nilai baku mutu air limbah menggunakan sensor pH. Pengujian sistem outlet dilakukan dengan mengamati kondisi pompa berdasarkan nilai pH ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian sistem outlet

No.	Nilai pH	Pompa Air	Output Mikro (V)	Output Pompa (V)
1.	12,0	OFF	0	0
2.	11,0	OFF	0	0
3.	10,0	OFF	0	0
4.	9,0	OFF	0	0
5.	8,0	ON	5	12,2
6.	7,0	ON	5,2	12
7.	6,0	ON	5	11,9
8.	5,0	OFF	0	0
9.	4,0	OFF	0	0

Ketika nilai pH berada pada rentang pH 4,0 hingga 5,0 dan pH 9,0 hingga 12,0, pompa air tidak bekerja (OFF). Pada kondisi ini, output dari mikrokontroler dan output ke pompa air juga menunjukkan nilai 0 V, yang artinya pompa dalam keadaan mati. Nilai pH yang sangat rendah di bawah pH 6, atau sangat tinggi di atas pH 8, adalah sebagai kondisi tidak aman atau tidak memenuhi baku mutu air limbah untuk dibuang ke laut. Oleh karena itu, pompa air tidak dioperasikan dalam kondisi ini untuk mencegah pembuangan air yang tercemar atau berbahaya. Sistem outlet ini menggunakan masukan nilai pH untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara otomatis, yang bertujuan untuk memastikan pembuangan air limbah ke laut hanya dilakukan saat kualitas air memenuhi standar baku mutu. Sistem ini meningkatkan keamanan lingkungan, dengan mengatur pompa membuang air limbah ke laut.

4. KESIMPULAN

Sistem otomatis ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi level air dan mengontrol motor berdasarkan prinsip histeresis. Motor hanya aktif pada batas tertentu untuk membuka atau menutup pintu air, mencegah kerja berlebihan dan menjaga efisiensi. Motor berputar untuk membuka pada level tinggi dan menutup pada level rendah, mengurangi risiko kerusakan. Sensor pH memantau kualitas air limbah, mengaktifkan pompa hanya saat pH dalam rentang aman (6,0–8,0) untuk melindungi ekosistem laut. Dengan integrasi mikrokontroler, sensor, motor, dan pompa, sistem ini mengontrol aliran dan kualitas limbah secara efisien, memastikan pembuangan aman dan hemat energi. Prototype pengendali dua posisi berfungsi dengan baik untuk mengendalikan sistem inlet-outlet pada KPPL sesuai dengan tujuan penelitian.

5. SARAN

Sistem kendali otomatis inlet-outlet air limbah KPPL dapat ditingkatkan dengan beberapa langkah strategis. Optimasi batas histeresis penting untuk efisiensi motor, sementara penambahan data logger memungkinkan pencatatan histori pengukuran. Kalibrasi berkala, terutama untuk sensor pH, diperlukan untuk menjaga akurasi. Pengembangan sistem berbasis IoT akan mendukung pemantauan jarak jauh dan notifikasi real-time. Disarankan juga penyediaan mode manual sebagai cadangan serta perlindungan fisik sistem menggunakan casing tahan air. Terakhir, penambahan sensor kualitas air seperti suhu, TDS, atau kekeruhan akan melengkapi pemantauan sebelum pembuangan ke lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Lhokseumawe yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kartika and P. Wahyuningsih, "Analisis Kandungan Amoniak dalam Limbah Outlet KPPL PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe," *Quim. J. Kim. Sains dan Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 6–11, 2019, [Online]. Available: <https://ejournalunsam.id/index.php/JQ/article/view/1692>
- [2] R. Unaida, "Keragaman Plankton di Lagun Pembuangan Limbah Cair Pabrik PT.Pupuk Iskandar Muda (PIM) dan PT. Asean Aceh Fertilizer (AAF)," *JESBIO*, vol. IV, no. 2, pp. 29–32, 2015.
- [3] N. Azimah Salehah, Q. Miladial Hikmah, and E. Ekawati, "Perancangan Dan Implementasi Aktuator Sistem Kontrol Ph Menggunakan on-Off Solenoid Valve Pada Purwa Rupa Instalasi Pengolahan Limbah Tekstil," no. February 2020, pp. 241–246, 2019, doi: 10.5614/sniko.2018.28.
- [4] R. M. M. Salem, M. S. Saraya, and A. M. T. Ali-Eldin, "An Industrial Cloud-Based IoT System for Real-Time Monitoring and Controlling of Wastewater," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 6528–6540, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141977.
- [5] M. W. Lee, S. H. Hong, H. Choi, J. H. Kim, D. S. Lee, and J. M. Park, "Real-time remote monitoring of small-scaled biological wastewater treatment plants by a multivariate statistical process control and neural network-based software sensors," *Process Biochem.*, vol. 43, no. 10, pp. 1107–1113, 2008, doi: 10.1016/j.procbio.2008.06.002.
- [6] R. Rahmawati, "Rancang Bangun Dielektrik Meter untuk Proses Pencucian Biodiesel," *Elektriase J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 62–73, 2023, doi: 10.47709/elektriase.v13i01.2617.
- [7] M. Mukhlizar, R. Hartati, and M. Murhaban, "Perancangan Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Dan Kadar Ph Air Berbasis Mikrokontroler," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.35308/jmkn.v5i1.1075.
- [8] S. Kang, D. S. K. David, M. Yang, Y. C. Yu, and S. Ham, "Energy-efficient ultrasonic water level detection system with dual-target monitoring," *Sensors*, vol. 21, no. 6, pp. 4–6, 2021, doi: 10.3390/s21062241.
- [9] M. F. D. Subakti and N. Irwansyah, "Rancang Bangun Monitoring Ketinggian Air, Nilai pH dan Kekeruhan Air Berbasis Internet Of Things Menggunakan Bylink Pada Tandon Air," *Kohesi J. Multidisiplin Saintek*, vol. 27, no. 2, pp. 635–637, 2021.
- [10] N. I. A. Darmajati, A. F. H. M, and J. Mrihardjono, "Rancang Bangun Alat Uji Kelurusan Benda Berbasis Arduinouno dengan Menggunakan Sensor HC-SR04," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 340–350, 2022.
- [11] Y. Adityas, M. Ahmad, M. Khamim, K. Sofi, and S. R. Riady, "Water Quality Monitoring System with Parameter of pH, Temperature, Turbidity, and Salinity Based on Internet of Things," *JISA (Jurnal Inform. dan Sains)*, vol. 4, no. 2, pp. 138–143, 2021, doi: 10.31326/jisa.v4i2.965.