

Rancang Bangun Baterai Alternatif Menggunakan Metode Sel Volta dengan *Charger* Panel Surya

Design and Construction of Alternative Batteries Using the Voltaic Cell Method with Solar Panel Charger

Yenny Agnes Angela Turnip¹, Moranain Mungkin², Dina Maizana³, Habib Satria⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area; email: ¹yennyagnes8@gmail.com, ²moranainmungkin@gmail.com, ³maizanadina@gmail.com, ⁴habibsatria222@gmail.com

[Dikirimkan: 28 Mei 2024, Direvisi: 26 Oktober 2024, Diterima: 25 November 2024]

Corresponding Author: Habib Satria

INTISARI — Saat ini sudah banyak energi terbarukan yang dimanfaatkan dunia untuk sumber energi listrik. Di masa depan, energi terbarukan menjadi terobosan baru bagi para peneliti untuk mengembangkan sebuah teknologi yang sumber energinya berasal dari alam dan dapat diperbaharui secara terus menerus tanpa batas. Salah satu pengembangan teknologi tersebut adalah pengembangan baterai alternatif pada larutan air garam (NaCl). NaCl merupakan jenis larutan elektrolit yang sifat larutannya mampu untuk menghantarkan arus listrik. Di dalam larutan elektrolit, elektroda berperan penting sebagai media penghantar listrik (konduktor) pada baterai. Baterai ini dirancang menggunakan elektroda tembaga (Cu) sebagai katoda dan seng (Zn) sebagai anoda dengan metode sel volta. Tujuan penelitian ini adalah menggantikan larutan H₂SO₄ menjadi larutan elektrolit air garam yang lebih ramah lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian, baterai alternatif menghasilkan tegangan listrik sebesar 4,17 Volt pada konsentrasi 3 M menggunakan 6 sel elektroda yang dirangkai secara seri dan diterapkan pada panel surya.

ABSTRACT — Currently, many renewable energies are utilized by the world for electrical energy sources. In the future, renewable energy will be a new breakthrough for researchers to develop a technology whose energy source comes from nature and can be continuously renewed without limits. One of the developments in this technology is the development of alternative batteries in salt water (NaCl) solutions. NaCl is a type of electrolyte solution whose solution properties are able to conduct electric current. In electrolyte solutions, electrodes play an important role as a medium for conducting electricity (conductors) in batteries. This battery is designed using copper (Cu) electrodes as the cathode and zinc (Zn) as the anode with the voltaic cell method. The purpose of this study is to replace the H₂SO₄ solution with a more environmentally friendly salt water electrolyte solution. Based on the test results, the alternative battery produces an electric voltage of 4.17 Volts at a concentration of 3 M using 6 electrode cells arranged in series and applied to solar panels.

KATA KUNCI — Energi Terbarukan, Elektroda Cu-Zn, Konsentrasi NaCl, Panel Surya

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat menjadi tolak ukur bagi dunia untuk menciptakan dan memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan [1]. Di masa lampau, dunia masih menggunakan kayu bakar sebagai sumber energi dan kemudian beralih ke bahan bakar fosil seiring perkembangan industri pada tahun 1900-an [2]. Saat ini, masih terlihat ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas bumi untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari [3]. Namun, bahan bakar fosil dikenal semakin langka karena pembentukannya membutuhkan waktu ribuan tahun dan membuat keadaan bumi semakin terpuruk karena polusi yang dihasilkan. Energi fosil yang ditemukan dalam perut bumi diperkirakan akan habis dalam beberapa tahun yang akan datang. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca dan emisi karbon yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim. Dari data yang sudah diteliti, Indonesia sebagai salah satu negara di ASEAN yang memiliki jumlah emisi karbondioksida terbesar [4] dan menjadi sumber utama batubara (50%), gas bumi (29%) dan minyak (7%) [5]. Dengan menyadari dampak negatif penggunaan energi fosil terhadap lingkungan serta ketersediaan yang semakin terbatas, pengembangan teknologi panel surya memberikan alternatif ramah lingkungan yang dapat diperbaharui untuk memenuhi kebutuhan energi.

Matahari merupakan sumber energi utama di Bumi yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan. Energi matahari yang dipancarkan dalam bentuk cahaya dapat diubah menjadi energi listrik melalui efek *photovoltaic* menggunakan teknologi panel surya. Panel surya adalah susunan sel-sel *photovoltaic* yang terbuat dari bahan semikonduktor dan dihubungkan satu sama lain untuk menghasilkan tegangan atau arus listrik. Penggunaan panel surya tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses operasionalnya karena tidak melibatkan pembakaran bahan bakar fosil atau proses kimia. Penggunaan panel surya telah terbukti dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan emisi

karbondioksida di beberapa negara, khususnya Indonesia [6]. Meskipun demikian, pemanfaatan energi panel surya di Indonesia masih sangat rendah, hanya sekitar 0,05% dari total konsumsi energi [7]. Data menunjukkan bahwa baru sekitar 14% dari total pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan, sementara sisanya masih bergantung pada energi fosil [8]. Padahal sebenarnya Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar seperti energi matahari, energi laut, energi angin, dan bioenergi [9]. Namun, potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal.

Dilihat dari perspektif yang berbeda, panel surya dapat bekerja lebih efisien dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerjanya, seperti intensitas cahaya matahari, kondisi cuaca, sudut penempatan panel, pembersihan, perawatan dan efisiensi panel. Meskipun investasi awal yang tinggi menjadi hambatan, penerapan panel surya memberikan banyak keuntungan, mulai dari energi bersih dan ramah lingkungan hingga penghematan biaya dalam jangka panjang serta otonomi energi [10]. Panel surya juga dapat memberikan manfaat tambahan seperti pengisian ulang baterai, penerangan jalan umum berbasis tenaga surya, penggerak sepeda dan mobil listrik, pengisian daya ponsel, pengoperasian pompa air, sarana penghemat listrik dan berbagai aplikasi lainnya [11]. Tak hanya itu, penggunaan panel surya dapat menimbulkan dampak negatif seperti biaya instalasi dan harga panel yang mahal, kebutuhan lahan yang luas, dan ketergantungan panel pada cahaya matahari.

Permasalahan ini juga merujuk pada proses pembuatan baterai atau sering disebut *accumulator* (aki). Aki adalah jenis baterai yang biasa digunakan untuk kendaraan bermotor. Setiap sel aki terdiri dari elektroda positif yang berisi lempengan-lempengan timbal dioksida (PbO_2) dan elektroda negatif berisi timbal murni (Pb) yang terendam di dalam cairan (larutan) asam sulfat (H_2SO_4). Larutan H_2SO_4 dikenal sebagai bahan beracun dan berbahaya bagi kesehatan jika dihirup bahkan bisa menimbulkan gatal-gatal yang mengakibatkan luka pada kulit [12]. Karena fungsi dari larutan H_2SO_4 yaitu sebagai bahan pembuatan baterai yang menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia untuk disalurkan pada komponen kelistrikan kendaraan bermotor. Sebagian besar wilayah Indonesia termasuk Negara Maritim yang memiliki 70% kelautan dan 30% daratan. Hal ini bisa dimanfaatkan pada larutan air garam yang menjadi solusi untuk menggantikan energi tak terbarukan menjadi energi terbarukan dengan menciptakan sebuah baterai yang ramah lingkungan.

Penelitian larutan air garam ($NaCl$) menyesuaikan teori sel volta yang ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama Alessandro Volta berupa tembaga dan seng. Prinsip kerja sel volta adalah elektron yang mengalir dari anoda (Zn) menuju katoda (Cu) dengan mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Energi listrik ini terjadi karena adanya reaksi redoks (reduksi dan oksidasi).

Beraneka ragam pengujian baterai alternatif dengan elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) telah dilakukan. Pengujian dengan air garam dan 5 sel elektroda yang dihubungkan secara seri menghasilkan tegangan dan daya listrik tertinggi sebesar 27,28 mW pada suhu $28^\circ C$ dan konsentrasi 0,2 M [13]. Pengujian lain dengan variasi konsentrasi untuk memperoleh arus listrik, potensial listrik, daya listrik dan akumulasi energi adalah $NaCl$ 1M [14]. Pengujian dengan baterai air laut dan variasi ukuran sel elektroda serta volume air laut menghasilkan tegangan 4,91 Volt dan arus 25 mA menggunakan 5 sel elektroda yang berbeda [15]. Pengujian dengan penambahan $NaHCO_3$ pada baterai air laut yang diuji dengan beban LED selama 5 hari, menghasilkan tegangan listrik sebesar 2,55 Volt menggunakan 40 sel elektroda yang disusun secara seri [16]. Pengujian pada penggunaan elektroda tembaga dan seng dengan elektrolit air laut untuk sumber energi lampu LED-DIP menghasilkan tegangan dan arus sebesar 2,525 Volt/130 mA [17].

Pengujian menggunakan buah-buahan dan sayur-sayuran sebagai pengganti H_2SO_4 dengan elektroda dan tanpa elektroda $Cu-Zn$ telah dilakukan. Pengujian filtrasi air belimbing wuluh menghasilkan tegangan listrik sebesar 7,13 Volt dan arus listrik sebesar 0,56 mA dalam waktu 15 menit [12]. Pengujian filtrasi jeruk nipis dengan penambahan $NaCl + Na-EDTA$ menggunakan *charger solar cell* tercatat tegangan mencapai 7,40 Volt [18]. Pemanfaatan sari nenas dalam pembuatan bio baterai menghasilkan tegangan antara 1,94 Volt - 4,96 Volt [19]. Pengujian karakteristik ampas kulit nenas dengan penambahan $NaCl$, KCl , $MgCl_2$ menghasilkan tegangan dari 2,684 Volt - 3,923 Volt dan kuat arus sebesar 0,52 mA - 0,79 mA, mampu menyalakan lampu LED selama 2 jam hingga 15 jam [20]. Pengujian larutan buah tomat menghasilkan tegangan listrik maksimum sebesar 2,01 Volt selama 48 jam fermentasi dan tegangan listrik minimum sebesar 1,69 Volt selama 144 jam fermentasi [21]. Pengujian kulit pisang ambon dan buah kedondong tercatat tegangan listrik sebesar 4,01 Volt dan arus 1,88 mA, lebih tinggi daripada hanya buah kedondong yang mencapai tegangan 3,90 Volt dan arus 1,05 mA dalam waktu fermentasi selama 12 jam [22]. Pemanfaatan limbah jeruk nipis, jeruk lemon, jeruk medan, dan jeruk Pontianak dengan fermentasi selama 48 jam menghasilkan pengukuran terbaik tanpa beban pada larutan jeruk lemon sebesar 19,36 Volt. Pengukuran dengan penambahan LED menghasilkan daya terbaik sebesar 7,144 mW pada larutan jeruk lemon dan 8,534 mW pada larutan jeruk nipis [23]. Pengujian ekstrak lidah buaya sebagai bio baterai yang dirangkai secara seri menghasilkan 71,5 Volt mampu menyalakan lampu LED, lampu pijar 6 Volt, dan mini panel *electrical control* panel 12 Volt [24].

Dan pengujian baterai air garam dengan berbagai teknologi telah dilakukan. Pengujian ini memakai elektroda magnesium dan aluminium untuk menghasilkan nilai tegangan dan arus DC serta melihat pengaruh tingkat salinitas elektrolit yang beroperasi selama 24 jam secara otomatis menggunakan PLC [25].

Dari seluruh penelitian yang ada, belum ditemukan penelitian tentang baterai alternatif berbahan $Cu-Zn$ yang *dicharger* dengan panel surya. Sebab seiring penggunaan panel surya yang semakin banyak, melalui penelitian ini akan dilakukan rancang bangun baterai alternatif menggunakan metode sel volta dengan tujuan untuk melihat karakteristik tegangan dan arus larutan elektrolit $NaCl$ selama proses penchargingan menggunakan panel surya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

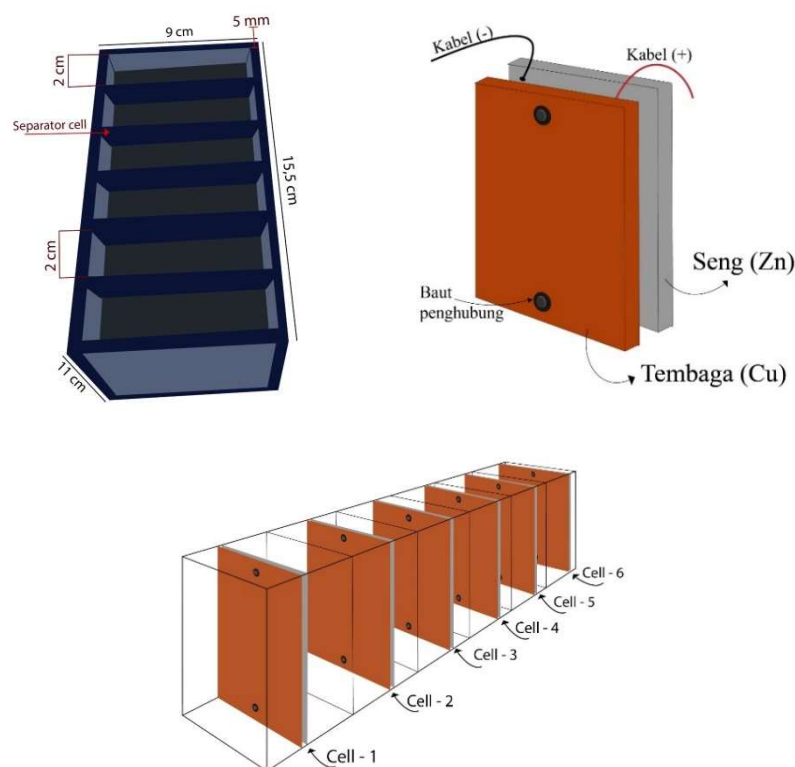
Lokasi penelitian ini dilaksanakan di CV. Angkasa Mobile Tech Batang Kuis Sumatera Utara pada bulan Agustus sampai Oktober 2023. Adapun jenis metodologi penelitian ini menggunakan studi literatur sebagai acuan untuk mengumpulkan kajian-

kajian penelitian yang sudah ada. Ada beberapa tahapan yang harus dilalui dalam proses penelitian ini. Langkah pertama diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan. Alat dan bahan yang digunakan adalah wadah baterai, garam merk dolphin, aquades, *beakerglass*, sendok, *heated stirrer*, plat tembaga (Cu) dan seng (Zn), gerinda, jangka sorong, *cutter*, tang kombinasi, obeng, solder, timah, kabel NYAF, baut dan mur nilon, neraca digital, pH meter digital, *conductivity meter*, multimeter digital, LED (*light emitting diode*), *adjustable stepdown DC-DC*, SCC (*solar charge controller*), dan panel surya (*solar cell*) dapat dilihat pada Gambar 1.

KAWACHI [®]	
Technical Data	
MODULE MODE: GP-20P-36	
Peak Power(Pmax)	(W) 20
Product Tolerance	(%) ± 5
Maximum Power Current(Imp)	(A) 1.11
Maximum Power Voltage(Vmp)	(V) 18
Short Circuit Current(Isc)	(A) 1.19
Open Circuit Voltage(Voc)	(V) 21.6
Weight	(Kg) 1.5
Dimensions	(mm) 480x350x17
Maximum System Voltage	(VDC) 1000
Wind Resistance	(Pa) 2400
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C	
25 Years Limited Output Guarantee	
WARNING ELECTRICAL HAZARD THIS UNIT PRODUCES DC ELECTRICITY WHEN EXPOSED TO LIGHT. COVER GLASS BEFORE REMOVING TERMINAL JUNCTION BOX LID.	

Gambar 1. Spesifikasi panel surya (*solar cell*)

Pada tahap selanjutnya dilakukan perancangan baterai alternatif dengan merancang sebuah wadah baterai terlebih dahulu. Wadah ini terbuat dari bahan akrilik yang berukuran 15,5 x 9 x 11 cm dan memiliki 6 sel elektroda dengan ketebalan 5 mm. Setiap sel terdiri dari sepasang elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang disusun secara seri seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan wadah sel volta

Pada proses pembuatan baterai alternatif dibagi menjadi 3 bagian yaitu proses pembuatan wadah, proses pembuatan larutan elektrolit NaCl, dan proses pembuatan elektroda. Dalam proses pembuatan wadah, untuk penempatan elektrodanya diberikan jarak 2 cm yang setiap selnya berisi sel pembatas (*penyekat*). Sel pembatas ini dinamakan *separator cell* (bersifat isolator) yang berfungsi sebagai pemisah antara sepasang elektroda positif dan negatif ketika dihubungkan secara seri dengan elektroda lainnya untuk mencegah adanya hubungan arus pendek (*short circuit*). Kemudian garam sangat berperan penting dalam proses pembuatan larutan elektrolit NaCl. Karena larutan air garam (NaCl) berperan sebagai bahan utama pada penelitian ini untuk dijadikan sebuah baterai alternatif. Larutan air garam (NaCl) termasuk jenis larutan elektrolit yang sifatnya netral (pH = 7). Artinya jenis larutan yang terbentuk dari asam kuat dan basa kuat. Persamaan reaksi kimia dapat ditulis sebagai berikut:

(asam kuat) + (basa kuat) (garam) + (air)

Awal mula pembuatan larutan NaCl ini dilakukan dengan menentukan massa garam dan molaritas. Massa garam dapat dihitung menggunakan rumus konsentrasi. Variasi konsentrasi pada larutan air garam (NaCl) meliputi 0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M; 2,5 M; dan 3 M.

$$M = \frac{m}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (2)$$
$$3 = \frac{m}{58,5} \times \frac{1000}{150}$$
$$m = 26,351 \text{ gram}$$

Keterangan:

M = Molaritas (mol/L)

Mr = massa molekul relatif (gram/mol)

V = Volume larutan (mL)

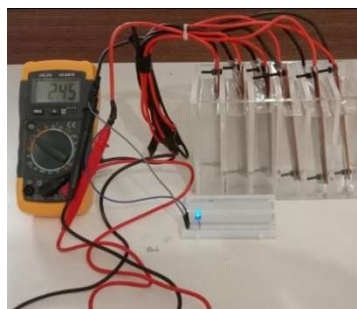
m = massa garam (gram)

Setelah itu, massa garam ditimbang dengan alat ukur yang dinamakan neraca digital. Langkah selanjutnya, dengan melarutkan garam ke dalam air (aquades) pada gelas ukur (*beaker glass*) menggunakan alat pengaduk yang disebut *heated stirrer*. Ketika dilarutkan, molekul air tidak lagi dapat menyerap garam sampai terjadinya titik jenuh. Volume air (aquades) yang dibutuhkan masing-masing sel sebanyak 150 mL dikarenakan untuk menyesuaikan volume wadah baterai yang ada pada setiap sel elektroda. Dalam proses pembuatan elektroda, pemilihan jenis elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah plat tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan masing-masing ukuran 3 x 11 cm untuk mendapatkan karakteristik tegangan dan arus yang terbaik.



Gambar 3. Elektroda Cu-Zn

Ujung setiap elektroda disolder dengan timah dan disambung dengan menggunakan kabel NYAF yang berfungsi sebagai media jalur aliran listrik pada baterai yang dapat diamati pada Gambar 3. Untuk memisahkan katoda (muatan positif) dan anoda (muatan negatif) pada elektroda Cu dan Zn, diperlukan pemasangan baut dan mur nilon. Pemisahan ini dilakukan sebagai tempat berlangsungnya reaksi reduksi pada kation di katoda dan reaksi oksidasi pada anion di anoda atau yang disebut dengan sel volta. Jenis tipe baut dan mur nilon yang digunakan adalah baut JP dan mur segi enam. Sementara itu, setiap sel elektroda dihubungkan dan dirangkai secara seri yang kemudian dirancang menjadi baterai alternatif air garam guna untuk meningkatkan tegangan total baterai (6 sel elektroda). Disamping itu, pada tahap pengujian baterai alternatif diberikan tegangan kerja input (*forward voltage*) LED biru sebesar 3,6 Volt dan arus listrik (*forward current*) sebesar 20 mA. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama daya tahan baterai air garam (NaCl) dapat menyuplai beban dan mengetahui kestabilan tegangan sebelum *dicharger* dengan panel surya. Baterai alternatif ini diukur menggunakan multimeter digital untuk menghasilkan output tegangan dan arus yang diinginkan sesuai yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian beban LED

Kemudian dari hasil pengujian pada beban LED dilakukan perancangan Perancangan baterai alternatif larutan air garam (NaCl) dengan *charger* panel surya yang merupakan bentuk *penchargingan* panel surya ditunjukkan pada Gambar 5.



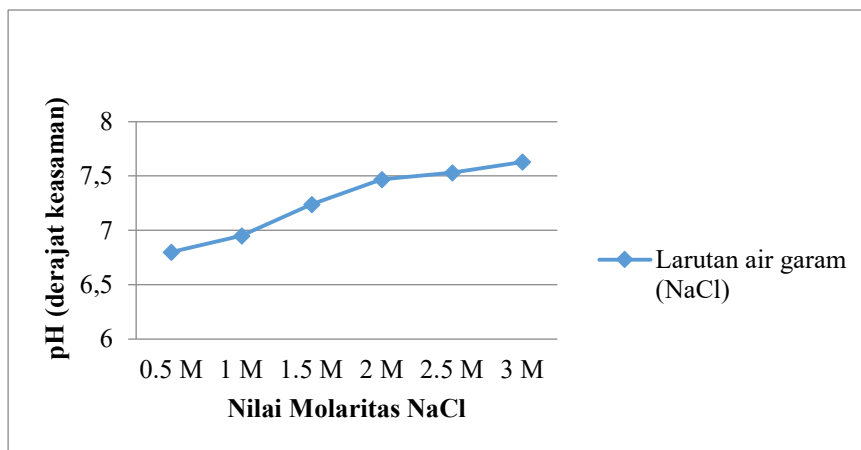
Gambar 5. Perancangan baterai alternatif larutan air garam (NaCl) dengan charger panel surya

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang dianalisis pada penelitian ini mencakup hubungan antara molaritas dengan pH, molaritas dengan konduktivitas (*conductivity*), molaritas dengan voltase, jarak elektroda dengan voltase, daya tahan baterai yang dapat menyuplai beban LED, serta kemampuan baterai dapat terisi oleh panel surya.

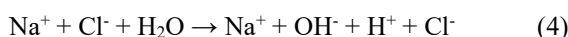
A. HUBUNGAN MOLARITAS DENGAN PH

Molaritas yang disimbolkan dengan notasi “M” adalah ukuran konsentrasi larutan dan digunakan untuk menentukan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Dalam penelitian ini, setelah mengidentifikasi molaritas air garam (NaCl), penting juga untuk mengetahui berapa nilai pH larutan tersebut dengan tujuan memahami sifat zat kimia dari ion-ion dalam larutan air garam. Pengukuran nilai pH dilakukan menggunakan pH meter digital.



Gambar 6. Grafik hubungan molaritas dengan pH

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan melalui grafik, dapat dianalisis bahwa nilai pH meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi molaritas larutan air garam. Pada saat diukur, nilai pH paling rendah dihasilkan pada konsentrasi 0,5 M dengan nilai 6,80 dan nilai pH paling tinggi dihasilkan pada konsentrasi 3 M dengan nilai 7,63 namun tidak kurang dari nilai 6 (bersifat asam) dan tidak melebihi nilai 8 (bersifat basa) yang dapat diamati pada Gambar 6. Hal ini disebabkan oleh jumlah ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-) dalam larutan tersebut seimbang. Ion-ion yang terdapat dalam garam tersebut tidak bereaksi dengan air (tidak mengalami hidrolisis) dan keduanya akan saling menetralkan, sehingga tidak ada ion hidrogen (H^+) atau ion hidroksida (OH^-) yang terbentuk. Jadi ketika direaksikan dengan air dalam persamaan reaksi kimia, dapat dijelaskan:

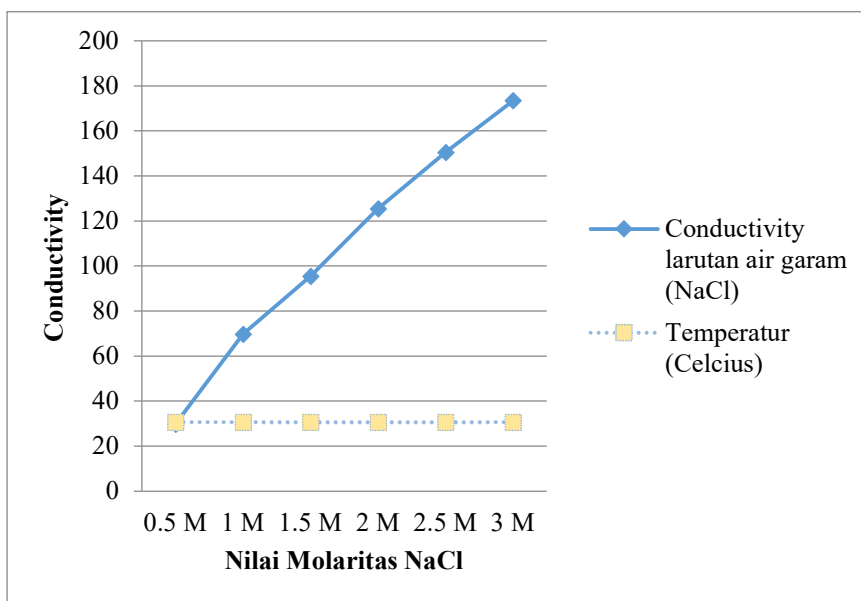


Temuan ini membuktikan bahwa pH larutan air garam dalam penelitian ini tetap netral (tidak bersifat asam dan tidak bersifat basa) atau nilai pH sekitar 7.

B. HUBUNGAN MOLARITAS DENGAN CONDUCTIVITY

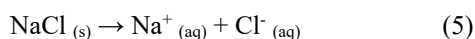
Conductivity meter dapat didefinisikan sebagai alat ukur yang berfungsi untuk mengukur nilai konduktivitas listrik pada suatu larutan, salah satunya adalah dengan mengukur konduktivitas listrik pada larutan air garam. Konduktivitas listrik ini diukur dalam

satuan mS atau biasa disebut milisiemens. Penambahan ion dalam larutan air garam secara signifikan mempengaruhi nilai konduktivitas dalam larutan tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan molaritas dengan conductivity

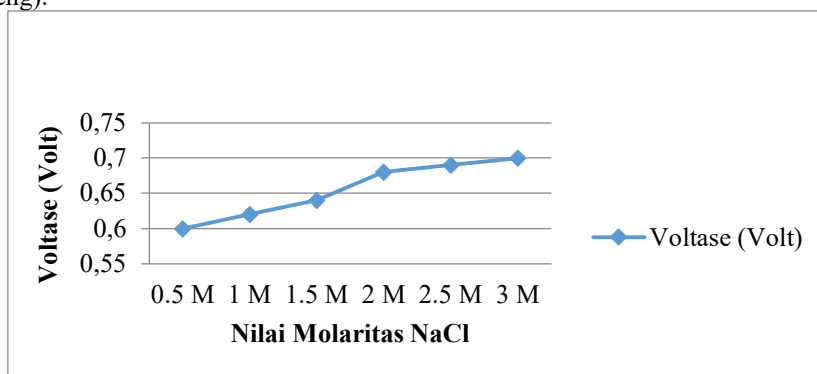
Dilihat dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas mengalami peningkatan yang signifikan terhadap molaritas larutan air garam. Ketika diukur, nilai konduktivitas paling rendah dihasilkan pada konsentrasi 0,5 M sebesar 29,8 mS dan nilai konduktivitas paling tinggi terjadi pada larutan dengan konsentrasi 3 M, mencapai 173,5 mS. Hal ini disebabkan oleh jumlah ion yang terlarut dalam larutan air garam (NaCl). Peningkatan molaritas larutan menyebabkan peningkatan jumlah ion terdisosiasi dalam larutan. Akibatnya, peningkatan jumlah ion dalam larutan meningkatkan konduktivitas listrik karena lebih banyak ion yang dapat bergerak bebas dan menghantarkan listrik. Terjadinya terdisosiasi dimana senyawa NaCl terpecah menjadi ion natrium (Na⁺) dan ion klorida (Cl⁻). Jadi, proses terdisosiasi ini dapat digambarkan dengan persamaan:



Dengan kata lain, semakin banyak ion Na⁺ dan Cl⁻ yang terdisosiasi maka semakin tinggi nilai daya hantar listriknya. Daya hantar listrik inilah yang menentukan seberapa besar arus yang dapat mengalir dalam baterai alternatif tersebut. Oleh karena itu, konsentrasi larutan air garam (NaCl) berbanding lurus dengan nilai konduktivitas listriknya. *Conductivity meter* secara otomatis menampilkan suhu larutan pada rentang 30,6 - 30,7°C.

C. HUBUNGAN MOLARITAS DENGAN VOLTASE

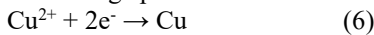
Voltase merupakan istilah lain dari potensial listrik yang diukur dalam satuan Volt (V). Alat yang biasa digunakan untuk mengukur voltase adalah multimeter digital. Multimeter digital ini dapat mengukur voltase dengan cara menyambungkan kabel probe (kabel pengukur) berwarna merah pada kutub positif di elektroda Cu (tembaga) dan kabel probe berwarna hitam pada kutub negatif di elektroda Zn (seng).



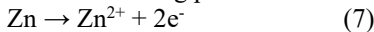
Gambar 8. Grafik hubungan molaritas dengan voltase

Dari hasil pengujian yang diperoleh (Gambar 8), terlihat bahwa elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) menghasilkan voltase paling tinggi yaitu 0,70 Volt pada konsentrasi 3 M. Peningkatan molaritas larutan air garam mempengaruhi voltase yang dihasilkan oleh baterai alternatif tersebut. Hal ini disebabkan oleh terdisosiasi dan terionisasinya garam NaCl dalam air menjadi ion-ion

natrium (Na⁺) dan ion klorida (Cl⁻). Ketika elektroda Cu (katoda) dan elektroda Zn (anoda) dicelupkan ke dalam larutan air garam, ion-ion tembaga pada elektroda Cu menerima dua elektron dan mengendap sebagai tembaga padat:

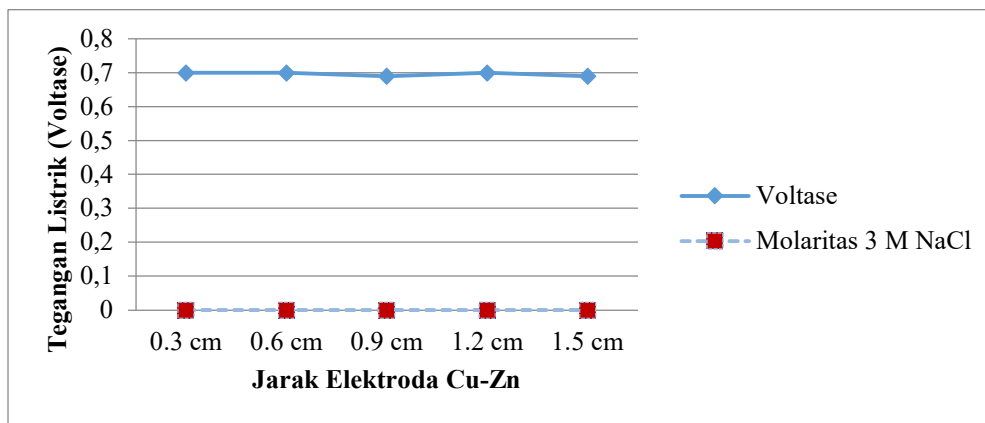


Sementara atom seng pada elektroda Zn melepaskan dua elektron menjadi ion-ion seng:



Saat kedua elektroda ini dihubungkan ke multimeter digital, ion-ion positif (Na⁺) bergerak menuju elektroda negatif (seng), sementara ion-ion negatif (Cl⁻) bergerak menuju elektroda positif (tembaga), menciptakan perbedaan potensial listrik yang diukur sebagai voltase. Proses inilah yang menimbulkan terjadinya reaksi redoks. Karena konsentrasi tertinggi adalah 3 M, itu menjadi fokus utama dalam penelitian ini dengan tujuan mengambil nilai voltase yang terbaik untuk dijadikan baterai alternatif. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk angka digital pada layar multimeter tersebut.

D. HUBUNGAN JARAK ELEKTRODA DENGAN VOLTASE

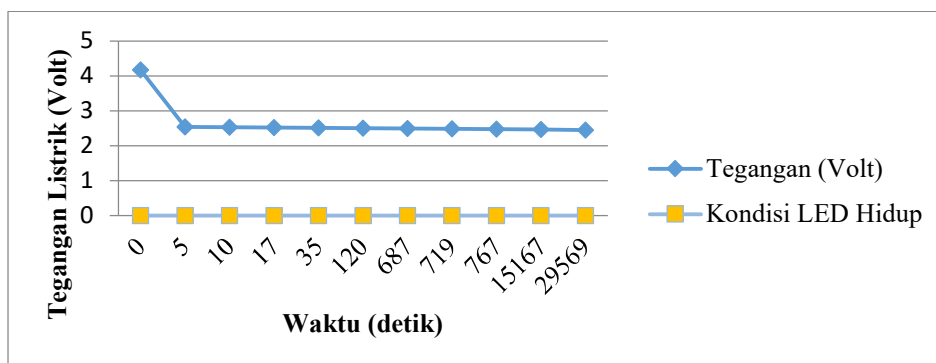


Gambar 9. Grafik hubungan jarak elektroda dengan voltase

Pada Gambar 9 menunjukkan hasil data yang dianalisis, terlihat pada jarak 0,3 cm voltase yang dihasilkan adalah 0,70 Volt; pada jarak 0,6 cm voltase juga sebesar 0,70 Volt; pada jarak 0,9 cm voltase mencapai 0,69 Volt; pada jarak 1,2 cm voltase kembali menjadi 0,70 Volt; dan pada jarak 1,5 cm voltase adalah 0,69 Volt dengan konsentrasi masing-masing sebesar 3 M. Voltase yang dihasilkan cenderung stabil pada sekitar 0,70 Volt meskipun terdapat perubahan jarak antara elektroda. Perubahan jarak antara elektroda Cu dan Zn tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap voltase yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh elektroda Cu dan Zn dalam larutan NaCl lebih dipengaruhi oleh konsentrasi ion-ion dalam larutan dari pada jarak fisik antara elektroda. Akibatnya, perubahan jarak elektroda Cu dan Zn tidak mempengaruhi voltase secara signifikan melainkan konsentrasi larutan NaCl yang lebih dominan. Dalam penelitian ini jarak 0,3 cm paling ideal untuk dijadikan jarak antara elektroda Cu (tembaga) dan elektroda Zn (seng) pada baterai alternatif.

E. PENGUJIAN ENAM ELEKTRODA (HUBUNGAN SERI) DENGAN BEBAN LED

Prinsip kerja dari parameter ini adalah arus akan mengalir dari elektroda Zn ke elektroda Cu melalui beban LED, menyebabkan LED menyala karena adanya aliran listrik. Sehingga menciptakan sel volta yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik.



Gambar 10. Pengujian enam elektroda (hubungan seri) dengan beban LED

TABEL I
 Pengujian Tegangan Baterai Alternatif Air Garam

No	Tegangan (Volt)	Waktu (detik)	Kondisi LED
1	4,17	0	Hidup
2	2,54	5	Hidup
3	2,53	10	Hidup
4	2,52	17	Hidup
5	2,51	35	Hidup
6	2,50	120	Hidup
7	2,49	687	Hidup
8	2,48	719	Hidup
9	2,47	767	Hidup
10	2,46	15167	Hidup
11	2,45	29569	Hidup

Tegangan awal baterai alternatif larutan air garam (NaCl) mula-mula menghasilkan tegangan listrik sebesar 4,17 Volt dalam waktu 0 detik. Namun, dalam waktu 5 detik tegangan baterai alternatif air garam (NaCl) mengalami penurunan tegangan sebesar 2,54 Volt, setelah itu mengalami penurunan tegangan menjadi 2,53 Volt dalam waktu 10 detik dan kemudian secara bertahap menurun hingga mencapai 2,45 Volt dalam waktu 29569 detik dengan kondisi lampu LED hidup (dapat diperhatikan pada Gambar 10).

Selama pengujian berlangsung, durasi waktu pengujian baterai alternatif dapat dilakukan dengan mengkonversi waktunya terlebih dahulu (dapat diamati pada Tabel I):

$$H = \frac{29569 \text{ detik}}{3600 \text{ detik/jam}} \quad (8)$$

$$H \approx 8,2136 \text{ jam}$$

Pertama, tentukan resistansi LED menggunakan rumus Ohm:

$$P = V \times I \quad (9)$$

$$0,5 \text{ Watt} = 3 \text{ Volt} \times I$$

$$I = \frac{0,5 \text{ Watt}}{3 \text{ Volt}}$$

$$I \approx 0,1667 \text{ A}$$

Kemudian, untuk menghitung resistansi LED:

$$V = I \times R \quad (10)$$

$$3 \text{ Volt} = 0,1667 \text{ A} \times R$$

$$R = \frac{3 \text{ Volt}}{0,1667 \text{ A}}$$

$$R \approx 18 \Omega$$

Setelah mengetahui resistansi LED, dapat menggunakan data tegangan untuk menghitung arus yang mengalir melalui LED pada setiap titik waktu.

$$I = \frac{V}{R} \quad (11)$$

Pada 0 detik

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{4,17 \text{ Volt}}{18 \Omega} \approx 0,232 \text{ A}$$

Pada 5 detik

$$I_5 = \frac{V_5}{R} = \frac{2,54 \text{ Volt}}{18 \Omega} \approx 0,141 \text{ A}$$

Pada 10 detik

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{R} = \frac{2,53 \text{ Volt}}{18 \Omega} \approx 0,140 \text{ A}$$

dan seterusnya.

Hal ini menyatakan bahwa arus dalam suatu rangkaian listrik sebanding dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan resistansi (hambatan). Akibatnya semakin meningkat tegangan yang diberikan maka arus juga akan meningkat.

Selanjutnya, untuk menghitung total energi yang dikonsumsi oleh LED selama periode waktu yang diperoleh dapat menggunakan rumus:

$$\text{Energi} = 0,5 \text{ Watt} \times t \text{ detik} \quad (12)$$

Pada 0 detik: $E_0 = 0,5 \text{ Watt} \times 0 \text{ detik} = 0 \text{ Watt/detik}$
Pada 5 detik: $E_5 = 0,5 \text{ Watt} \times 5 \text{ detik} = 2,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 10 detik: $E_{10} = 0,5 \text{ Watt} \times 10 \text{ detik} = 5 \text{ Watt/detik}$
Pada 17 detik: $E_{17} = 0,5 \text{ Watt} \times 17 \text{ detik} = 8,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 35 detik: $E_{35} = 0,5 \text{ Watt} \times 35 \text{ detik} = 17,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 120 detik: $E_{120} = 0,5 \text{ Watt} \times 120 \text{ detik} = 60 \text{ Watt/detik}$
Pada 687 detik: $E_{687} = 0,5 \text{ Watt} \times 687 \text{ detik} = 343,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 719 detik: $E_{719} = 0,5 \text{ Watt} \times 719 \text{ detik} = 359,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 767 detik: $E_{767} = 0,5 \text{ Watt} \times 767 \text{ detik} = 383,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 15167 detik: $E_{15167} = 0,5 \text{ Watt} \times 15167 \text{ detik} = 7583,5 \text{ Watt/detik}$
Pada 29569 detik: $E_{29569} = 0,5 \text{ Watt} \times 29569 \text{ detik} = 14784,5 \text{ Watt/detik}$

Total energi yang dikonsumsi oleh LED selama periode waktu tersebut adalah jumlah dari energi yang dikonsumsi pada setiap titik waktu:

$$\begin{aligned} \text{Total Energi} &= \sum E_i \quad (13) \\ \text{Total Energi} &= 0 + 2,5 + 5 + 8,5 + 17,5 + 60 + 343,5 + 359,5 + 383,5 + 7583,5 + 14784,5 \\ \text{Total Energi} &= 23548 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Setelah itu, untuk menghitung kapasitas baterai yang diperlukan agar LED dapat bertahan selama 8,2 jam menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{AH} &= \frac{W \times H}{V} \quad (14) \\ \text{AH} &= \frac{0,5 \text{ Watt} \times 8,2 \text{ Jam}}{3 \text{ Volt}} \\ \text{AH} &= \frac{4,1}{3} \\ \text{AH} &\approx 1,3667 \\ \text{AH} &= 1,4 \end{aligned}$$

Keterangan:

AH = kapasitas baterai dalam Ampere-hour (Ah)
W = daya yang dikonsumsi oleh LED dalam Watt
H = waktu yang diinginkan LED untuk bertahan dalam jam
V = tegangan baterai dalam Volt

Jadi, kapasitas baterai yang diperlukan agar LED dapat bertahan selama 8,2 jam dengan daya LED 0,5 Watt dan tegangan 3 Volt adalah sekitar 1,4 Ah. Pengujian ini dirangkai secara seri untuk meningkatkan tegangan serta memperkuat daya tahan arus baterai alternatif air garam.

F. KEMAMPUAN BATERAI DAPAT TERISI OLEH PANEL SURYA

Panel surya mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik melalui efek *photovoltaic*, yang kemudian digunakan untuk mengisi baterai. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan baterai meningkat dari 2,45 Volt menjadi 6 Volt setelah diisi ulang oleh panel surya walaupun belum optimal. Peningkatan tegangan ini disebabkan oleh energi listrik dari panel surya yang dialirkan melalui *solar charge controller* dan *adjustable step-down DC-DC converter* ke baterai, yang menghasilkan reaksi kimia (sel volta) di dalam baterai, memisahkan muatan listrik, dan menghasilkan potensial listrik yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya dengan komponen pendukungnya (*solar charge controller* dan *adjustable step-down DC-DC converter*) efektif dalam mengisi ulang baterai air garam yang menggunakan elektroda tembaga dan seng. Baterai air garam yang diisi ulang (*dicharger*) oleh panel surya dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan solusi energi yang ramah lingkungan, efisien dan murah, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi emisi karbon.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan, maka baterai alternatif ini dirancang tidak hanya dapat diisi ulang menggunakan energi surya, tetapi juga memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya untuk kebutuhan energi. Baterai alternatif dengan elektroda tembaga dan seng menunjukkan karakteristik tegangan yang cukup stabil dengan menghasilkan arus listrik DC. Pengujian baterai alternatif mampu menyuplai beban LED selama 8,2 jam. Hasil pengujian baterai alternatif memperoleh tegangan tertinggi sebesar 4,17 Volt pada konsentrasi 3 M dengan 6 sel elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang dirangkai secara seri.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Universitas Medan Area melalui dana hibah penelitian DIYA-UMA dengan skema penelitian bersama dengan No. Kontrak. 1755/LP2M/03.1.1/V/2023.

REFERENSI

- [1] R. A. Aprilianto dan R. M. Ariefianto, "Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energy (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia," *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 1–13, 2021.
- [2] A. E. Setyono dan B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *JEBT: Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, Okt. 2021. doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [3] L. Rizky, T. S. Pratiwi, A. Wibawa, dan I. Achdiyana, "Peran Negara G20 dalam Percepatan Transisi Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional," *Jurnal Ketahanan Nasional*, vol. 29, no. 3, pp. 271–290, 2023. doi: 10.22146/jkn.88751.
- [4] I. S. N. Biatmoko, "Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi Karbon Dioksida di Indonesia," *Jurnal Ilmu Ekonomi (JIE)*, vol. 7, no. 1, pp. 41–52, 2023.
- [5] A. D. Nugroho, M. S. Alim, S. Sundarai, dan G. R. Soekarno, "Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia pada Sektor Energi Terbarukan," *Cakrawala: Jurnal Litbang Kebijakan*, vol. 17, no. 2, pp. 109–125, Des. 2023. doi: 10.32781/cakrawala.v17i2.539.
- [6] S. Gautami, Mubarak, dan Y. I. Siregar, "Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Upaya Pengurangan Emisi Di Wilayah Provinsi Riau," *ZONA Jurnal Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 56–66, 2023.
- [7] Ferdyson dan J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *JEBT: Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, Sep. 2023. doi: 10.14710/jebt.2023.15714.
- [8] M. Ahsan, "Tantangan dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia," *JURNAL ILMIAH SUTET*, vol. 11, no. 2, pp. 81–93, Des. 2021. doi: 10.33322/sutet.v11i2.1575.
- [9] A. D. W. M. Sidik dkk., "Studi Potensi Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Mendukung Sistem Ketenagalistrikan di Wilayah IKN," *Jurnal Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan*, vol. 6, no. 2, pp. 137–144, 2023.
- [10] Sunardi, A. H. Su'udy, A. Cundoko, dan D. T. Istiantara, "Optimalisasi Pemanfaatan SHM (Solar Home System) Sebagai Pembangkit Energi Listrik Ramah Lingkungan," *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, vol. 17, no. 2, pp. 76–85, 2021.
- [11] A. Sa'diah dan Sudarti, "Analisis manfaat dan kendala pemakaian energi solar cell sebagai teknologi tepat guna di lingkungan masyarakat," *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, vol. 6, no. 1, pp. 115–122, Jan. 2023. doi: 10.28989/kacanegara.v6i1.1255.
- [12] M. Mungkin dan D. A. Tanjung, "Studi Filtrasi Air Belimbing Wuluh Sebagai Elektrolit Baterai Pengganti Elektrolit H₂SO₄," *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, vol. 3, no. 2, pp. 58–63, 2019.
- [13] G. Fardany, Suwdani, dan N. Fitriyanti, "Pengaruh Konsentrasi Dan Temperatur Terhadap Daya Dan Tegangan Keluaran Listrik Pada Baterai Air Garam Dengan Metode Sel Elektrokimia," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 9278–9285, 2020.
- [14] T. Winarsih, I. S. Erari, dan A. M. Muslimin, "Kajian Tentang Variasi Konsentrasi NaCl Dengan Ketersediaan Energi Listrik Pada Sel Volta Cu-Zn," *Jurnal Natural*, vol. 16, pp. 74–84, 2020.
- [15] R. S. Rinaldi, A. Indriani, dan P. Hardiniko, "Pengujian Energi Listrik Pada Baterai Air Laut Dengan Variasi Ukuran Sel dan Volume Air Laut," *Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 1, pp. 32–36, 2017. Available: <https://www.researchgate.net/publication/354897944>
- [16] G. A. Pauzi dkk., "Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO₃) sebagai Sumber Energi Alternatif," *Jurnal Fisika*, vol. 8, no. 2, pp. 78–85, 2018.
- [17] N. H. Saputra, S. H. Wisudo, M. Riyanto, dan A. Susanto, "Penggunaan Elektroda Tembaga dan Seng Dengan Elektrolit Air Laut Untuk Sumber Energi Lampu LED-DIP," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol. 10, no. 2, pp. 135–147, Nov. 2019, doi: 10.24319/jtpk.10.135-147.
- [18] M. Mungkin dan T. Ikhsan, "Filtrasi Jeruk Nipis Yang Ditambahkan NaCl + Na-EDTA Sebagai Elektrolit Baterai Dengan Charger Solar Cell," *Jurnal Saintika*, vol. 16, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [19] Masthura dan Abdullah, "Pemanfaatan Sari Nenas Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembuatan Bio-Baterai," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 51–58, Feb. 2021, doi: 10.22373/crc.v5i1.8494.
- [20] N. Fitrya, P. Halwani, dan S. P. Wirman, "Uji Karakteristik Elektrolit Ampas Kulit Nanas dengan Penambahan MgCl₂, NaCl, dan KCl," *Photon: Jurnal Sains dan Kesehatan*, vol. 13, no. 2, pp. 35–40, May 2023, doi: 10.37859/jp.v13i2.4394.
- [21] N. Yoldana, Masthura, dan A. H. Daulay, "Pengaruh Variasi Waktu Fermentasi Terhadap Kelistrikan Sel Volta Dengan Menggunakan Larutan Buah Tomat," *EINSTEIN (e-Journal): Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, vol. 10, no. 2, pp. 61–66, 2022.
- [22] H. Kamilah, T. W. DS, dan S. Maftukhah, "Pemanfaatan Buah Kedondong Dan Kulit Pisang Ambon Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif," *JIMTEK: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 142–152, 2020.
- [23] S. W. Suciyati, S. Asmarani, dan A. Supriyanto, "Analisis Jeruk dan Kulit Jeruk sebagai Larutan Elektrolit terhadap Kelistrikan Sel Volta," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 7, no. 1, pp. 7–16, 2019.
- [24] R. J. Setiawan dan I. D. Suryanto, "Pemanfaatan Ekstrak Lidah Buaya Sebagai Bio-Baterai Untuk Sumber Energi Peralatan Elektronik," *Jurnal Teknika (Jurnal Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan)*, vol. 13, no. 1, pp. 41–45, 2021, doi: 10.30736/jt.v13i1.597.
- [25] M. N. Hidayat, F. Mayrullah, dan S. Wibowo, "Pemodelan Baterai Air Garam Dan Pengujian Salinitas Elektrolit Berbasis PLC," *Jurnal ELTIKOM: Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 226–238, Nov. 2022, doi: 10.31961/eltikom.v6i2.577.