

SISTEM PENGENDALIAN ALIRAN AIR LAUT PADA ALAT PEMBUAT GARAM MENGUNAKAN KONTROL PID

April Dharma Putri*, Fitri

Politeknik Negeri Malang
*Email: aprildharmaputri@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received date:

16 May 2024

Received in revised form date:

28 May 2024

Accepted date

5 June 2024

Available online date

20 June 2024

Abstract

The salt production process in Probolinggo Regency still uses traditional methods that are time-consuming and often result in low-quality salt. This research offers a solution by controlling the flow of seawater using a PID control system in the salt production tool. The system utilizes an ESP32 microcontroller to manage sensor data and control actuators, a water flow sensor to measure the water flow rate, a pH sensor to monitor acidity levels, and a servo to regulate water flow. With PID control, the system can stabilize the water flow rate according to user preferences, resulting in a stable flow. Testing showed that the 5A XL4015 step-down module and IRF540 mosfet driver performed well and stably within the desired operational range. The MG996 servo motor showed an average error of 5.50% in angle adjustment, and the YF-S201 water flow sensor had an average error of 5.31% in water flow measurement. The PH4502 pH sensor demonstrated good accuracy with an average error of 0.19. The quality of salt produced with this method increased significantly, with stable acidity levels and a higher sodium chloride (NaCl) content, reaching 97% compared to 90% with traditional methods. Additionally, this research showed a reduction in labor costs by up to 60%, with total production cost savings of IDR 63,000,000 per year. This tool is expected to reduce labor costs, increase efficiency, and produce higher quality salt in a shorter time, benefiting salt farmers.
Keywords: PID control system, ESP32 microcontroller, salt quality, production efficiency

Kata kunci:

Sistem Kontrol PID
Mikrokontroler ESP32
Kualitas Garam
Efisiensi Produksi

Abstrak

Proses pembuatan garam di Kabupaten Probolinggo masih menggunakan metode tradisional yang memakan waktu lama dan sering menghasilkan kualitas garam yang rendah. Penelitian ini menawarkan solusi dengan mengendalikan aliran air laut menggunakan sistem kontrol PID pada alat pembuatan garam. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 untuk mengelola data sensor dan mengontrol aktuator, water flow sensor untuk mengukur laju aliran air, sensor pH untuk memantau tingkat keasaman, serta servo untuk mengatur aliran air. Dengan kontrol PID, sistem dapat menstabilkan laju aliran air sesuai keinginan pengguna, menghasilkan aliran yang stabil. Pengujian menunjukkan bahwa modul *step down* 5A XL4015 dan *driver mosfet* IRF540 bekerja dengan baik dan stabil dalam rentang operasional yang diinginkan. *Motor servo* MG996 menunjukkan rata-rata kesalahan 5,50% dalam pengaturan sudut, dan *water flow sensor* YF-S201 memiliki rata-rata kesalahan 5,31% dalam pengukuran aliran air. Sensor pH PH4502 menunjukkan akurasi yang cukup baik dengan rata-rata kesalahan 0,19. Kualitas garam yang dihasilkan dengan metode ini meningkat secara signifikan, dengan tingkat keasaman yang stabil dan kadar natrium klorida (NaCl) yang lebih tinggi, mencapai 97% dibandingkan dengan 90% pada metode tradisional. Selain itu, penelitian ini menunjukkan pengurangan biaya tenaga kerja hingga 60%, dengan total penghematan biaya produksi sebesar Rp. 63,000,000 per tahun. Alat ini diharapkan dapat

mengurangi biaya tenaga kerja, meningkatkan efisiensi, serta menghasilkan garam berkualitas lebih tinggi dalam waktu lebih singkat, yang tentu saja menguntungkan petani garam.

1. PENDAHULUAN

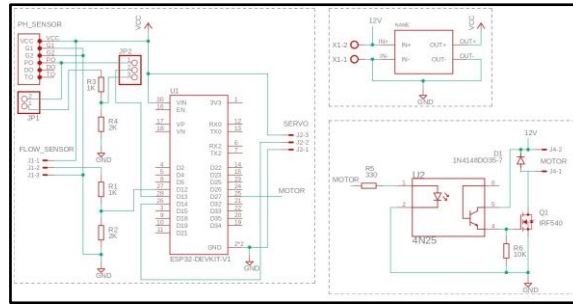
Garam memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan berbagai industri, termasuk pertanian dan pengolahan makanan, yang digunakan untuk memberikan rasa. Proses pembuatan garam telah berevolusi dari metode tradisional ke metode modern yang lebih efisien seiring dengan kemajuan teknologi dan tuntutan konsumen. [1-2] Metode tradisional dalam pembuatan garam membutuhkan banyak tenaga kerja dan waktu yang lama, dipengaruhi oleh sumber aliran air laut. Untuk mengatasi masalah ini, sebuah alat pembuat garam yang mengendalikan aliran air laut telah dikembangkan, bertujuan mengurangi ketergantungan pada faktor alam, tenaga kerja, serta biaya, sekaligus meningkatkan efisiensi. Alat ini mengimplementasikan sistem pengendali aliran air laut secara realtime menggunakan metode PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk memantau dan mengatur laju aliran air sesuai dengan setpoint yang diinginkan [3]. Selain itu juga banyak metode yang sama dalam hal ini, salah satunya metode pemurnian air laut menggunakan proses *Reverse Osmosis* dan kecepatan motor [4].

Penelitian ini, memiliki tujuan utama yaitu memahami pengaturan setpoint pada sistem pengendalian aliran air laut dengan mengevaluasi dampak dari penyesuaian parameter PID (K_p , K_i , dan K_d) terhadap waktu respon sistem, merancang aspek elektrik dan mekanik dari alat pembuatan garam, serta menerapkan metode PID dalam sistem tersebut. Manfaatnya meliputi peningkatan efisiensi produksi dengan pengendalian presisi laju aliran air laut untuk meningkatkan proses evaporasi, penyesuaian parameter operasional secara dinamis untuk menjaga efektivitas proses pembuatan garam dalam kondisi cuaca yang tidak stabil, pengurangan biaya tenaga kerja melalui pengurangan pengawasan manual, dan membuka jalan bagi penerapan teknologi kontrol PID dan sensor canggih di industri lain. Penelitian ini membatasi fokusnya pada sistem kendali dan perangkat keras seperti sensor yang digunakan dalam proses produksi garam, tanpa membahas perangkat lunak. Hal ini bertujuan untuk membangun prototipe sistem pembuatan garam yang lebih efisien dengan menggunakan teknologi modern. Variabilitas cuaca atau kondisi lingkungan yang mempengaruhi produksi garam tidak dibahas secara mendalam, dengan perbandingan utama antara sistem baru dan metode tradisional. Dengan demikian, penelitian ini menyoroti hasil pengujian perubahan konstanta PID dalam sistem pengendalian aliran air laut pada alat pembuatan garam, dimana penyesuaian nilai K_p , K_i , dan K_d memiliki dampak yang signifikan terhadap waktu respon sistem dan tingkat *overshoot*. Penyetelan parameter PID harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencapai kinerja optimal sesuai dengan karakteristik sistem yang spesifik.

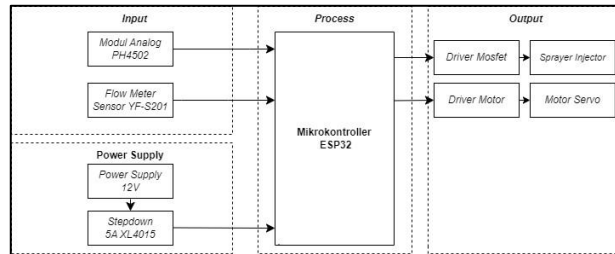
2. METODE PENELITIAN

2.1. Spesifikasi Alat dan Bahan

Gambar 1 menunjukkan spesifikasi alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa komponen kunci. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kontrol sistem yang mengelola data sensor dan mengontrol aktuator. Sensor pH *modul analog PH4502* digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan, sedangkan *water flow sensor YF-S201* mengukur laju aliran air. Motor Servo berfungsi sebagai aktuator untuk mengontrol pembukaan dan penutupan jalur aliran air, sementara *spray injector* Otomatis menambahkan natrium secara otomatis berdasarkan data pH yang diterima. Selain itu, *Power Supply* 12V menyediakan tegangan untuk seluruh komponen elektrik, dan *module stepdown XL4015* menurunkan tegangan dari 12V ke 5V untuk digunakan oleh mikrokontroler dan sensor.

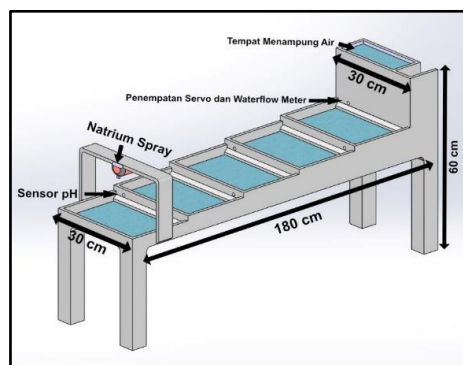


Gambar 1. Rangkaian elektrik

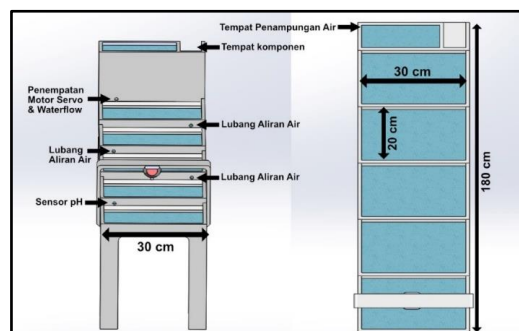


Gambar 2. Diagram blok elektrik

Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa perancangan mekanik alat pembuat garam memperhitungkan dimensi fisik, bahan konstruksi, dan penempatan komponen utama untuk memastikan kinerja optimal dan ketahanan terhadap lingkungan produksi. Dengan dimensi 180 cm x 30 cm x 60 cm dan menggunakan bahan galvalum yang tahan korosi, alat ini dapat menampung semua komponen dengan baik. Desain 3D alat memperlihatkan penempatan yang strategis dari Waterflow Sensor, sensor pH, dan *spray injector* Otomatis untuk memastikan distribusi air yang merata dan pemantauan kualitas garam yang akurat. Penggunaan Mikrokontroler ESP32 sebagai otak sistem dan motor servo sebagai aktuator menjaga presisi dan akurasi selama operasi, sehingga diharapkan alat ini dapat memberikan hasil produksi garam yang optimal sesuai dengan standar yang ditetapkan.



Gambar 3. Tampak samping desain 3D alat



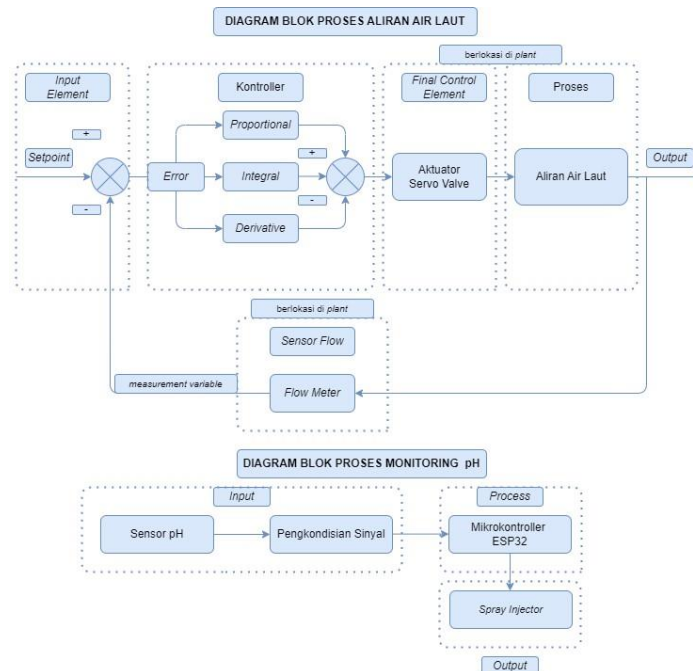
Gambar 4. Tampak depan desain 3D alat

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang selama periode enam bulan dari Januari hingga Mei 2024. Pemilihan lokasi ini berdasarkan ketersediaan fasilitas dan peralatan yang memadai untuk mendukung proses penelitian, termasuk alat-alat yang diperlukan untuk perancangan dan pengujian sistem kontrol pada alat pembuat garam.

2.3. Sistem Kontrol

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji alat pembuat garam yang dilengkapi dengan sistem kontrol PID untuk mengatur laju aliran air dan menjaga kualitas garam melalui pemantauan pH. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan fokus pada pengukuran dan analisis data yang diperoleh dari berbagai sensor dan aktuator yang digunakan dalam sistem.



Gambar 5. Diagram blok kontrol

Gambar 5 menunjukkan blok diagram kontrol alat pembuat garam yang bekerja melalui dua tahap: pengaturan aliran air laut dan monitoring pH. Kontrol PID digunakan untuk mengatur servo aliran air dengan *water flow sensor* yang mengukur laju aliran. PID menghitung error dari selisih antara *setpoint* dan laju aliran, dengan tuning parameter K_p , K_i , dan K_d untuk kinerja optimal. Sistem ini diharapkan merespon cepat, tepat, dan mengurangi osilasi. Untuk memastikan kualitas garam, sensor pH terintegrasi dengan ESP32 memantau tingkat keasaman air. Jika pH di luar standar (~ 7), ESP32 mengaktifkan injektor natrium untuk menyesuaikan pH. Integrasi ini memastikan efisiensi aliran air dan kualitas garam yang dihasilkan [8].

2.4. Tahap Penelitian

Rancangan penelitian ini melibatkan beberapa tahapan utama diantaranya: penentuan perumusan masalah untuk mengidentifikasi pengembangan alat pembuat garam dengan kontrol otomatis, studi literatur mengenai sensor pH, sensor aliran air, motor servo, ESP32, dan komponen terkait dari berbagai sumber ilmiah, serta perancangan sistem yang mencakup aspek mekanik dan elektronik alat. Tahap berikutnya adalah perancangan software dengan pengembangan program kontrol PID pada mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan aliran air dan menjaga kualitas garam. Setelah itu, dilakukan perakitan dan pengujian alat untuk memastikan fungsinya sesuai spesifikasi, diikuti dengan analisis dan perbaikan berdasarkan hasil pengujian hingga alat berfungsi optimal. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode berikut:

1. Pengukuran Sensor: Menggunakan sensor pH dan sensor aliran air untuk mengumpulkan data terkait tingkat keasaman dan laju aliran air.

2. Pengujian Aktuator: Menguji motor servo dan spray injector otomatis untuk memastikan respon terhadap kontrol PID.
3. Pengamatan Langsung: Melakukan observasi langsung terhadap kinerja alat selama proses pengujian.
4. Perekaman Data Elektronik: Menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk merekam data dari sensor dan aktuator secara otomatis.

2.5. Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian akan dianalisis menggunakan metode kuantitatif dengan beberapa langkah utama. Pertama, dilakukan analisis respon sistem terhadap perubahan *setpoint* laju air dan pH, mencakup pengukuran *overshoot*, *settling time*, dan stabilitas sistem. Selanjutnya, parameter PID (*proporsional*, *integral*, dan *derivatif*) disesuaikan berdasarkan hasil analisis untuk mengoptimalkan kinerja kontrol. Setelah itu, hasil pengukuran sensor dan aktuator dibandingkan dengan nilai *setpoint* yang ditetapkan untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem. Terakhir, dilakukan evaluasi efisiensi sistem secara keseluruhan dalam mencapai *setpoint* dan mempertahankan kualitas garam yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Modul Step down 5A XL4015

Pengujian *modul step down 5A XL4015* bertujuan untuk mengetahui perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh pin out step-down 5A XL4015. *Modul step down XL4050* juga digunakan untuk menurunkan tegangan 12 VDC menjadi 5 VDC.

Tabel 1. Hasil pengujian *modul step down 5A XL4015*

No	V _{in} (Volt)	I _{in} (Amp)	V _{out} (Volt)	I _{out} (Amp)	P _{out} (Watt)
1	15	0,36	7	0,66	4,62
2	14	0,38	7	0,66	4,62
3	13	0,40	7	0,66	4,62
4	12	0,43	7	0,66	4,62
5	11	0,25	5	0,48	2,4
6	10	0,27	5	0,48	2,4
7	9	0,30	5	0,48	2,4
8	8	0,33	5	0,48	2,4
9	7	0,14	3	0,28	0,84
10	6	0,15	3	0,28	0,84
11	5	0,19	3	0,28	0,84

Dalam Tabel 1, menunjukkan konsistensi dalam karakteristik modul. Ketika tegangan masukan diturunkan dari 15V menjadi 5V, tegangan keluaran turun dari 7V menjadi 3V, dengan arus keluaran yang relatif stabil sekitar 0,48A. Hal ini sesuai dengan spesifikasi modul yang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang diatur dengan rentang 1.25 – 36 VDC dan arus hingga 5A.

3.2. Pengujian Driver Mosfet IRF540

Pengujian *driver mosfet IRF540* dilakukan dengan tujuan untuk mengukur keluaran tegangan yang dihasilkan oleh *driver* tersebut pada berbagai tingkat *Pulse Width Modulation* (PWM).

Tabel 2. Hasil pengujian *driver mosfet IRF540*

No	Pulse Width Modulation, PWM (%)	Output Tegangan Motor DC (V)	No	Pulse Width Modulation, PWM (%)	Output Tegangan Motor DC (V)
1	0	0	15	140	11,62
2	10	4,80	16	150	12,06
3	20	5,38	17	160	12,20
4	30	5,90	18	170	12,24
5	40	6,42	19	180	12,25

6	50	6,94	20	190	12,25
7	60	7,45	21	200	12,25
8	70	7,96	22	210	12,25
9	80	8,47	23	220	12,25
10	90	8,99	24	230	12,25
11	100	9,51	25	240	12,25
12	110	10,03	26	250	12,25
13	120	10,56	27	255	12,25
14	130	11,08			

Dari hasil pengujian tersebut, dapat dianalisa bahwa *driver mosfet IRF540* mampu menghasilkan tegangan *output* yang stabil pada berbagai tingkat PWM, dan tegangan *output* tersebut secara proporsional meningkat seiring dengan peningkatan nilai PWM. Data ini menunjukkan bahwa *driver mosfet* berfungsi dengan baik dalam mengendalikan tegangan *output* pada motor DC berdasarkan sinyal PWM yang diberikan.

3.3. Pengujian Motor Servo MG996

Pengujian motor servo MG996 bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana konsistensi antara sudut yang diprogram melalui perangkat lunak arduino dengan sudut yang secara efektif diterapkan oleh motor servo tersebut [5].

Tabel 3 Hasil pengujian *motor servo MG996*

No	Sudut Program n_p	Sudut yang dihasilkan n_a	Error yang dihasilkan
1	0°	0°	0%
2	20°	18°	11,11%
3	40°	38°	5,26%
4	60°	57°	5,26%
5	80°	76°	5,26%
6	100°	95°	5,26%
7	120°	113°	6,19%
8	140°	133°	5,26%
9	180°	170°	5,88%
Rata-rata Error			5,50%

Dari data yang disajikan dalam Tabel 3, dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan antara sudut yang diprogram dan sudut yang sebenarnya dihasilkan oleh motor servo. Perbedaan ini tercermin dalam persentase kesalahan yang bervariasi dari pengujian ke pengujian. Misalnya, pada pengujian pertama, persentase kesalahan adalah 0%, yang menunjukkan bahwa motor servo mencapai sudut yang diprogram dengan presisi sempurna. Namun, pada pengujian lain, seperti pada pengujian ketujuh, terdapat sedikit peningkatan persentase kesalahan menjadi 6,19%, menunjukkan bahwa ada sedikit deviasi dari sudut yang diharapkan. Rata-rata kesalahan dari semua pengujian adalah sekitar 5,50%.

3.4. Pengujian Water Flow Sensor YF-S201

Pengujian *water flow sensor YF-S201* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor yang digunakan untuk mengukur aliran air, dengan membandingkan nilai yang diinginkan n_p dengan nilai yang dihasilkan n_a oleh sensor tersebut.

Tabel 4. Hasil pengujian *water flow sensor*

No	Pengukuran Water Flow Sensor YF-S201, n_p (ml)	Pengukuran Gelas Ukur, n_p (ml)	Error yang dihasilkan (%)
1	580	540	7,41%
2	490	480	2,08%
3	320	340	5,88%
4	260	240	8,33%
5	170	175	2,86%
Rata-rata Error			5,31%

Pada Tabel 4 di pengukuran yang pertama, nilai yang diharapkan n_p adalah 490 ml, namun nilai yang dihasilkan oleh sensor n_a adalah 480 ml. Hal ini menghasilkan persentase *error* sebesar 2.08%. Pengukuran keempat memiliki nilai yang diharapkan sebesar 260 ml, sedangkan nilai yang dihasilkan oleh sensor adalah 240 ml, dengan persentase *error* 8,33%. Pada pengukuran terakhir, nilai yang diinginkan adalah 170 ml, tetapi sensor menghasilkan nilai sebesar 175 ml, merupakan persentase *error* yaitu 2,86%. Rata-rata persentase *error* dari semua pengukuran adalah sekitar 5,31%, hal ini menunjukkan bahwa sensor memberikan hasil yang akurat dan konsisten dalam mengukur aliran.

3.5. Pengujian Modul Analog PH4502

Pengujian *modul analog PH4502* bertujuan untuk memverifikasi keakuratan sensor yang digunakan dalam mengukur pH, serta menentukan kesesuaian sensor tersebut untuk aplikasi yang dituju.

Tabel 5. Hasil pengujian *modul analog PH4502*

No	Nilai Bubuk pH	Nilai Sensor pH, n_a	pH Meter Digital, n_p	% Error
1	6,86 pH	6,80	6,85	0,05
2	4.01 pH	4,00	3,99	0,01
3	9,18 pH	8,75	8,90	0,15
Rata-rata Error				0,19

Analisa Tabel 5 hasil pengujian *modul analog PH4502* dengan menggunakan tiga percobaan berbeda yang melibatkan larutan dengan nilai pH yang diketahui (tercantum dalam kolom "Nilai Bubuk pH"). Dalam setiap percobaan, "Nilai Sensor pH" menunjukkan pembacaan yang dihasilkan oleh sensor pH, sedangkan "pH Meter Digital" mencatat pembacaan dari alat ukur pH digital yang digunakan sebagai standar referensi. Kolom "Error" menggambarkan selisih antara pembacaan sensor pH dan pH meter digital, dengan nilai positif menunjukkan bahwa sensor membaca lebih tinggi dibandingkan dengan pH meter dan nilai negatif sebaliknya. Dari tiga percobaan yang dilakukan, sensor cenderung menunjukkan pembacaan yang lebih rendah daripada pH meter pada larutan pH 9.18 dan lebih tinggi pada larutan pH 6.86 dan 4.01, dengan total *error* akumulasi sebesar 0.19. Ini mengindikasikan adanya variasi kecil dalam akurasi sensor, yang penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan praktisnya.

3.6. Perhitungan Pengurangan Biaya Tenaga Kerja

Berikut adalah tabel yang merinci perhitungan pengurangan biaya tenaga kerja dan total penghematan biaya produksi.

Tabel 6. Penghematan total biaya produksi dengan alat otomatisasi

Keterangan	Nilai
Biaya tenaga kerja sebelum alat baru	Rp. 105,000,000
Presentase pengurangan biaya tenaga kerja	60%
Biaya tenaga kerja setelah pengguna alat baru	Rp. 42,000,000
Penghematan biaya tenaga kerja	Rp. 63,000,000
Total penghematan biaya produksi per tahun	Rp. 63,000,000

Tabel 6 menunjukkan perhitungan pengurangan biaya tenaga kerja dan total penghematan biaya produksi dengan penggunaan alat otomatisasi dalam pembuatan garam. Sebelum menggunakan alat baru, biaya tenaga kerja per tahun adalah Rp. 105,000,000. Dengan penerapan alat otomatisasi, terjadi pengurangan biaya tenaga kerja sebesar 60%, sehingga biaya tenaga kerja turun menjadi Rp. 42,000,000 per tahun. Akibatnya, terdapat penghematan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 63,000,000 per tahun, yang juga mencerminkan total penghematan biaya produksi tahunan. Penggunaan alat otomatisasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi petani garam.

3.7. Pengujian Perubahan Konstanta PID

Dari data pengujian kontrol PID terhadap pengaruh nilai Kp, Ki, dan Kd pada sistem pengendalian aliran air laut pada alat pembuatan garam, dapat diamati pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Hasil pengujian perubahan konstanta PID

<i>Parameter PID</i>	<i>Rising Time (s)</i>	<i>Error Sistem (%)</i>	<i>Error Overshoot (%)</i>	<i>Overshoot (%)</i>
Kp				
0.5	17	0.19	0.17	8.5
1	14	0.15	0.29	14.5
1.5	13	0.1	0.77	38.5
Ki				
0.5	31	0.46	0.05	2.5
1	14	0.15	0.29	14.5
1.5	12	0.13	0.65	32.5
Kd				
0.5	14	0.18	0.29	14.5
1	14	0.15	0.29	14.5
1.5	14	0.22	0.53	26.5

Terdapat perubahan signifikan dalam respon sistem. Pada perubahan nilai parameter Kp, terlihat bahwa semakin besar nilai Kp, semakin cepat *rise time* sistem untuk mencapai *setpoint*, tetapi juga semakin tinggi tingkat *overshoot*. Hal ini sesuai dengan teori yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada perubahan nilai parameter Ki, ditemukan bahwa semakin besar nilai konstanta *integral*, *rise time* semakin cepat dan tingkat *overshoot* juga meningkat. Namun, ketika nilai Ki kurang dari 1, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* menjadi lebih lama, sekitar 31 detik. Oleh karena itu, disarankan untuk memberikan nilai parameter Ki sekitar 1 untuk sistem ini. Pada perubahan nilai parameter Kd, tidak terlalu terlihat pengaruh yang signifikan terhadap perubahan *rise time* atau tingkat *overshoot*, namun jika nilai Kd lebih besar dari 1, tingkat *overshoot* akan meningkat. Ini menunjukkan bahwa penyesuaian nilai-nilai ini harus dilakukan dengan hati-hati sesuai dengan karakteristik sistem agar mencapai kinerja optimal [6-7].

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian parameter PID terhadap sistem pengendalian aliran air laut pada alat pembuatan garam, dapat disimpulkan bahwa penyesuaian nilai Kp, Ki, dan Kd memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja sistem. Nilai Kp yang lebih besar mempercepat waktu respon sistem untuk mencapai *setpoint*, namun juga meningkatkan tingkat *overshoot*. Begitu juga dengan nilai Ki yang lebih besar, yang mempercepat waktu respon tetapi juga meningkatkan tingkat *overshoot*. Sebaliknya, nilai Ki yang kurang dari 1 menyebabkan waktu yang diperlukan untuk mencapai *setpoint* menjadi lebih lama. Perubahan nilai Kd tidak terlalu memengaruhi waktu respon atau tingkat *overshoot* secara signifikan, namun nilai yang terlalu besar dapat meningkatkan tingkat *overshoot*.

Selain peningkatan efisiensi dan kualitas produksi garam, penggunaan alat ini juga memberikan manfaat signifikan dalam pengurangan biaya operasional. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan sistem otomatisasi berbasis kontrol PID, biaya tenaga kerja dapat dikurangi hingga 60%, dan total penghematan biaya dalam satu tahun bisa mencapai Rp. 63,000,000. Ini membuktikan bahwa alat pembuatan garam yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi yang substansial bagi petani garam.

4.2. Saran

Untuk peningkatan lebih lanjut, diperlukan optimasi lebih lanjut pada parameter PID, termasuk penyesuaian nilai K_p , K_i , dan K_d agar sesuai dengan karakteristik sistem dan kondisi lingkungan yang berbeda. Pengembangan sensor yang lebih akurat dan andal juga perlu dipertimbangkan untuk memantau parameter kritis dalam proses pembuatan garam. Selain itu, pengembangan perangkat lunak yang lebih kompleks dapat memungkinkan integrasi lebih banyak fitur pengendalian dan pemantauan dalam sistem, sehingga memungkinkan kontrol yang lebih fleksibel dan adaptif. Studi lanjutan juga diperlukan untuk memahami dampak jangka panjang dari penggunaan sistem ini terhadap produktivitas, efisiensi, dan kualitas produk garam.

4.3. Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Beauty Anggraheny Ikawanti atas kontribusinya dalam penelitian ini. Masukan dan bantuan finansial dari Ibu Beauty telah berperan penting dalam pengembangan dan penyempurnaan sistem pengendalian aliran air laut pada alat pembuatan garam. Dengan kolaborasi yang baik, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi garam, serta membuka jalan bagi pengembangan teknologi kontrol otomatis dalam industri pertanian dan manufaktur.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hartati, E. Supriyo, and M. Zainuri, "Yodisasi garam rakyat dengan sistem screw injection," *Gema Teknologi*, vol. 17, no. 4, pp. 160–163, 2015.
- [2] A. Hidayat, "Sistem Kontrol Pompa Air pada Sumur Berbasis Sensor Ultrasonik dan Sensor Aliran Air," Semarang, Universitas Negeri Semarang, 2020.
- [3] A. Rohman, M. A. P. Negara, and B. Supeno, "Sistem Pengaturan Laju Aliran Air pada *Plant Water Treatment* Skala Rumah Tangga Dengan Kontrol Fuzzy – PID," dalam *Jurnal BERKALA SAINSTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 29–34, 2017.
- [4] H. Singgih, S. Subiyantoro, and S. Siswoko, "Aplikasi Kontrol PID pada Proses Pengolahan Air Laut Menggunakan Metode *Reverse Osmosis* Berbasis DCS," *Jurnal ELTEK*, vol. 17, no. 2, pp. 32–51, 2019.
- [5] M. I. Ma'arif, F. I. Adhim, F. Istiqomah, "Implementasi Metode PID untuk Mengontrol Posisi Motor Servo pada Sistem Sortir Berat Adonan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 2337–3559, 2021.
- [6] S. Rahmani, S. A. Rosana, G. H. Tian, "Pengaplikasian Kontroler PID pada Sistem Kontrol Lever Ketinggian Air Menggunakan MATLAB," *TELEKONTRAN*, vol. 10, no. 2, pp. 174–181, 2022.
- [7] S. W. Tika, S. Baqaruzi, A. Muhtar, "Perancangan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Debit Air Menggunakan Kontrol PID," *Jurnal ELECTRON*, vol. 2, no. 1, pp. 41–47, 2021.
- [8] T. H. Soerawidjaja, *Proses Industri Kimia Produk - Produk Anorganik dari Air Laut dan Air Asin Daratan*. Bandung, Institut Teknologi Bandung, 2002.