

SISTEM ELEKTROKOAGULASI MENGGUNAKAN KONVERTER BUCK SINKRON DENGAN KONTROL PI PADA PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK

Oleh:

Aruwanto Hidayat

Syamsudduha Syahririni

Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

September, 2024



Pendahuluan

Sebagian besar masyarakat, baik di perumahan maupun pedesaan, masih membuang limbah cair domestik (seperti dari mencuci, memasak, dan mandi) langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, sehingga mencemari air dan mengancam ekosistem serta kesehatan manusia. Untuk mengatasi ini, limbah domestik harus memenuhi standar baku mutu seperti pH 6–9, kekeruhan <5 NTU, dan TDS <1000 mg/L, sesuai peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kesehatan. Elektrokoagulasi (EC) menjadi solusi efektif dengan menggunakan arus listrik untuk mengendapkan polutan, tetapi pengaturan tegangan dan arus manual (0–12 volt, 1–30 Amper) dalam penelitian sebelumnya kurang efisien, terutama untuk limbah pekat. Oleh karena itu, dikembangkan sistem dengan konverter buck sinkron ber-kontrol PI untuk efisiensi daya yang lebih tinggi, serta fuzzy logic Mamdani untuk mengevaluasi parameter pH, TDS, kekeruhan, dan suhu secara otomatis, menghasilkan tegangan 12–40 volt yang disesuaikan dengan kondisi limbah. Metode Jarrest digunakan untuk menguji efektivitas sistem dalam menurunkan pencemar dan efisiensi energinya, sehingga diharapkan dapat menghasilkan limbah yang memenuhi standar dengan konsumsi daya optimal dan minim bahan kimia.

Pertanyaan Penelitian (Rumusan Masalah)

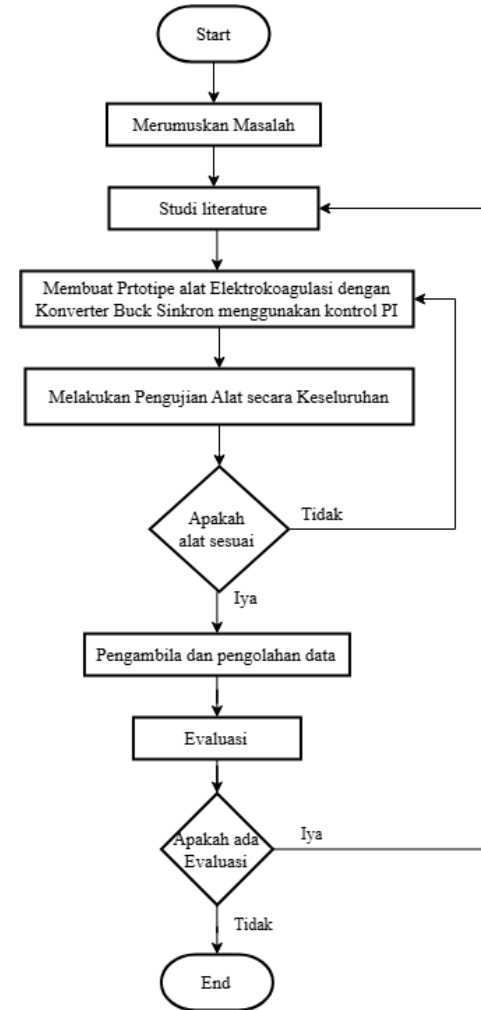
1. Bagaimana merancang sistem elektrokoagulasi menggunakan Konverter Buck Sinkron dengan kontrol PI pada pengolahan Limbah Domestik.
2. Bagaimana Tingkat efisiensi energi yang dicapai menggunakan Konverter Buck Sinkron dengan kontrol PI dalam sistem elektrokoagulasi pada pengolahan limbah Limbah Domestik.
3. Bagaimana Efektivitas elektrokoagulasi menggunakan Konverter Buck Sinkron dengan kontrol PI dalam menurunkan kadar TSS, TDS, PH dan Kekeruhan pada Limbah Domestik.

Metode

menggunakan metode R&D (Research and Development). Metode R&D melibatkan proses eksperimen untuk menguji komponen dan kinerja sistem secara keseluruhan. Melalui serangkaian pengujian, Perbaikan, dan finalisasi, sehingga dihasilkan sistem yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian

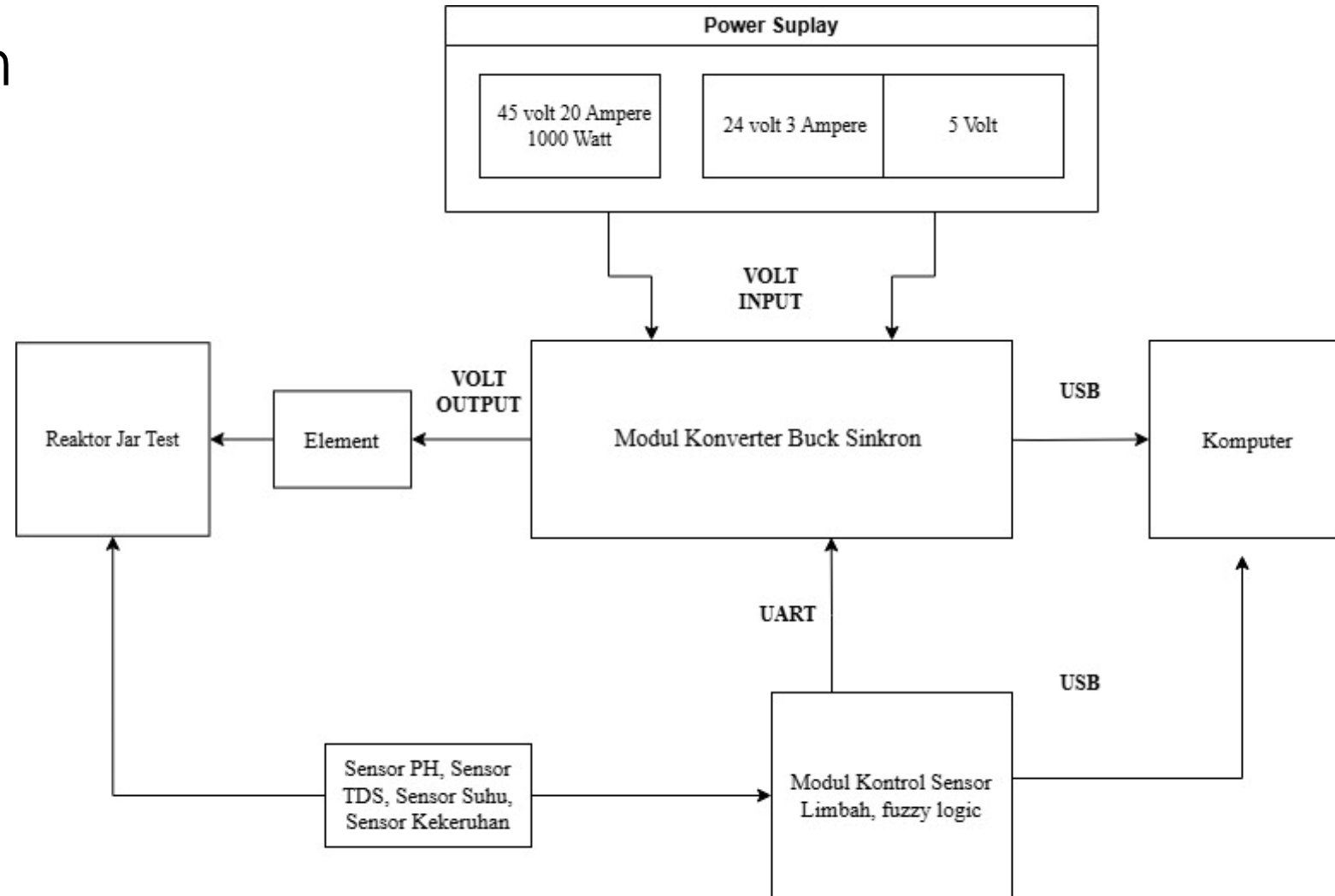
Metode

Alur penelitian



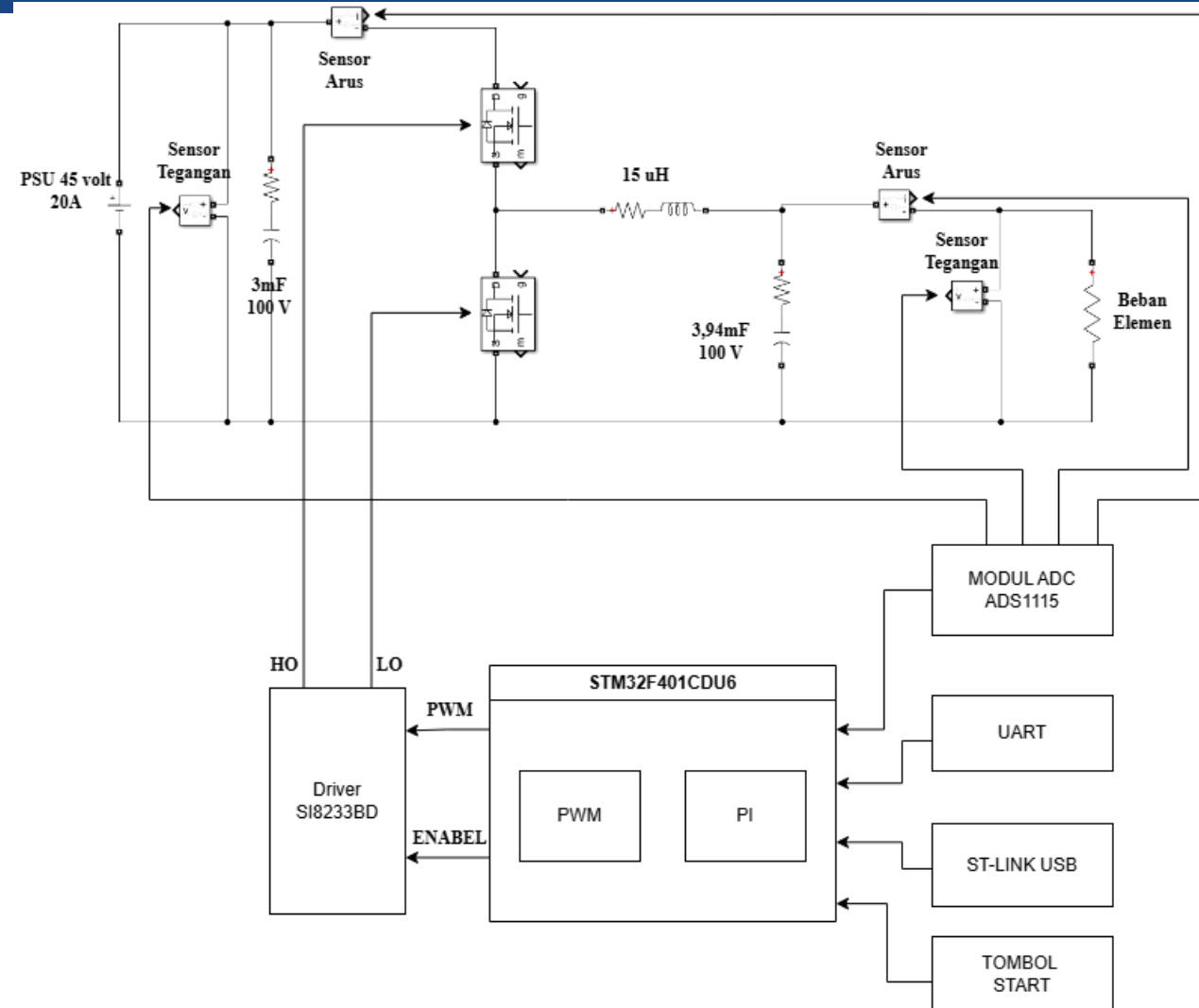
Hasil

Design system



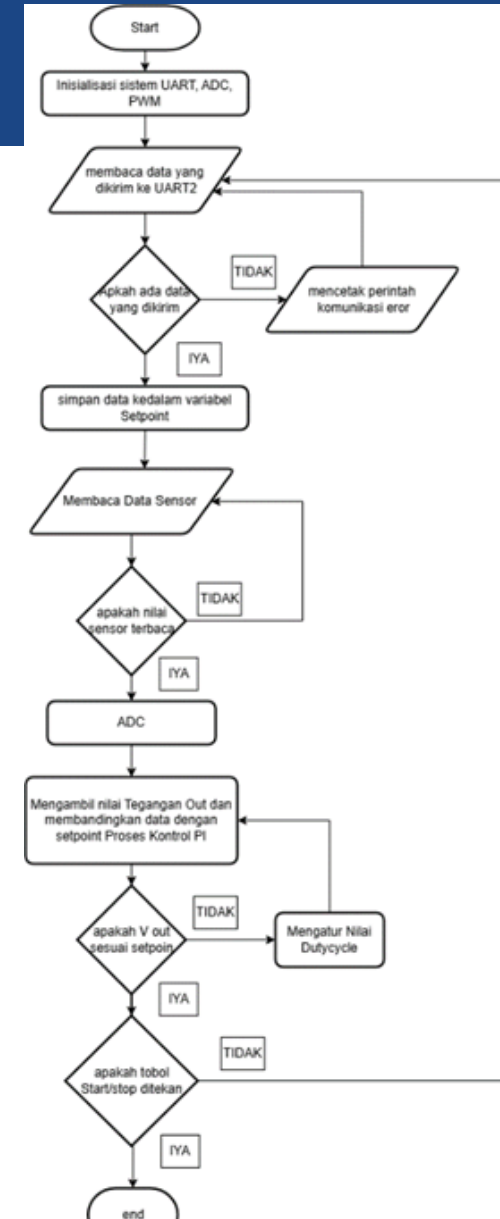
Hasil

Blok diagram Konverter Buck Sinkron



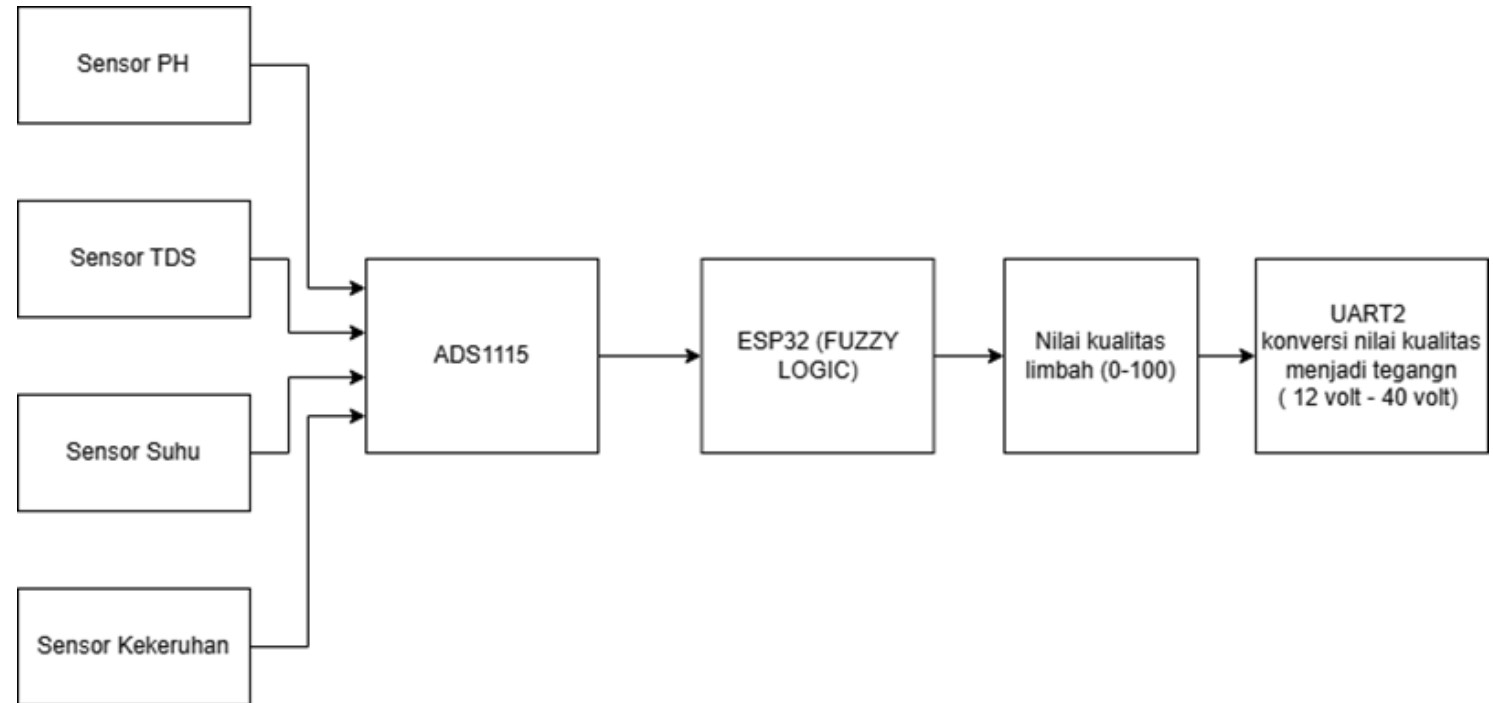
Hasil

flowchart
diagram
Konverter
Buck Sinkron



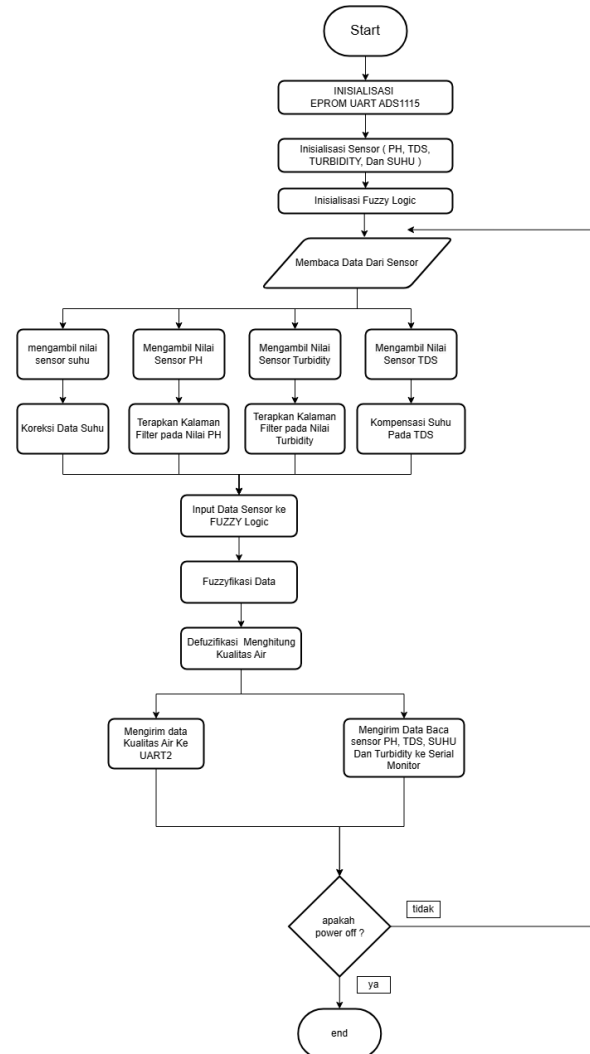
Hasil

System Modul Kontrol Sensor Limbah



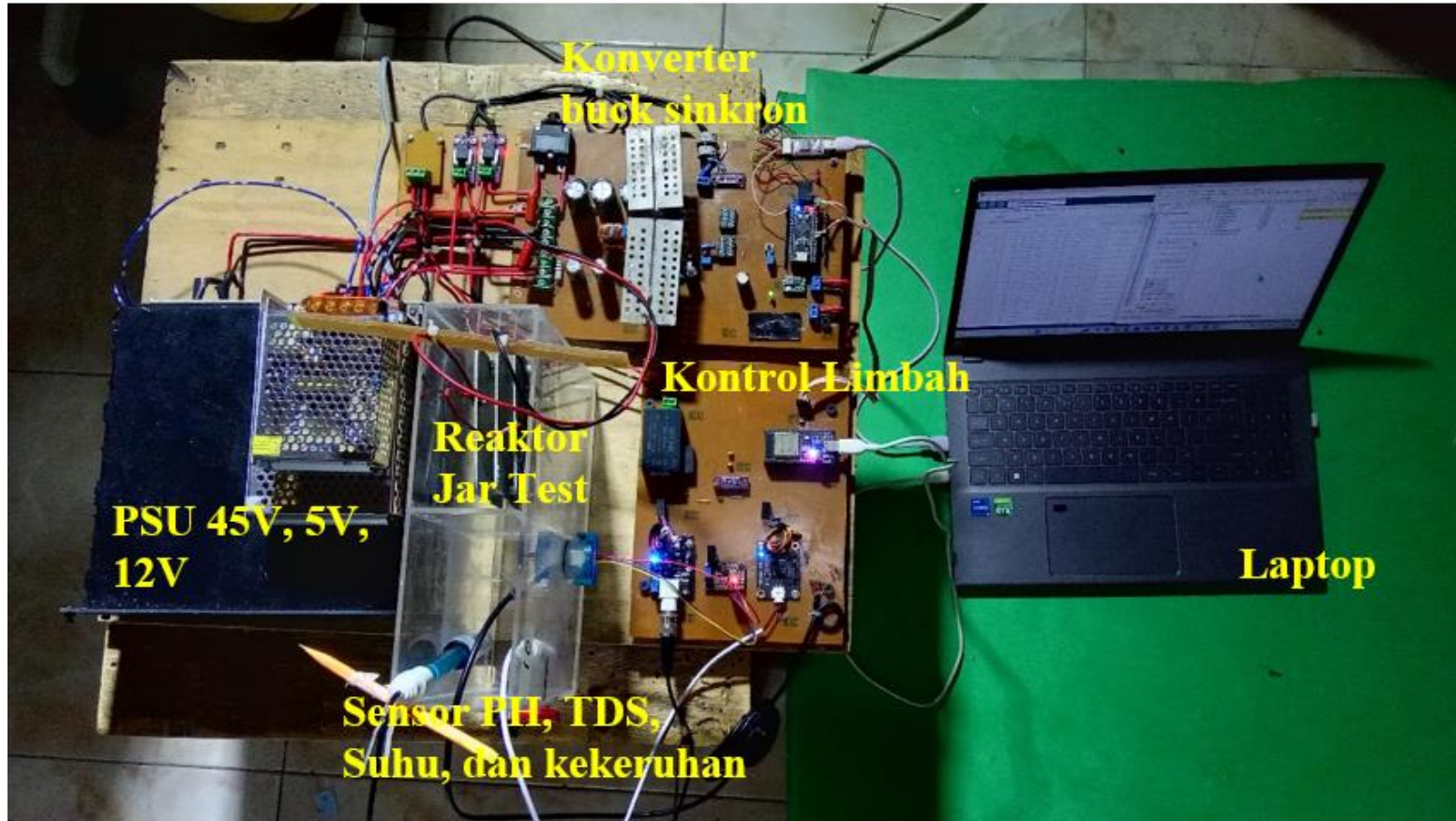
Hasil

Flowchart System Modul Kontrol Sensor Limbah



Hasil

Realisasi Alat



Pembahasan

- Pengujian sensor ph dilakukan dengan cara membandingkan pengukuran larutan kalibrasi PH dengan alat ukur PH EZ 9909 dan sensor PH. Dari perbandingan didalam Tabel 4. tersebut didapat rata rata error pembacaan untuk alat ukur 0.25 % dan untuk sensor 2.3 %

Tabel 4. Tabel pengujian sensor PH

Nilai air kalibrasi PH	Hasil Baca Alat Ukur	Error	%Error	Hasil baca sensor PH	Error	%Error
4	4.01	0.0025	0.25%	4.09	0.0225	2,25%
6.86	6.84	0.0029	0.29%	6.85	0.001	0.14%
9.18	9,20	0.0021	0.21%	9,15	0.0032	0.32%
Rata Rata Error		0.0075	0.25%		0.023	2.3%

pembahasan

- Pengujian sensor TDS dan Suhu dilakukan dengan mengkalibrasi dan membandingkan pembacaan dengan alat ukur. Dimana dari hasil pengujian sensor tds hanya memiliki kemampuan membaca dengan baik hingga 700 ppm memiliki eror pembacaan rata rata 0.35% dan untuk rata rata eror sensor suhu yaitu 1,53% , hasil analisa pengujian sensor TDS dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Sensor TDS dan Suhu

No	Larutan Kalibrasi	Alat Tds Meter	Sensor tds meter	Error%	Alat Pengukur Suhu	Sensor Suhu	Error%
1	60 ppm	61	61	0.0%	29,8	30.2	1,3%
2	500 ppm	502	506	0.79%	29,6	30.2	2%
3	718 ppm	721	719	0,27%	29.8	30.2	1,3%
Rata rata eror				0.35%			1,53%

- Pengujian sensor kekeruhan menggunakan larutan formazin 0 FTU dan 100 FTU kemudian didapatkan tegangan output sensor dan dihitung menggunakan regresi linear 2 titik , pada sensor kekeruhan memiliki batasan pengukuran 0 NTU – 100 NTU, hasil analisa pengambilan data tegangan hasil baca sensor turbidity terhadap larutan formazin dapat dilihat pad tabel 6.

Tabel 6. Tabel pengambilan data tegangan sensor turbidity

No	Larutan Formazin	Tegangan Sensor
1	0 FTU	3.796V
2	100 FTU	3.438 V

.

Pembahasan

Pengujian converter buck sinkron dilakukan dengan beban resistor 33 ohm, 22 ohm 10 ohm dan tegangan bervariasi 12 volt, 24 volt dan 35 volt

Tabel 3. Tabel pengujian Konverter buck sinkron

Set point	Tegangan (V)		Arus (I)		Beban resistor	Power (Watt)		Power Efficiency (η)
	Input	Output	Input	Output		Input	Output	
12	44.92	12.05	0.207	0.371	33ohm	9.3	4.47	48.06 %
24	43.92	24.06	0.582	0.78	33ohm	25.56	18.77	73.43 %
35	44.40	34.98	1.059	1.172	33 ohm	47.01	40.99	87.19 %
12	44.93	12.06	0.254	0.571	22 ohm	11.41	6.89	60.38 %
24	44.31	24.05	0.77	1.174	22 ohm	34.12	28.23	82.74 %
35	44.87	35.03	1.543	1.747	22 ohm	69.23	61.2	88.40 %
12	44.93	12.04	0.431	1.241	10 ohm	19.36	14.94	77.16 %
24	44.85	24.04	1.546	2.668	10 ohm	69.34	64.14	92.50 %
35	44.77	35.02	3.226	3.877	10 ohm	144.42	135.77	94.01 %

Dari hasil pengujian ini didapatkan hasil semakin tinggi beban maka semakin tinggi efisiensi yaitu 94.01% dengan resistor beban 10ohm dan tegangan 35 volt sehingga synchronous buck converter dapat diaplikasikan dalam proses elektrokoagulasi

Pembahasan

Pengujian converter buck sinkron dilakukan dengan beban resistor 33 ohm, 22 ohm 10 ohm dan tegangan bervariasi 12 volt, 24 volt dan 35 volt

Tabel 3. Tabel pengujian Konverter buck sinkron

Set point	Tegangan (V)		Arus (I)		Beban resistor	Power (Watt)		Power Efficiency (η)
	Input	Output	Input	Output		Input	Output	
12	44.92	12.05	0.207	0.371	33ohm	9.3	4.47	48.06 %
24	43.92	24.06	0.582	0.78	33ohm	25.56	18.77	73.43 %
35	44.40	34.98	1.059	1.172	33 ohm	47.01	40.99	87.19 %
12	44.93	12.06	0.254	0.571	22 ohm	11.41	6.89	60.38 %
24	44.31	24.05	0.77	1.174	22 ohm	34.12	28.23	82.74 %
35	44.87	35.03	1.543	1.747	22 ohm	69.23	61.2	88.40 %
12	44.93	12.04	0.431	1.241	10 ohm	19.36	14.94	77.16 %
24	44.85	24.04	1.546	2.668	10 ohm	69.34	64.14	92.50 %
35	44.77	35.02	3.226	3.877	10 ohm	144.42	135.77	94.01 %

Dari hasil pengujian ini didapatkan hasil semakin tinggi beban maka semakin tinggi efisiensi yaitu 94.01% dengan resistor beban 10ohm dan tegangan 35 volt sehingga synchronous buck converter dapat diaplikasikan dalam proses elektrokoagulasi

Pembahasan

Tabel 7. Tabel Pengujian modul kontrol limbah sebelum dilakukan proses uji jar test dengan elektrokoagulasi menggunakan konverter buck sinkron dengan kontrol PI

NO	Pembacaan Sensor				Pembacaan Alat ukur			Kelayakan Limbah	Tegangan output (Setpoint)
	PH	TDS	Suhu	Kekeruhan	PH	TDS	Suhu		
1	7,29	679	29,1	100 NTU	6,95	815	30,1	85	16V
2	7,44	712	30,8	100 NTU	7,16	793	29,5	85	16V
3	7,56	717	30,8	100 NTU	7,12	782	30,4	85	16V
4	7,65	718	30,6	100 NTU	7,21	782	29,3	85	16V
5	7,61	713	30,6	100 NTU	7,16	783	29,3	85	16V
6	7,04	700	30,7	100 NTU	7,08	794	29,7	85	16V
7	7,27	700	30,4	100 NTU	7,20	782	29,6	85	16V
8	7,44	708	30,3	100 NTU	7,25	813	28,7	85	16V
9	7,38	703	29,8	100 NTU	7,40	806	28,9	85	16V
10	7,58	702	29,7	100 NTU	7,55	803	28,4	85	16V

Pengujian modul control limbah Dimana kita dapat mengetahui parameter limbah sebelum diuji dan pada pengujian ini dilakukan pada 10 sampel limbah dengancara dilakukan pengukuran PH, TDS, Suhu dan kekeruhan , darihasil baca sensor ini selama tidak melebihi ambang batas yang sudah di seting didalam fuzzy logic maka akan dikategorikan layak buang dengan nilai 85 dari nilai 85 akan dikonversi ke nilai tegangan yaitu didapat angka 16 volt , nilai kualitas limbah berkisar 0 sampai 100 Dimana semakin tinggi semakin baik , maka dikonversi ketegangan semakin kecil karena limbah tidak memerlukan daya ekstra untuk memproses limbah

Pembahasan

Tabel 7. Tabel Pengujian modul kontrol limbah sebelum dilakukan proses uji jar test dengan elektrokoagulasi menggunakan konverter buck sinkron dengan kontrol PI

NO	Pembacaan Sensor				Pembacaan Alat ukur			Kelayakan Limbah	Tegangan output (Setpoint)
	PH	TDS	Suhu	Kekeruhan	PH	TDS	Suhu		
1	7,29	679	29,1	100 NTU	6,95	815	30,1	85	16V
2	7,44	712	30,8	100 NTU	7,16	793	29,5	85	16V
3	7,56	717	30,8	100 NTU	7,12	782	30,4	85	16V
4	7,65	718	30,6	100 NTU	7,21	782	29,3	85	16V
5	7,61	713	30,6	100 NTU	7,16	783	29,3	85	16V
6	7,04	700	30,7	100 NTU	7,08	794	29,7	85	16V
7	7,27	700	30,4	100 NTU	7,20	782	29,6	85	16V
8	7,44	708	30,3	100 NTU	7,25	813	28,7	85	16V
9	7,38	703	29,8	100 NTU	7,40	806	28,9	85	16V
10	7,58	702	29,7	100 NTU	7,55	803	28,4	85	16V

Pengujian modul control limbah Dimana kita dapat mengetahui parameter limbah sebelum diuji dan pada pengujian ini dilakukan pada 10 sampel limbah dengancara dilakukan pengukuran PH, TDS, Suhu dan kekeruhan , darihasil baca sensor ini selama tidak melebihi ambang batas yang sudah di seting didalam fuzzy logic maka akan dikategorikan layak buang dengan nilai 85 dari nilai 85 akan dikonversi ke nilai tegangan yaitu didapat angka 16 volt , nilai kualitas limbah berkisar 0 sampai 100 Dimana semakin tinggi semakin baik , maka dikonversi ketegangan semakin kecil karena limbah tidak memerlukan daya ekstra untuk memproses limbah

Pembahasan

- pengukuran limbah pada saat proses sudah selesai dilakukan guna untuk mengetahui perubahan PH, TDS, suhu dan kekeruhan terhadap limbah yang sudah melalui proses selain pembacaan sensor kita juga menggunakan alat ukur guna sebagai pembandingan hasil ukur sensor dengan alat ukur.

Tabel 8. Pengujian modul kontrol limbah sesudah dilakukan proses uji jar test dengan elektrokoagulas menggunakan synchronus buck converter dengan kontrol PI

NO	Sensor				Pembacaan Alat ukur			Kelayakan Limbah	Tegangan output (Setpoint)
	PH	TDS	Suhu	kekeruhan	PH	TDS	Suhu		
1	8,17	686	37,9	68 NTU	7,91	641	36,7	85	16 V
2	8,06	693	38,3	44 NTU	7,52	676	35,2	85	16 V
3	7,83	694	37,2	51 NTU	7,37	671	32,3	85	16 V
4	7,89	693	37,4	57 NTU	7,30	648	36,0	85	16 V
5	7,90	692	36,7	49 NTU	7,38	678	33,7	85	16 V
6	7,79	684	37,1	45 NTU	7,42	681	37,1	85	16 V
7	7,57	678	37	56 NTU	7,40	670	34,3	85	16 V
8	7,68	691	35,1	48 NTU	7,77	705	33,2	85	16 V
9	7,47	688	35,1	44 NTU	7,65	682	33,5	85	16 V
10	7,93	687	34,9	44 NTU	7,81	684	33	85	16 V

pembahasan

- Dilakukan pengambilan nilai Arus Input Output dan tegangan input output converter buck sinkron untuk mengetahui efisiensi converter buck sinkron saat dilakukan pemrosesan limbah pengambilan data arus setiap 5 menit dikarenakan nilai arus berubah jadi nanti akan didapat daya rata rata

Tabel 9. Tabel Arus input dan output converter buck sinkron setiap 5 menit

No	Arus Input					Rata - rata arus input	Arus Output					Rata - rata arus output
	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
1	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,7991	2,15	2,1	2,03	1,97	1,92	2,0391
2	0,88	0,88	0,86	0,84	0,84	0,86	2,2	2,2	2,11	2,07	2,07	2,1391
3	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,7891	2,02	1,94	1,88	1,81	1,84	1,991
4	0,827	0,82	0,81	0,76	0,79	0,80191	2,03	2	1,98	1,84	1,92	1,9591
5	0,77	0,76	0,73	0,72	0,75	0,7591	1,9	1,9	1,75	1,75	1,83	1,8391
6	0,82	0,83	0,81	0,8	0,81	0,8191	2,04	2,06	2,01	1,96	2,00	2,0191
7	0,81	0,8	0,76	0,75	0,75	0,7791	2,01	1,97	1,88	1,84	1,83	1,9191
8	0,8	0,79	0,77	0,76	0,74	0,7791	2,01	1,98	1,92	1,90	1,85	1,9391
9	0,83	0,81	0,78	0,77	0,73	0,7891	2,06	2,02	1,93	1,89	1,79	1,9491
10	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,7691	2	1,94	1,91	1,82	1,79	1,89591

pembahasan

- Dilakukan pengambilan nilai Arus Input Output dan tegangan input output converter buck sinkron untuk mengetahui efisiensi converter buck sinkron saat dilakukan pemrosesan limbah pengambilan data arus setiap 5 menit dikarenakan nilai arus berubah jadi nanti akan didapat daya rata rata

Tabel 10. Tabel Tegangan input dan output converter buck sinkron setiap 5 menit

No	Tegangan Input					Rata - rata tegangan input	Tegangan Output					Rata - rata tegangan output
	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit		5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	
1	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	16	15,99	16	16	16	16
2	44,9	44,9	44,89	44,89	44,89	44,89	16	15,99	16	16	16	16
3	44,89	44,9	44,89	44,89	44,89	44,89	16	16	16	15,99	16	16
4	44,88	44,88	44,88	44,88	44,88	44,88	16	16	16	16	16	16
5	44,88	44,88	44,88	44,87	44,87	44,88	16	16	16	16	16	16
6	44,87	44,87	44,87	44,87	44,86	44,87	16	16	16	16	16	16
7	44,86	44,86	44,86	44,86	44,86	44,86	16	16	15,99	15,98	16	15,99

Pembahasan

- Setelah didapat nilai arus input output dan tegangan input output maka akan dilakukan perhitungan daya rata rata daya input dan daya output dan didapat kan efisiensi 86% hingga 90% dengan Batasan waktu pengujian selam 25 menit

Tabel 11 . Tabel pengujian Konverter buck sinkron saat seluruh sistem dijalankan

NO percobaan	Set point	Tegangan (V)		Rata – Rata Arus (I)		Rata -Rata Power (Watt)		Power Efficiency (η)	Waktu proses
		Input	Output	Input	Output	Input	Output		
1	16	44,91	16	0,7991	2,0391	35,88	32,62	90.9	25 menit
2	16	44,89	16	0,86	2,1391	38,6	34,22	88,65	25 menit
3	16	44,89	16	0,7891	1,991	35,42	31,85	89,93	25 menit
4	16	44,88	16	0,80191	1,9591	35,98	31,34	87,09	25 menit
5	16	44,88	16	0,7591	1,8391	34.06	29,42	86,37	25 menit
6	16	44,87	16	0,8191	2,0191	36,75	32,3	87,89	25 menit
7	16	44,86	15,99	0,7791	1,9191	34,95	30,68	87,79	25 menit
8	16	44,77	16	0,7791	1,9391	34,88	31,02	88,94	25 menit
9	16	44,83	16	0,7891	1,9491	35,37	31,18	88.15	25 menit
10	16	44,84	15,99	0,7691	1,89591	34,48	30,31	87,9	25 menit

Temuan Penting Penelitian

Kesimpulan penelitian membuktikan bahwa sistem elektrokoagulasi berbasis konverter buck sinkron dengan kontrol PI bekerja efisien, mencapai efisiensi 94% pada beban tinggi (meski turun signifikan di beban rendah), dengan tegangan output stabil 12-40V setelah tuning manual menggunakan metode Ziegler-Nichols. Sistem sensor (pH, TDS, kekeruhan) menunjukkan akurasi cukup baik (error pH 2,3%), namun sensor TDS kurang akurat di atas 700 ppm. Fuzzy logic berhasil mengklasifikasi kualitas limbah menjadi sinyal kontrol tegangan, walau memiliki keterbatasan akurasi. Hasil pengolahan berhasil menstabilkan pH (7,47-8,17), menurunkan kekeruhan 32-56% (dari 100 NTU menjadi 44-68 NTU), dan mengurangi TDS 15,3% (795,3 ppm ke 673,6 ppm), meski suhu naik 5-7,5°C akibat elektrolisis. Secara keseluruhan, sistem memenuhi tujuan utama sebagai solusi pengolahan limbah domestik yang efisien, tetapi masih perlu pengembangan untuk meningkatkan akurasi sensor, optimasi kontrol, dan integrasi metode tambahan guna mencapai standar yang lebih baik.

Manfaat Penelitian

1. **Lingkungan** – Mengurangi pencemaran air akibat limbah domestik dengan pengolahan yang efektif, sehingga melindungi ekosistem perairan.
2. **Kesehatan Masyarakat** – Menurunkan risiko penyakit akibat air tercemar dengan memastikan limbah yang dibuang memenuhi standar baku mutu.
3. **Efisiensi Energi** – Sistem elektrokoagulasi berbasis *buck converter* dan kontrol PI meningkatkan efisiensi daya, mengurangi konsumsi energi.
4. **Otomatisasi & Kepresisian** – Penggunaan *fuzzy logic* memungkinkan adaptasi otomatis terhadap variasi kadar limbah, menghilangkan kebutuhan pengaturan manual.
5. **Penghematan Biaya** – Mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dalam pengolahan limbah dan menekan biaya operasional.
6. **Inovasi Teknologi** – Memberikan solusi terintegrasi (elektrokoagulasi, kontrol cerdas, dan konverter daya) yang dapat diaplikasikan di perumahan atau industri kecil.
7. **Kepatuhan Regulasi** – Memastikan limbah yang diolah memenuhi standar pemerintah, mendukung program keberlanjutan lingkungan.

Referensi

- [1] B. Bhadana et al., Electro-Coagulation and Electro-Oxidation in Water and Wastewater Treatment. American Society of Civil Engineers, 2016. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784416020>.
- [2] E. Wiyanto, B. Harsono, A. Makmur, R. Pangputra, J. Julita, and M. S. Kurniawan, "PENERAPAN ELEKTROKOAGULASI DALAM PROSES PENJERNIHAN LIMBAH CAIR," *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 19–36, Feb. 2014, doi: 10.25105/JETRI.V12I1.1449.
- [3] I. Pratiwi and A. Setiorini, "PENURUNAN NILAI pH, COD, TDS, TSS PADA AIR SUNGAI MENGGUNAKAN LIMBAH KULIT JAGUNG MELALUI ADSORBEN."
- [4] A. Baihaqi, E. Kurniawan, and wahmisari Prihartini, "Penyetelan Arus dan Tegangan Elektrolisis Dengan Pemantauan Daya Untuk Menghasilkan Air Konsumsi Rumah Tangga," Bandung, Oct. 2022. [Online]. Available: https://www.academia.edu/28297051/Analisa_Efisie
- [5] H. Zomorodi and E. Nazari, "Design and Simulation of Synchronous Buck Converter in Comparison with Regular Buck Converter," *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 79–86, 2022, doi: 10.31763/ijrcs.v2i1.538.
- [6] R. W. Rachmad and T. Abuzairi, "Simulasi Efisiensi Buck Converter Asynchronous dan Synchronous Berdasarkan Variasi Nilai Duty Cycle dan Beban," *SENTER*, vol. 7, no. <https://senter.ee.uinsgd.ac.id/repositori/index.php/prosiding/issue/view/senter2022>, pp. 9–19, Apr. 2022.
- [7] H. SUCU, T. GÖKTAŞ, and M. ARKAN, "Design, Simulation and Application of Buck Converter with Digital PI Controller," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 106–113, Apr. 2021, doi: 10.17694/bajece.884290.
- [8] I. P. Setiady, M. Hannats, H. Ichsan, and H. Fitriyah, "Purwarupa Sistem Monitoring dan Otomatisasi Air Limbah Industri Tekstil dengan Metode Fuzzy Logic Mamdani," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 6, pp. 2591–2601, Jul. 2022, Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11123>
- [9] N. Ihda, F. Nisa, and A. Aminudin, "Pengaruh Penambahan Dosis Koagulan Terhadap Parameter Kualitas Air dengan Metode Jartest," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 3, no. 2, pp. 61–67, Sep. 2019, doi: 10.30595/JRST.V3I2.4500.
- [10] M. I. Budi, D. Hadidjaja, R. Saputra, I. Anshory, and S. D. Ayuni, "Design of Automatic Cooker Hood Using NodeMCU," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2024, doi: 10.21070/jeeeu.v8i1.1680.

Referensi

- [10] M. I. Budi, D. Hadidjaja, R. Saputra, I. Anshory, and S. D. Ayuni, "Design of Automatic Cooker Hood Using NodeMCU," JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA), vol. 8, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2024, doi: 10.21070/jeeeu.v8i1.1680.
- [11] M. P. M. Combatt, W. C. S. Amorim, E. M. da S. Brito, A. F. Cupertino, R. C. S. Mendonça, and H. A. Pereira, "Design of parallel plate electrocoagulation reactors supplied by photovoltaic system applied to water treatment," Comput Electron Agric, vol. 177, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105676.
- [12] ON Semiconductor, "LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter," Apr. 2013, Accessed: Nov. 20, 2023. [Online]. Available: www.onsemi.com
- [13] U. Widya Kartika and J. I. Sutorejo Prima Utara, "Perbandingan Metode Tuning PID pada Pengaturan Kecepatan Parallel Hybrid Electric Vehicle," Telekomtran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, Aug. 2022, doi: 10.34010/TELEKONTRAN.V10I1.7411.
- [14] B. I. (Bagus) Setiawan, "Perancangan Robot Auto Line Follower Yang Menerapkan Metode Osilasi Ziegler-Nichols Untuk Tuning Parameter PID Pada Kontes Robot Indonesia," Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, vol. 1, no. 1, p. 114737, 2013, Accessed: Oct. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/114737/>
- [15] P. Studi, T. Elektro, F. Sains, and D. Teknologi, "Hot Water Looping System to Control Temperature of Drug Production Based Arduino," Procedia of Engineering and Life Science, vol. 2, no. 2, Jun. 2022, doi: 10.21070/PELS.V2I2.1258.
- [16] F. I. Negara, S. Syahririni, A. H. Falah, and I. Sulistiyowati, "Sistem Pengendali Berat Sampah Organik Pada Mesin Pencacah Sampah Organik Berbasis Fuzzy," Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM), vol. 5, no. 2, pp. 258–267, Oct. 2023, doi: 10.33650/jeeecom.v4i2.
- [17] F. . Baskoro, R. A. Ivory, N. . Kholis, F. . Baskoro, and . . Nurhayati, "REVIEW PENGGUNAAN SENSOR SUHU TERHADAP RESPON PEMBACAAN SKALA PADA INKUBATOR BAYI: REVIEW PENGGUNAAN SENSOR SUHU TERHADAP RESPON PEMBACAAN SKALA PADA INKUBATOR BAYI," JURNAL TEKNIK ELEKTRO, vol. 10, no. 1, pp. 185–194, 2021, doi: 10.26740/JTE.V10N1.P185-194.
- [18] Z. Muttaqin and E. Srihartini, "PENERAPAN METODE REGRESI LINIER SEDERHANA UNTUK PREDIKSI PERSEDIAAN OBAT JENIS TABLET," Sistem Informasi |, vol. 9, no. 1, pp. 12–16.

