

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PADA BATERAI AIR LAUT BERBASIS MIKROKONTROLER

Abbas Rizjik¹, Chalidia Nurin Hamdani^{1*}, Asepta Surya Wardhana¹, Astrie Kusuma Dewi¹

¹Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada, Cepu – Blora, 58315

*E-mail: hamdani113@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Baterai air laut merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang potensial, terutama bagi negara maritim. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring berbasis mikrokontroler yang mampu memantau kondisi baterai secara *realtime* serta mengotomatisasi proses pengisian dan pembuangan air laut guna meningkatkan kinerja dan data tahan sistem. Sistem yang dirancang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tangki air laut dengan sensor *Total Dissolve Solids* (TDS) dan sensor ultrasonik, delapan buah baterai air laut yang disusun seri-paralel dan tangki penampungan sisa air laut. Sistem Monitoring dirancang menggunakan *ThingSpeak platform* dan layar LCD di panel lokal. Pengujian sistem monitoring menunjukkan hasil cukup menjanjikan: sistem mampu membaca nilai TDS, suhu, arus listrik dan tegangan listrik, kontroler dapat menjalankan otomatisasi pengisian air laut pada tangki secara akurat. Pengujian terhadap baterai juga telah dilakukan dengan menggunakan *dummy load*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 5.244 watt pada beban resistif 6.5 Ohm dengan arus 0.88 A dan tegangan 5,96 V.

Kata kunci: Baterai air laut, Energi terbarukan, Sistem monitoring, *Thingspeak platform*

1. PENDAHULUAN

Dalam era global yang terus berkembang, kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, kemajuan teknologi dan perkembangan ekonomi [1]. Energi listrik merupakan objek vital bagi segala aspek kehidupan modern, dari rumah tangga hingga industri, komunikasi dan transportasi. Pemerintah dan masyarakat membutuhkan energi listrik dengan akses yang stabil dan terjangkau untuk memastikan kelangsungan hidup yang sejahtera dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan [2]. Kemajuan teknologi turut andil dalam peningkatan konsumsi energi listrik dengan meluasnya penggunaan perangkat elektronik seperti smartphone, laptop dan perangkat rumah tangga pintar [3]. Tantangan utama dalam memenuhi kebutuhan energi listrik adalah menjaga keseimbangan antara permintaan yang terus meningkat dengan pelestarian lingkungan, yang memerlukan peningkatan penggunaan energi baru terbarukan dan investasi dalam teknologi penyimpanan energi.

Sebagai negara kepulauan dengan wilayah laut terluas, Indonesia memiliki kekayaan potensi yang luar biasa untuk memanfaatkan air laut sebagai alternatif sumber energi listrik yang berkelanjutan. Dengan sumber daya alam yang melimpah, termasuk lautan yang kaya akan energi, Indonesia memiliki kesempatan untuk mengembangkan teknologi energi laut seperti ombak, energi arus laut, dan air laut itu sendiri [4][5]. Potensi ini memberikan peluang bagi Indonesia untuk memperkuat ketahanan energi dan menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang merusak lingkungan.

Baterai air laut merupakan salah satu pengembangan teknologi sistem penyimpanan energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan memanfaatkan air laut sebagai sumber daya

yang melimpah di Indonesia [6]. Kelebihan utama teknologi ini terletak pada melimpahnya bahan baku di Indonesia sehingga cukup relevan untuk diterapkan di daerah-daerah pesisir terpencil di pulau-pulau yang ada di Indonesia. Meskipun begitu, baterai air laut juga masih memiliki tantangan, salah satunya adalah terkait efisiensi dan daya tahan baterai [7]. kedua hal ini masih menjadi fokus utama penelitian dan pengembangan. Perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan konversi energi dari perbedaan salinitas menjadi listrik dan untuk mengatasi masalah korosi serta kinerja baterai dalam jangka panjang. Dengan berlanjutnya penelitian dan inovasi dalam bidang ini, baterai air laut memiliki potensi untuk menjadi salah satu solusi kunci dalam mendukung transformasi energi ke arah yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Untuk mengatasi kedua hal tersebut, diperlukan sistem monitoring dan otomasi. Sistem monitoring, kondisi baterai dapat dipantau secara realtime, parameter-parameter penting dapat diukur sehingga dapat diketahui kinerja baterai dan cara meningkatkannya melalui otomasi. Parameter penting dalam baterai air laut meliputi salinitas, TDS dan suhu [8][9]. Dengan adanya sistem monitoring, maka memungkinkan untuk mendeteksi dan mengatasi masalah potensial secara cepat dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Selain itu, integrasi otomasi pada proses pengisian air laut dapat memastikan bahwa pengisian dilakukan dengan baik. sistem otomasi dapat diatur untuk mengoptimalkan pengisian air laut sesuai dengan kebutuhan spesifik baterai dan kondisi lingkungan. Dengan demikian, penggunaan teknologi monitoring dan otomasi tidak hanya dapat mengoptimalkan penggunaan air laut sebagai sumber energi, tetapi juga dapat membantu mengurangi resiko kerusakan atau kegagalan baterai secara keseluruhan. Sebagai hasilnya, baterai air laut memiliki potensi yang lebih besar untuk menjadi solusi utama dalam mendukung penerapan energi yang berkelanjutan dan minim dampak lingkungan di masa depan [7][10].

Dalam penelitian ini, kami merancang sistem monitoring dan otomasi pada baterai air laut berbasis mikrokontroler. Beberapa sensor dipasang pada sistem untuk mengukur parameter-parameter penting, meliputi pH, *total dissolve solid*, level, arus listrik dan tegangan listrik. Hasil pengukuran akan dikirim ke sistem monitoring berteknologi *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan *ThingSpeak platform*. *Solenoid valve* dipasang sebagai aktuator untuk mengisi dan membuang air laut.

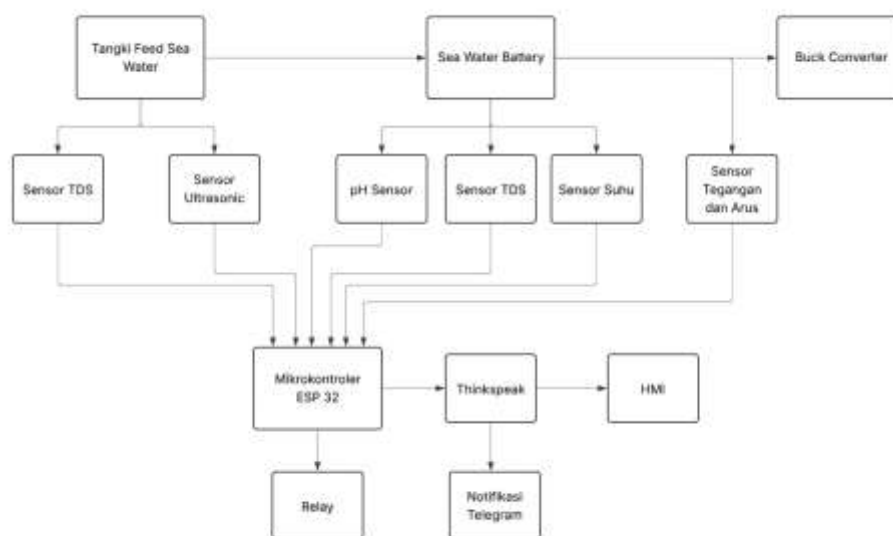
2. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Purwarupa yang dikembangkan merupakan Sistem monitoring baterai air laut berbasis mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pengolah data dan pengendali instrumentasi. Perangkat instrumentasi yang digunakan meliputi sensor pH-4502C, TDS meter, sensor INA219, sensor ultrasonik HC-SR04, layar LCD TFT, serta tiga solenoid valve yang masing-masing dipasang pada saluran keluaran tangki penyimpanan, saluran masuk tabung sel volta, dan saluran keluar tabung sel volta.

Skema kerja alat diawali ketika sensor INA219 mendeteksi nilai tegangan dan arus mencapai *set point* yang telah ditentukan. Pada kondisi tersebut, *solenoid valve* pada saluran keluaran tabung sel volta akan terbuka selama beberapa menit untuk mengalirkan elektrolit air laut jenuh menuju tangki penyimpanan air laut bekas pakai. Selanjutnya, pada tangki penyimpanan terdapat sensor TDS yang berfungsi memvalidasi kelayakan air laut. Jika hasil pengukuran sesuai dengan kriteria, maka solenoid valve pada saluran masuk baterai air laut akan terbuka. Sebaliknya, apabila tidak sesuai, air laut akan dialirkan langsung ke tangki penyimpanan air laut bekas.

Selain itu, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memantau ketinggian air laut. Ketika ketinggian terdeteksi kurang dari 2 cm, mikrokontroler ESP32 akan mengirimkan noti-

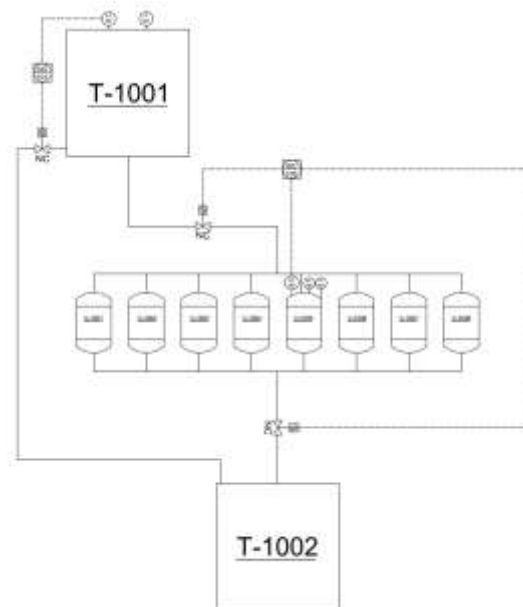
fikasi melalui Telegram kepada pengguna yang disertai tautan ke web ThingSpeak untuk memantau data parameter secara *real time*. Tegangan dan arus yang dihasilkan dari tabung sel kemudian disalurkan ke baterai dan buck converter yang digunakan untuk mengoperasikan lampu *growlight*, serta dipantau menggunakan sensor INA219. Seluruh parameter sistem diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan melalui layar LCD TFT serta platform *ThingSpeak*. Data hasil pengukuran ini menjadi dasar dalam proses analisis untuk membandingkan hasil penelitian dengan teori yang telah ada. Rancangan secara keseluruhan dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 1.



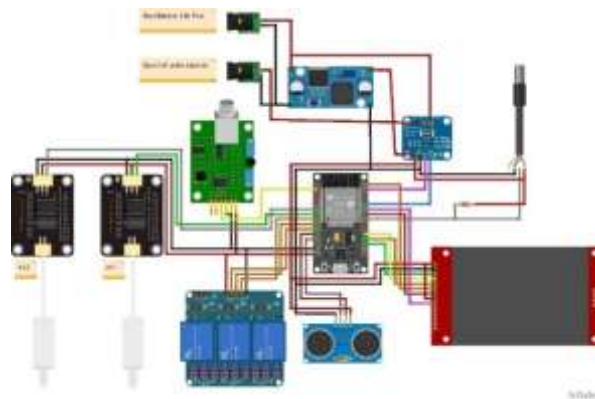
Gambar 1. Blok diagram sistem

Gambar 2 merupakan P&ID dari proses baterai air laut, dalam proses tersebut terdapat 2 loop control yang pertama yaitu pada tangki T-1001 terdapat sensor AT 101 yang merupakan sensor TDS untuk mengevaluasi larutan setelah itu diteruskan ke controller AIC 101 merupakan ESP 32 setelah itu diteruskan ke final control element yaitu solenoid valve. Loop control yang kedua yaitu terdapat pada tabung fuel cell part menggunakan sensor AT 103 (TDS), controller AIC 103 menggunakan ESP 32 dan mempunyai output 2 solenoid valve sebagai *final control element*. Selain loop control terdapat beberapa sensor yang terpasang untuk kebutuhan monitoring proses baterai air laut yang pertama LT 107 sensor level pada tangki feed, Pada tangki fuel cell part terdapat AT 105 sensor pH dan TT 106 sensor suhu.

Pada rancangan hardware sebagaimana pada Gambar 3, terdapat 3 bagian utama penunjang sistem yang terdiri atas input, kontrol dan output. Untuk modul input terdiri atas sensor TDS, sensor pH, sensor ultrasonic HC-SR04, sensor suhu, sensor tegangan dan arus INA219. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP 32. Dan untuk output terdiri atas modul relay 3 channel, 1 buah solenoid valve pada input sel, 1 buah solenoid valve pada output tangki penyimpanan air laut baru, 1 buah solenoid valve pada output tabung *fuel cell part*.

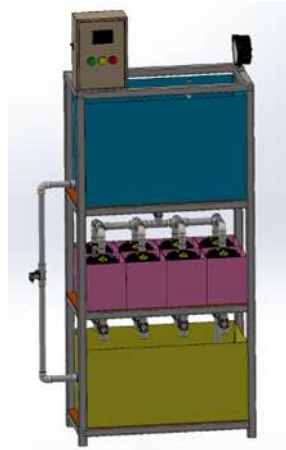


Gambar 2. P&Id diagram prototipe



Gambar 3. Rancangan *hardware*

Gambar 4 merupakan gambaran keseluruhan alat yang akan dibangun dalam project ini, adapun dalam proses tersebut terdapat 3 bagian. Pertama pada bagian tangki feed air laut yang terdapat diatas, pada bagian kedua terdapat pada tengah alat yang merupakan tangki fuel cell part untuk proses baterai air laut menghasilkan daya, yang ketiga terdapat pada bagian bawah yang merupakan tangki penampung untuk air laut yang sudah terpakai. Setelah itu terdapat panel box tempat controller untuk mengendalikan dan memantau sistem baterai air laut. Terdapat lampu *growlight* untuk tanaman yang mendapatkan supply daya langsung dari baterai air laut.



Gambar 4. Desain prototipe

3. PEMBAHASAN

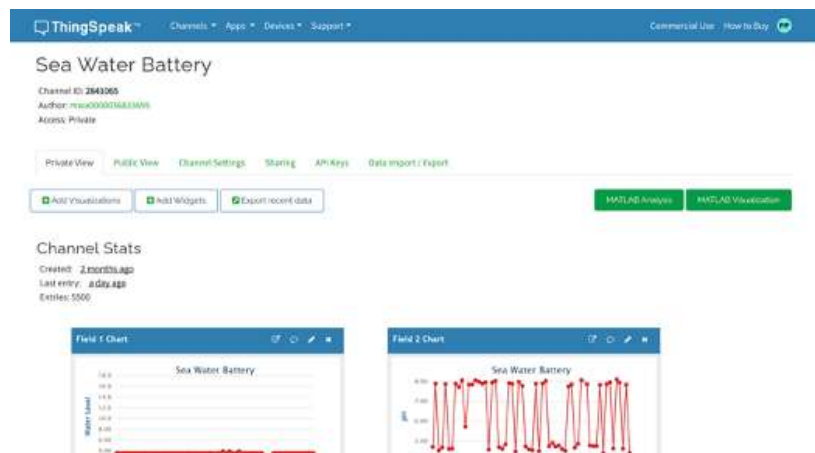
Pada Gambar 5 ditampilkan hasil implementasi hardware pada sistem monitoring baterai air laut dilakukan dengan membangun sebuah prototype bertingkat yang disusun secara modular menggunakan rangka besi berbahan hollow. Rangka ini memiliki tiga tingkat utama: bagian atas digunakan sebagai tangki *feed air laut*, bagian tengah sebagai tangki fuel cell part, dan bagian bawah sebagai penampung air laut bekas reaksi. Pada bagian tengah sistem, telah terpasang 16 buah sel baterai air laut yang masing-masing terdiri dari elektroda anoda magnesium dan katoda karbon, dirangkai dengan konfigurasi seri-paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus untuk mengisi baterai.



Gambar 5. Hasil implementasi prototipe

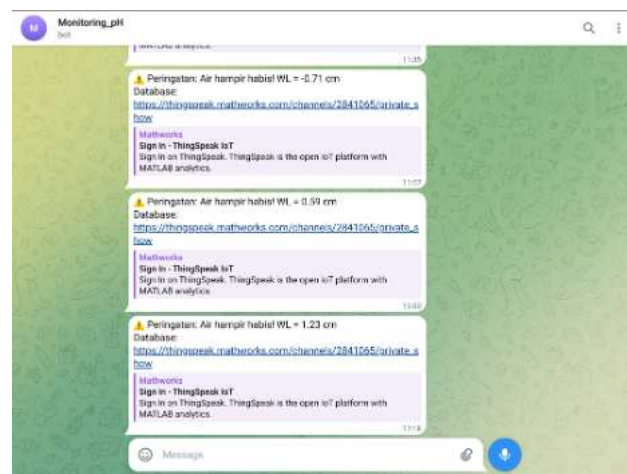
Pada Gambar 6 ditunjukkan implementasi *ThingSpeak* sebagai platform pemantauan data pada proyek baterai air laut. Melalui platform ini, seluruh parameter penting sistem dapat dipantau secara *real-time*, meliputi suhu, pH, *total dissolved solid* (TDS), ketinggian air, tegangan, dan arus yang dihasilkan dari sel volta. *ThingSpeak* berfungsi sebagai media akuisisi dan visualisasi data yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung melalui antarmuka berbasis web. Implementasi ini

memungkinkan proses pengamatan dan analisis kinerja sistem menjadi lebih efisien, serta mendukung proses evaluasi performa Baterai air laut terhadap perubahan kondisi lingkungan secara dinamis.



Gambar 6. Implementasi sistem monitoring

Sistem monitoring dirancang terintegrasi dengan telegram dengan tampilan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7. Integrasi dengan Telegram memungkinkan pengguna menerima notifikasi otomatis melalui bot ketika parameter penting melewati set point. Hal ini dapat memberikan respon cepat terhadap kondisi abnormal tanpa perlu berada di lokasi. Sementara itu, Thingspeak dimanfaatkan sebagai platform IoT untuk merekam dan menampilkan data sensor secara historis dalam bentuk grafik melalui *dashboard* online. Setiap beberapa detik, data dari berbagai sensor dikirim ke server *ThingSpeak* menggunakan koneksi WiFi, sehingga pengguna dapat memantau perkembangan kualitas air laut secara berkelanjutan dan terstruktur dari mana saja.



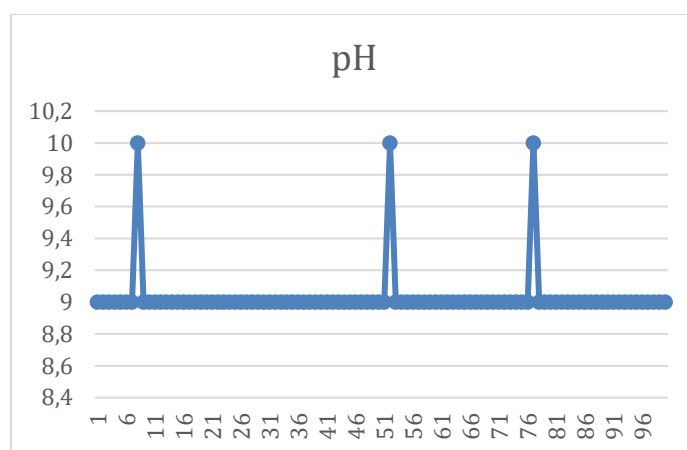
Gambar 7. Integrasi notifikasi via telegram

Pengujian alat dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pengujian semua sensor dan pengujian prototipe. Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor telah bekerja sesuai spesifikasi yang tertera. Adapun sensor yang diuji antara lain: sensor ultrasonik, sensor TDS, sensor suhu, sensor PH, sensor arus listrik dan sensor tegangan listrik. Pengujian sensor dila-

kukan dengan membandingkan hasil pengukuran oleh sensor dengan hasil pengukuran dengan alat ukur lain yang telah terkalibrasi.

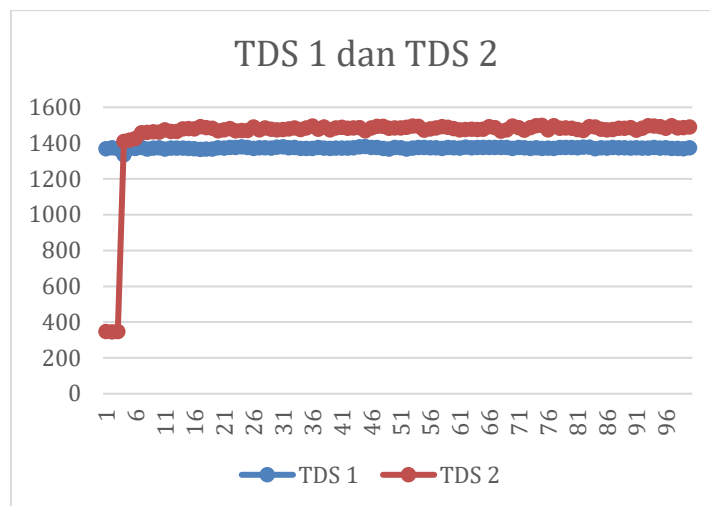
Pengujian prototipe dilakukan untuk menguji sistem monitoring yang telah terpasang, guna analisis lebih lanjut terhadap data yang telah diperoleh. Analisis data dan evaluasi dilakukan berdasarkan pengamatan langsung terhadap sistem saat dijalankan secara menyeluruh. Fokus utama dalam tahap ini adalah meninjau perubahan nilai parameter yang terpantau melalui sensor, seperti pH, suhu, TDS, arus, dan tegangan, selama sistem beroperasi dalam kondisi nyata. Selain itu, analisis juga mencakup hubungan antar parameter, misalnya pengaruh tegangan terhadap kestabilan pembacaan sensor atau hubungan antara perubahan suhu dengan nilai pH dan TDS air laut. Evaluasi dilakukan untuk menilai apakah sistem merespon kondisi sesuai logika kontrol yang dirancang, serta apakah notifikasi dan kontrol otomatis berjalan dengan benar. Dengan analisis ini, diperoleh gambaran menyeluruh tentang kinerja alat serta efektivitas integrasi antar komponen dalam sistem.

Pada Gambar 8 grafik pH yang ditampilkan, nilai pH selama proses elektrokimia pada tangki fuel cell umumnya berada pada kisaran 9, yang menunjukkan bahwa air laut dalam sistem berada dalam kondisi agak basa. Terjadinya lonjakan pH hingga mencapai 10 pada beberapa titik kemungkinan disebabkan oleh akumulasi ion hidroksida (OH^-) yang dihasilkan selama reaksi reduksi di katoda, terutama ketika laju reaksi meningkat sesaat akibat perubahan beban listrik atau arus. Kondisi ini masih berada dalam rentang yang aman untuk sistem fuel cell yang menggunakan air laut sebagai elektrolit, namun fluktuasi pH tetap perlu dimonitor untuk menjaga kestabilan proses dan mencegah potensi kerusakan pada material elektroda.



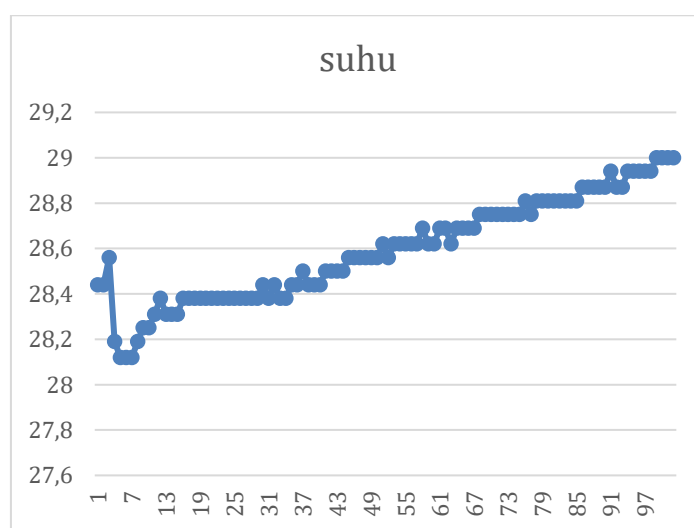
Gambar 8. Data pH air laut dari sistem monitoring

Berdasarkan Gambar 9 grafik pengukuran *Total Dissolved Solids* (TDS), terlihat bahwa TDS 1, yang merepresentasikan kondisi air laut baru pada tangki feed, memiliki nilai stabil di kisaran ± 1350 ppm. Sementara itu, TDS 2 yang mengukur larutan selama proses elektrokimia menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada awal proses, dari sekitar 300 ppm menjadi stabil di atas 1400 ppm. Peningkatan drastis pada TDS 2 ini mengindikasikan bahwa selama reaksi elektrokimia berlangsung, terjadi pelepasan ion terlarut yang berasal dari aktivitas elektroda atau reaksi kimia dalam larutan, seperti pelepasan ion logam atau senyawa lain yang larut ke dalam media. Meskipun nilainya meningkat, TDS 2 tetap berada dalam rentang yang relatif sebanding dengan TDS 1, menandakan bahwa kondisi larutan masih dapat diterima untuk mendukung proses konduktivitas dalam sistem fuel cell.



Gambar 9. Data TDS air laut dari sistem monitoring

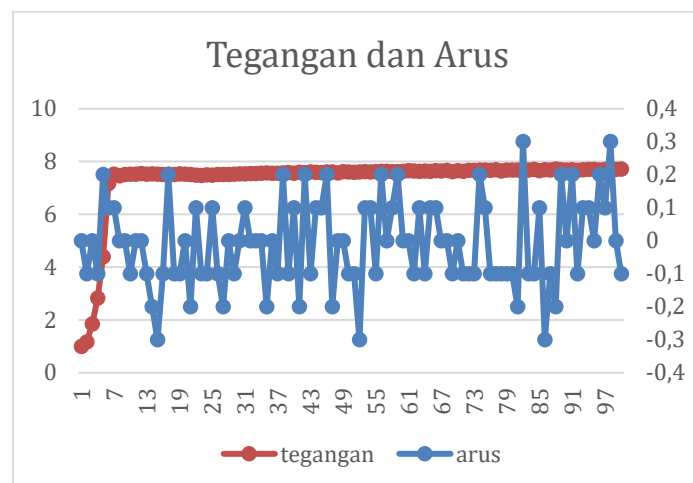
Berdasarkan Gambar 10 grafik pengukuran suhu selama proses elektrokimia pada tangki *fuel cell*, terlihat bahwa suhu mengalami peningkatan dari sekitar 28,2 °C hingga mendekati 29,1 °C secara bertahap. Kenaikan suhu ini terjadi karena reaksi elektrokimia menghasilkan panas seiring dengan terbentuknya daya listrik. Hubungan antara naiknya suhu dan tegangan menunjukkan bahwa semakin tinggi aktivitas reaksi, maka semakin besar energi yang dihasilkan. Meskipun kenaikannya masih tergolong wajar, pemantauan suhu tetap penting agar proses tetap stabil dan tidak merusak komponen dalam sistem.



Gambar 10. Data suhu air laut dari sistem monitoring

Pada Gambar 11 tegangan awal tercatat pada nilai 0,99 volt, yang menunjukkan bahwa sistem baru saja dinyalakan (*start-up*) dan reaksi elektrokimia belum sepenuhnya berlangsung. Seiring berjalannya waktu, tegangan mengalami kenaikan signifikan dan mulai stabil di kisaran 7,6 hingga 7,8 volt, yang mengindikasikan bahwa tangki *fuel cell* part telah terisi penuh dengan larutan elektrolit (air laut) dan reaksi redoks mulai berlangsung secara optimal untuk menghasilkan daya listrik. Sementara itu, nilai arus menunjukkan fluktuasi yang cukup dinamis, termasuk beberapa titik negatif yang kemungkinan besar disebabkan oleh *noise* sensor atau gangguan

sinyal sesaat. Meski demikian, kestabilan tegangan memperlihatkan bahwa sistem mampu mempertahankan output listrik secara konsisten selama proses elektrokimia berlangsung.



Gambar 11. Data tegangan dan arus listrik dari baterai air laut

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap parameter-parameter selama proses elektrokimia pada tangki fuel cell part, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan erat antara perubahan kondisi lingkungan larutan (pH, TDS, dan suhu) dengan daya listrik yang dihasilkan (dilihat dari grafik tegangan dan arus). Nilai pH yang berada pada kisaran basa (sekitar 9 hingga 10) menunjukkan lingkungan reaksi yang mendukung pembentukan ion hidroksida (OH^-), terutama di sekitar elektroda katoda. Peningkatan pH ini sejalan dengan meningkatnya aktivitas reduksi yang berkontribusi terhadap efisiensi reaksi redoks dalam sistem, sehingga membantu meningkatkan daya yang dihasilkan.

TDS mengalami peningkatan signifikan selama proses berlangsung, yang mengindikasikan peningkatan jumlah ion terlarut akibat reaksi kimia dan aktivitas elektrode. Kenaikan TDS ini memperbaiki konduktivitas larutan, yang sangat penting untuk menjaga aliran ion dalam sel elektrokimia, dan secara langsung berdampak pada kestabilan serta peningkatan tegangan output. Selain itu, kenaikan suhu dari sekitar $28,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ke $29,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ secara bertahap menunjukkan bahwa proses elektrokimia berlangsung aktif dan menghasilkan panas sebagai produk samping. Suhu yang meningkat secara perlahan ini juga berkontribusi terhadap peningkatan laju reaksi elektrokimia, sehingga turut mendorong naiknya tegangan secara bertahap dan mempercepat proses pembangkitan energi listrik.

Seluruh parameter tersebut saling mendukung dan menunjukkan konsistensi terhadap kenaikan tegangan dan dinamika arus listrik, yang merupakan indikator langsung dari daya listrik yang dihasilkan oleh sistem. Tegangan awal yang rendah ($0,99\text{V}$) menunjukkan fase start-up, dan kenaikan stabil tegangan ke kisaran $7,6\text{--}7,8\text{V}$ terjadi bersamaan dengan kondisi pH yang relatif tinggi, TDS yang meningkat, dan suhu yang terus naik. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem fuel cell mulai bekerja secara optimal ketika ketiga parameter lingkungan berada dalam kisaran yang mendukung.

Untuk mengetahui kinerja dari baterai air laut, maka dilakukan pengujian dengan dummy load. Pada tahap ini output dari baterai air laut dilakukan uji beban resistansi untuk menentukan daya maksimum yang dapat dikeluarkan oleh *sea water battery*. Terlihat pada Gambar 12 merupakan *Dummy Load* untuk menguji beban pada suatu daya yang dihasilkan oleh alat.



Gambar 12. Dummy load

Hasil pengujian dengan *dummy load* ini dapat dilihat pada Gambar 13. Pengujian beban dilakukan dengan variasi resistansi dari 33,3 Ω hingga 0,7 Ω . Warna biru pada grafik merepresentasikan nilai resistansi beban, warna oranye menunjukkan arus yang dihasilkan, sedangkan garis hijau menggambarkan tegangan (Vdc) yang terukur pada setiap variasi beban. Terlihat bahwa saat resistansi beban semakin kecil, arus yang mengalir meningkat, sementara tegangan output mengalami penurunan. Sebagai contoh, pada beban 33,3 Ω arus hanya sebesar 0,26 A dengan tegangan 8,9 V, namun ketika resistansi diturunkan menjadi 0,7 Ω , arus meningkat hingga 1,79 A dan tegangan turun menjadi 1,77 V. Perilaku ini menunjukkan bahwa sumber daya mengalami penurunan tegangan akibat meningkatnya arus, yang kemungkinan besar disebabkan oleh adanya impedansi internal pada sumber. Hubungan ini menggambarkan karakteristik tipikal dari pengujian beban, di mana terdapat titik optimum beban yang menghasilkan daya maksimum. Titik tersebut dapat dianalisis lebih lanjut berdasarkan nilai arus dan tegangan pada setiap kondisi beban.



Gambar 13. Hasil pengujian beban

Dari pengujian beban tersebut, terlihat bahwa semakin kecil resistansi beban (R_b), arus meningkat sedangkan tegangan menurun. Terlihat pada gambar 4.17 Daya maksimum terjadi saat beban resistif 6,5 Ω , dengan arus 0,88 A dan tegangan 5,96 V, menghasilkan daya sekitar 5,244 Watt. Setelah titik ini, meskipun arus terus bertambah, penurunan tegangan menyebabkan daya menurun. Hal ini menunjukkan bahwa beban optimal (impedansi matching terhadap sumber) terjadi pada 6,5 Ω . Pengujian ini membantu menentukan titik kerja maksimum dari sumber daya agar efisiensinya optimal.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan uji coba yang telah dilakukan terhadap sistem monitoring baterai air laut berbasis mikrokontroler, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang mampu melakukan pemantauan parameter penting seperti pH, TDS, suhu, arus, dan tegangan secara *real-time* dan jarak jauh melalui integrasi dengan *platform ThingSpeak*. Hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi positif antara nilai TDS dan suhu terhadap daya keluaran, di mana peningkatan kedua parameter tersebut berbanding lurus dengan peningkatan daya yang dihasilkan.

Sistem baterai air laut mampu menghasilkan tegangan sebesar 11,55 V dan arus 200 mA tanpa beban, serta 9,7 V dan arus 200 mA saat menyuplai beban. Tegangan keluaran terbukti stabil selama rentang waktu pengujian dari pukul 12.00 hingga 21.00, yang menunjukkan ketahanan performa sistem. Daya maksimum tercapai pada beban resistif 6,5 Ω dengan arus 0,88 A dan tegangan 5,96 V, menghasilkan daya sekitar 5,244 Watt. Selain itu, sistem telah berhasil diintegrasikan dengan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram, yang memberikan peringatan ketika level cairan elektrolit mendekati batas minimum. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi sebagai solusi pemantauan energi terbarukan yang efisien dan adaptif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, V. Vincent, and J. W. Simatupang, "Potensi Energi Panas Bumi, Angin dan Biomassa menjadi Energi Listrik di Indonesia," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2 SE-Articles, pp. 105–116, Nov. 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i2.9107.
- [2] Z. Anisa and D. Setyaningrum, "Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Baterai Dengan Elektroda Tembaga – Aluminium," vol. 19, no. 2, pp. 156–162, 2022, doi: 10.31851/sainmatika.v19i2.9583.
- [3] A. A. Masrur Ahmed *et al.*, "Global control of electrical supply: A variational mode decomposition-aided deep learning model for energy consumption prediction," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 2152–2165, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.08.076>.
- [4] W. Jiang *et al.*, "Role of natural resources, renewable energy sources, eco-innovation and carbon taxes in carbon neutrality: Evidence from G7 economies," *Heliyon*, vol. 10, no. 13, p. e33526, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33526>.
- [5] A. Amiruddin, A. Liebman, R. Dargaville, and R. Gawler, "Optimal energy storage configuration to support 100 % renewable energy for Indonesia," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 81, p. 101509, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101509>.
- [6] C. H. B. Apriowo, S. P. Hadi, F. Danang Wijaya, M. I. B. Setyonegoro, and Sarjiya, "Optimal sizing and placement of battery energy storage system for maximum variable renewable energy penetration considering demand response flexibility: A case in Lombok power system, Indonesia," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 23, p. 100620, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100620>.
- [7] S. Park *et al.*, "Energy storage capability of seawater batteries for intermittent power generation systems: Conceptualization and modeling," *J. Power Sources*, vol. 580, p. 233322, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233322>.
- [8] L. Barelli, D. Pelosi, G. Bidini, G. Di Donato, M. A. Navarra, and S. Passerini, "Na-seawater battery technology integration with renewable energies: The case study of Sardinia Island," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 187, p. 113701, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113701>.
- [9] Y. Lu *et al.*, "Mechanisms elucidation of secondary seawater batteries: From ion migration to conversion for sustainable energy storage," *Chem. Eng. J.*, vol. 498, p. 155307, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.155307>.
- [10] S. Li and X. Tian, "Progress of seawater batteries: From mechanisms, materials to applications," *J. Power Sources*, vol. 617, p. 235161, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235161>.