

SKRIPSI

**SISTEM REVERSE OSMOSIS PORTABLE UNTUK
PEMURNIAN AIR BERBASIS IOT DENGAN
SUMBER ENERGI TERBARUKAN**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh:

I Putu Gede Mardana

NIM. 2115344038

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan dan mengimplementasikan sistem reverse osmosis (RO) portable berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan sumber energi terbarukan untuk menghasilkan air bersih yang layak konsumsi. Sistem ini dirancang sebagai solusi penyediaan air minum di daerah terpencil yang minim akses listrik dan air bersih, serta sebagai alternatif mandiri berbasis energi surya. Pemantauan kualitas air dilakukan secara real-time menggunakan sensor pH, TDS, dan *turbidity* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data sensor dikirim ke Firebase dan dicatat ke Google Spreadsheet, dengan kontrol pompa otomatis melalui relay. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu menurunkan nilai TDS air, pH air tetap stabil dalam rentang 6,5 – 8,5, dan kekeruhan air di bawah 1 NTU, sesuai dengan standar WHO. Sistem ini juga dilengkapi dengan aplikasi berbasis Flutter yang memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol alat secara jarak jauh. Energi alat bersumber dari baterai LifePO4 yang diisi ulang oleh panel surya melalui *solar charge controller*, dengan daya tahan operasional $\pm 1,5$ jam dalam kondisi aktif penuh. Hasil implementasi menunjukkan sistem bekerja stabil dan efektif sebagai solusi penyediaan air bersih portable dan hemat energi.

Kata Kunci: Reverse Osmosis, IoT, pH, TDS, Turbidity, ESP32, Panel Surya, Firebase, Flutter

ABSTRACT

This study develops and implements a portable Reverse Osmosis (RO) system based on the Internet of Things (IoT) and powered by renewable energy to produce clean and drinkable water. The system is designed as a solution for providing drinking water in remote areas with limited access to electricity and clean water, offering an independent alternative using solar energy. Water quality monitoring is conducted in real-time using pH, TDS, and turbidity sensors integrated with an ESP32 microcontroller. Sensor data is transmitted to Firebase and logged into Google Spreadsheet, while the pump is automatically controlled via relay. Test results show that the system effectively reduces TDS levels in water, maintains pH stability within the 6.5–8.5 range, and keeps turbidity below 1 NTU, in accordance with WHO standards. The system is also equipped with a Flutter-based application that allows users to remotely monitor and control the device. The system's power is supplied by a LifePO4 battery, recharged via a solar panel and managed by a solar charge controller, with an operational duration of approximately ± 1.5 hours under full active use. The implementation results indicate that the system operates stably and efficiently, making it a practical and energy-saving solution for portable clean water provision.

Keywords: Reverse Osmosis, IoT, pH, TDS, Turbidity, ESP32, Solar Panel, Firebase, Flutter

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Sebelumnya	5
2.2. Landasan Teori.....	7
2.2.1. Reverse Osmosis.....	7
2.2.2. Standar Air Minum	7
2.2.3. pH, TDS, dan <i>Turbidity</i>	8
2.2.4. <i>Polypropylene Filter</i> (PP).....	9
2.2.5. <i>Ultrafine Depth Filter</i> (UDF)	10
2.2.6. <i>Chlorine, Taste, Odor Filter</i> (CTO)	11
2.2.7. Membran RO Filter.....	13
2.2.8. Lampu UV	14
2.2.9. ESP32.....	15
2.2.10. Sensor pH Air	15
2.2.11. Sensor <i>Turbidity</i>	16
2.2.12. Sensor TDS	17
2.2.13. LCD TFT 3.5”.....	17
2.2.14. Pompa Air	18

2.2.15. <i>Frameless Solar Panel</i>	18
2.2.16. <i>Solar Charge Controller</i>	19
2.2.17. <i>Battery LifePO4 33140</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Rancangan Sistem	21
3.1.1. Rancangan Hardware	21
3.1.2. Rancangan Software	30
3.2. Pembuatan Alat	32
3.2.1. Langkah Pembuatan Alat	32
3.2.2. Alat dan Bahan	33
3.3. Analisa Hasil Penelitian	35
3.4. Hasil Yang Diharapkan	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Implementasi Sistem	36
4.1.1 Implementasi Hardware	36
4.1.2 Implementasi Software	40
4.1.3 Implementasi Database	47
4.2 Hasil Pengujian Sistem	49
4.2.1 Pengujian Alat	49
4.2.2 Pengujian Aplikasi	50
4.2.3 Pengujian Database	52
4.2.4 Pengujian Parameter-Parameter yang Diamati	52
4.3 Pembahasan Hasil Implementasi	56
4.3.1 Analisa Implementasi Sistem	56
4.3.2 Analisa Pengujian Sistem	56
4.3.3 Analisa Perbandingan Hasil terhadap Standar WHO	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reverse Osmosis[9]	7
Gambar 2. 2 Skala pH [11]	8
Gambar 2. 3 Skala TDS[12]	8
Gambar 2. 4 Skala Turbidity (NTU)[13]	9
Gambar 2. 5 Polypropylene Filter (PP)[15].....	10
Gambar 2. 6 Ultrafine Depth Filter (UDF) Principle[16]	11
Gambar 2. 7 CTO Filter[17]	12
Gambar 2. 8 Membran RO Filter[10]	13
Gambar 2. 9 UV Lamp Principle[20]	14
Gambar 2. 10 ESP32 DevModule PinOut[8].....	15
Gambar 2. 11 Sensor pH Air[8].....	16
Gambar 2. 12 Sensor Turbidity[14].....	16
Gambar 2. 13 Sensor TDS[8]	17
Gambar 2. 14 LCD TFT 2.4"[21]	17
Gambar 2. 15 Pompa Air[6]	18
Gambar 2. 16 Frameless Solar Panel[22]	19
Gambar 2. 17 Solar Charge Control[23].....	19
Gambar 2. 18 Battery LifePO4 33140 [24]	20
Gambar 3. 1 Blok Diagram Rancangan Alat.....	22
Gambar 3. 2 Wiring Diagram Rancangan Alat.....	22
Gambar 3. 3 Skematik Sistem Keseluruhan	23
Gambar 3. 4 Flowchart Rancangan Alat.....	24
Gambar 3. 5 Blok Diagram Rancangan Daya.....	25
Gambar 3. 6 Wiring Diagram Rangkaian Daya.....	25
Gambar 3. 7 Rancangan Filter	27
Gambar 3. 8 Dimensi Alat	28
Gambar 3. 9 Tampak Depan Alat	28
Gambar 3. 10 Tampak Samping Kiri Alat.....	28
Gambar 3. 11 Tampak Samping Kanan Alat.....	29
Gambar 3. 12 Tampak Belakang Alat	29
Gambar 3. 13 Penempatan Komponen	29
Gambar 3. 14 Alat, Panel Surya, dan SCC	30

Gambar 3. 15 Tampilan Spreadseet.....	31
Gambar 3. 16 Tampilan Firebase.....	31
Gambar 3. 17 Rancangan Aplikasi	32
Gambar 4. 1 Tampak Depan Alat.....	36
Gambar 4. 2 Tampak Belakang Alat	37
Gambar 4. 3 Tabung Pengukuran	37
Gambar 4. 4 Tampak Bagian Depan Dalam	38
Gambar 4. 5 Penempatan Komponen	38
Gambar 4. 6 Tampak Sisi Kanan Alat	39
Gambar 4. 7 Tampak Sisi kiri Alat	39
Gambar 4. 8 Program Sensor TDS	41
Gambar 4. 9 Program Sensor pH.....	41
Gambar 4. 10 Program Sensor Turbidity.....	42
Gambar 4. 11 Program Pengiriman Data ke Firebase	42
Gambar 4. 12 Program Pengiriman Data ke Spreadsheet.....	43
Gambar 4. 13 Program Kontrol Pompa dari Firebase	43
Gambar 4. 14 Program Kontrol Pompa Button	44
Gambar 4. 15 Screen Flutter App	45
Gambar 4. 16 Implementasi Firebase Collection SensorData	46
Gambar 4. 17 Implementasi Firebase Collection Control	46
Gambar 4. 18 Penyimpanan Data Spreadsheet.....	47
Gambar 4. 19 Penyimpanan Spreadsheet	48
Gambar 4. 20 Penyimpanan Data pada Firebase	48
Gambar 4. 21 Tampilan Nilai pH pada TFT Display	49
Gambar 4. 22 Tampilan Nilai TDS pada TFT Display.....	50
Gambar 4. 23 Tampilan Nilai Turbidity pada TFT Display	50
Gambar 4. 24 Pengujian Tampilan Data Sensor pada Aplikasi.....	51
Gambar 4. 25 Pengujian Switch Kontrol Pompa pada Aplikasi.....	51
Gambar 4. 26 Pengujian Mode Gelap pada Aplikasi.....	52
Gambar 4. 27 Pengujian Database (Firebase & Spreadsheet)	52
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan TDS Awal dan TDS Akhir	54
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan pH Awal dan pH Akhir.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Inisialisasi pin komponen pada pin ESP-32	23
Tabel 3. 2 Alat-alat yang digunakan	33
Tabel 3. 3 Bahan / Komponen	33
Tabel 3. 4 Bahan / Komponen alat	34
Tabel 3. 5 Bahan / Komponen filter	34
Tabel 3. 6 Software yang digunakan	34
Tabel 3. 7 Hasil Pengukuran TDS, pH, dan Kekeruhan	35
Tabel 3. 8 Hasil Pengukuran Volume Air RO dari Volume Air Awal	35
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Parameter-Parameter yang Diamati	53
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Volume Air RO dari Volume Air Awal	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan sumber kehidupan yang sangat vital bagi semua makhluk hidup, seperti manusia, hewan, dan tumbuhan. Sebagai elemen esensial dalam kehidupan, air berperan penting dalam menunjang kesejahteraan manusia dengan memenuhi kebutuhan dasar, menjaga kesehatan, mendukung mata pencaharian, serta mendorong pertumbuhan ekonomi[1]. Selain itu, air juga berkontribusi besar terhadap ketahanan pangan dan energi, serta dalam menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan.

Dalam hal kualitas air minum, menurut pedoman yang ditetapkan oleh World Health Organization (WHO), terdapat beberapa parameter penting yang harus dipenuhi agar air layak dikonsumsi, yaitu pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan kekeruhan. WHO merekomendasikan bahwa pH air minum ideal berada dalam rentang 6,5 hingga 8,5 untuk memastikan efektivitas proses desinfeksi serta mencegah dampak negatif terhadap rasa dan korosi. Kandungan TDS dalam air minum sebaiknya tidak melebihi 600 mg/L agar tetap terjaga kualitasnya dan aman bagi kesehatan. Sementara itu, tingkat kekeruhan yang disarankan berada di bawah 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) guna memastikan desinfeksi yang optimal, meskipun dalam kondisi tertentu nilai hingga 5 NTU masih dapat diterima[2].

Sejalan dengan pentingnya kualitas air minum, konsumsi air yang cukup setiap hari sangat penting bagi tubuh manusia untuk menggantikan cairan yang hilang akibat berbagai proses fisiologis, seperti ekskresi urin dan feses, penguapan melalui kulit, pernapasan, serta keringat. Berdasarkan rekomendasi terbaru dari *European Food Safety Authority* (EFSA), kebutuhan air bersih harian rata-rata manusia adalah sekitar 2 hingga 3 liter untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh[3]. Kebutuhan ini dapat meningkat pada kondisi tertentu, seperti cuaca panas, aktivitas fisik yang intens, atau kondisi medis tertentu. Kekurangan asupan air dapat menyebabkan dehidrasi, yang berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti penurunan fungsi kognitif, gangguan metabolisme, hingga kelelahan[4]. Oleh karena itu, memastikan kecukupan asupan air harian sangat penting untuk mencegah dampak kesehatan yang merugikan.

Tantangan pemenuhan air bersih semakin kompleks, terutama bagi individu di lokasi terpencil seperti saat melakukan aktivitas yang jauh dari sumber air bersih, di mana sumber air alami sering tidak layak konsumsi karena pH tidak sesuai, TDS tinggi, dan

potensi kontaminasi mikroba[5]. Hal ini menuntut solusi praktis dan andal untuk memastikan ketersediaan air bersih. Selain itu, di rumah tangga, kualitas air baku yang kurang optimal dapat diatasi dengan sistem pemurnian berbasis teknologi, memanfaatkan listrik 220V dan air keran sebagai sumber, sehingga menghasilkan air layak konsumsi tanpa bergantung pada air kemasan atau metode penyaringan konvensional.

Dalam upaya menyediakan air bersih, sistem *Reverse Osmosis* (RO) telah banyak digunakan di Indonesia karena kemampuannya dalam memurnikan air dari berbagai kontaminan, termasuk garam, logam berat, dan partikel mikroba. Teknologi RO bekerja dengan memanfaatkan membran semi-permeabel untuk menyaring partikel-partikel berbahaya, menjadikannya salah satu metode pemurnian air yang efektif [6]. Namun, sistem RO memiliki beberapa keterbatasan, seperti ukuran alat yang besar sehingga tidak portable, tidak adanya fitur otomatisasi, serta ketidakmampuannya untuk melakukan pemantauan kualitas air secara real-time.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem pemurnian air portable otomatis berbasis teknologi *Reverse Osmosis* (RO) yang dilengkapi dengan fitur *Internet of Things* (IoT) dan menggunakan sumber energi terbarukan. Alat ini diharapkan mampu memantau parameter kualitas air secara real-time melalui aplikasi, sehingga pengguna dapat memastikan air yang dikonsumsi memenuhi standar kesehatan dan bebas dari kontaminasi yang berbahaya. Penelitian berjudul "Sistem *Reverse Osmosis Portable* untuk Pemurnian Air Berbasis IoT dengan Sumber Energi Terbarukan," diharapkan sebagai solusi dan dapat menjadi inovasi yang memberikan manfaat nyata dalam penyediaan air bersih di berbagai kondisi dan lokasi.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimanakah rancangan alat *reverse osmosis* portable berbasis IoT dengan sumber energi terbarukan yang mampu menghasilkan air bersih dan memantau kualitas air?
2. Bagaimanakah visualisasi data kualitas air baik pada alat maupun aplikasi?
3. Bagaimanakah kualitas air hasil dari alat pemurnian portable berdasarkan parameter kepadatan terlarut, pH air, dan kekeruhan air?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem kontrol dan monitoring alat *reverse osmosis* ini berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32, serta sensor pH, sensor TDS, dan sensor *Turbidity*.
2. Pada penelitian ini menggunakan baterai LiFePO4 33140 15Ah 12,8V dengan pengisian daya menggunakan panel surya dan juga dapat menggunakan adaptor 12V.
3. Pengoperasian dilakukan secara manual sesuai keinginan pengguna, baik melalui aplikasi mobile berbasis Flutter maupun switch pada alat.
4. Penelitian ini menggunakan air sungai sebagai air baku dalam percobaan.
5. Penelitian ini dilaksanakan untuk mempermudah pengguna dalam memperoleh air minum di lokasi terpencil ataupun diperumahan yang minim air bersih.
6. Penelitian ini berfokus pada air hasil pemurnian dengan parameter *Total Dissolved Solid* (TDS), pH, dan *Turbidity*.
7. Penelitian ini menggunakan tabung pengukuran yang juga berfungsi sebagai penampung air hasil pemurnian berkapasitas 265 ml.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari uraian latar belakang dan rumusan masalah yang disampaikan diatas, tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui bagaimana rancangan alat *reverse osmosis* portable berbasis IoT dengan sumber energi terbarukan yang mampu menghasilkan air bersih serta memantau kualitas air.
2. Untuk mengetahui bagaimana visualisasi data kualitas air dapat dilakukan secara efektif baik melalui tampilan langsung pada alat maupun melalui aplikasi mobile berbasis IoT.
3. Untuk mengetahui bagaimana kualitas air hasil dari alat pemurnian portable berdasarkan parameter *Total Dissolved Solids* (TDS), pH, dan kekeruhan air.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat dari dilaksanakannya penelitian ini yaitu :

a. Manfaat Akademik

- Ikut berpartisipasi dalam mengembangkan *Internet of Things*.

b. Manfaat Aplikatif

- Mempermudah pengguna untuk memperoleh air layak minum di daerah terpencil.
- Mempermudah pengguna dalam memantau kualitas air yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi sistem yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan alat reverse osmosis portable berbasis IoT dengan sumber energi terbarukan dirancang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor pH, TDS, dan *turbidity*, serta sistem filtrasi berlapis (PP, UDF, CTO, RO, dan UV). Sumber daya diperoleh dari baterai LifePO4 yang diisi ulang oleh panel surya melalui *solar charge controller*. Alat ini mampu memproduksi air bersih dan memantau kualitas air melalui sistem kontrol otomatis dan pemantauan berbasis IoT. Dengan desain yang *portable* maka alat mudah untuk dibawa atau dipindahkan.
2. Visualisasi data kualitas air dilakukan melalui dua media, yaitu layar TFT dan aplikasi mobile berbasis Flutter. Tampilan TFT menampilkan nilai pH, TDS, dan *turbidity* secara langsung pada alat. Sedangkan aplikasi menampilkan data secara *real-time* melalui Firebase dan menyediakan fitur kontrol pompa serta pengaturan antarmuka yang interaktif, sehingga memudahkan pengguna dalam pemantauan dan pengendalian alat.
3. Kualitas air hasil pemurnian menunjukkan bahwa nilai pH berada dalam rentang 6,5–8,5, nilai TDS di bawah 600 mg/L, dan tingkat kekeruhan di bawah 1 NTU. Meskipun secara umum memenuhi standar kelayakan air minum menurut *World Health Organization* (WHO), hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan pH hingga 6,32 pada beberapa sampel sehingga perlu diperhatikan, seperti yang ditunjukkan pada tabel hasil pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa air hasil pemurnian tetap layak dikonsumsi, namun pemantauan pH secara berkala penting dilakukan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan untuk pengembangan selanjutnya, penulis menyampaikan beberapa saran, antara lain:

1. Kedepannya alat dapat dilengkapi dengan *post-filter* seperti mineral filter atau taste filter setelah tahap RO dan UV, guna meningkatkan kualitas rasa air dengan

menambahkan kembali mineral alami seperti kalsium atau magnesium yang bermanfaat bagi tubuh.

2. Meskipun alat telah menunjukkan hasil sesuai standar WHO berdasarkan parameter pH, TDS, dan *turbidity*, diperlukan pengujian laboratorium yang lebih mendalam guna memastikan air benar-benar aman dikonsumsi dalam jangka panjang.
3. Kedepannya, sistem dapat dikembangkan dengan penggunaan baterai berkapasitas lebih besar, agar waktu operasional alat melebihi $\pm 1,5$ jam dan mendukung penggunaan yang lebih lama di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “UN World Water Development Report 2023,” UN-Water. Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023>
- [2] “Guidelines for drinking-water quality: small water supplies”.
- [3] “Dietary reference values for water | EFSA.” Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1459>
- [4] B. M. Popkin, K. E. D’Anci, and I. H. Rosenberg, “Water, hydration, and health,” *Nutr. Rev.*, vol. 68, no. 8, pp. 439–458, Aug. 2010, doi: 10.1111/j.1753-4887.2010.00304.x.
- [5] “call-for-experts---gdwq-5th-edition_16.4.24.pdf.” Accessed: Dec. 22, 2024. [Online]. Available: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/call-for-experts---gdwq-5th-edition_16.4.24.pdf?sfvrsn=f4a84a3d_3
- [6] C. Irawan, “PENGOLAHAN AIR BERSIH PORTABLE,” 2020.
- [7] Y. Membunga, E. T. S. Lobo’, and S. Lande’, “MONITORING pH DAN TDS PADA AIR TANAH BERBASIS ARDUINO”.
- [8] F. Chuzaini, “IoT MONITORING KUALITAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR SUHU, pH, DAN TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS),” 2022.
- [9] “Reverse Osmosis Technology, its Applications and Nano-Enabled Membrane,” *Int. J. Adv. Res. Chem. Sci.*, vol. 5, no. 2, 2018, doi: 10.20431/2349-0403.0502005.
- [10] S. Nasir, “Kinerja Membran Reverse Osmosis dalam Pengolahan Air Baku Mengandung Ion Natrium dan Kalsium”.
- [11] S. Bhuyan, “pH Scale: Definition, Chart, Values, & Range,” Chemistry Learner. Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.chemistrylearner.com/ph-scale.html>
- [12] “Total Dissolved Solids - TDS - in Drinking Water,” Premier Water Technologies. Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.premierwatermn.com/water-quality/water-contaminants/total-dissolved-solids/>
- [13] “How can I measure Turbidity? Camlab.” Accessed: Feb. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.camlab.co.uk/blog/how-can-i-measure-turbidity>
- [14] A. Sumarahinsih, S. A. E. Mahendra, and M. Z. D. Nafsi, “Deteksi Kekeruhan

- untuk Memantau Kualitas Air Berbasis IoT,” *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi Dan Kontrol*, vol. 9, no. 1, pp. 74–83, May 2023, doi: 10.15575/telka.v9n1.74-83.
- [15] M. B. Karim, A. Alamsyah, and A. Rachmat, “PROSES PEMBUATAN FILTER PADA MESIN PP SADIMENT CARTRIDGE”.
- [16] “What Is Ultrafiltration?,” Crystal Quest Water Filters. Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://crystalquest.com/pages/what-is-ultrafiltration>
- [17] K. Dahlan, M. M. Kawari, H. I. K. Bella, and O. Togibasa, “Layanan Penerapan Karbon Aktif Sebagai Media Penyaring Air di Lingkungan SMA Negeri 4 Jayapura,” *Bakti Hayati J. Pengabd. Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 37–42, Jan. 2023, doi: 10.31957/bhjpi.v1i2.2395.
- [18] “(PDF) Osmosis: Membranes Impermeable and Permeable for Solutes, Mechanism of Osmosis across Porous Membranes,” *ResearchGate*, Nov. 2024, doi: 10.33549/physiolres.930000.49.191.
- [19] “Membran Reverse Osmosis - gambaran umum | Topik ScienceDirect.” Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/reverse-osmosis-membrane>
- [20] “uv-led-datasheet-0900766b814f49b1_compress.”
- [21] “6. BAB II.pdf.” Accessed: Jan. 16, 2025. [Online]. Available: <https://repository.umsida.ac.id/bitstream/handle/123456789/23495/6.%20BAB%20II.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [22] C. B. Rudationo *et al.*, “Techno-economic Analysis of Rooftop Photovoltaic System (RPVS) using Thin-Frameless Solar Panels for Household Customers in Indonesia: Techno-economic Analysis of Rooftop Photovoltaic System in Indonesia,” *Proc. Pak. Acad. Sci. Phys. Comput. Sci.*, vol. 58, no. S, pp. 131–139, Dec. 2021, doi: 10.53560/PPASA(58-sp1)750.
- [23] B. Dilla, B. Widi, S. Wilyanti, A. Jaenul, Z. M. Antono, and A. Pangestu, “Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 128–135, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.53327.
- [24] Devyna Lufhf and B. Wahyudi, “Studi Optimasi Pengaruh Sisa Kapasitas dan Arus Pengisian Terhadap Keandalan Individu Baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH,” *J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 3, p. 10, July 2024, doi: 10.47134/jme.v1i3.2757.