

PENGARUH KONSENTRASI NaCl PADA PEMANFAATAN LIMBAH BATERAI ZINC-KARBON UNTUK MENYALAKAN LED 2 WATT

Martua Manik^{*)}, Anita Nurfida, Nur Arifiya dan Taridi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri dan Komputer,
Universitas Indraprasta PGRI, Indonesia

^{*)}Penulis korespondensi, E-mail: martua.manik@unindra.ac.id

Abstrak

Baterai zinc-carbon adalah baterai primer yang menghasilkan listrik melalui reaksi redoks dan banyak digunakan pada alat elektronik rumah tangga karena murah dan praktis. Baterai ini bersifat sekali pakai, sehingga setelah energinya habis menjadi limbah yang mengandung logam berat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan, jika dibuang tanpa pengelolaan yang tepat. Namun, limbah baterai dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi listrik dengan penambahan larutan elektrolit tertentu. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh variasi konsentrasi larutan Natrium Klorida (NaCl) terhadap peningkatan tegangan listrik daur ulang baterai zinc-carbon untuk menyalakan lampu LED 2 Watt. Metode eksperimen digunakan dengan menambahkan variasi konsentrasi larutan Natrium Klorida (NaCl) sebesar 5%, 10%, dan 15% yang dituangkan ke dalam pasta arang karbon dari daur ulang baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan larutan garam 15% menghasilkan tegangan tertinggi, sebesar 3,60 Volt, serta mampu menyalakan lampu LED selama 14 jam. Disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaCl, semakin besar tegangan yang dihasilkan dan semakin lama daya tahan daur ulang baterai untuk menyalakan lampu LED. Selain itu, pemanfaatan kembali daur ulang baterai dengan metode ini dapat mengurangi limbah baterai dan dampak pencemaran lingkungan.

Kata kunci: Energi listrik, limbah baterai, NaCl, zinc-carbon

Abstract

Zinc-carbon batteries are primary batteries that produce electricity through redox reactions and are widely used in household electronics because they are cheap and practical. These batteries are disposable, so after the energy runs out, they become waste containing heavy metals that are harmful to the environment and health, if disposed of without proper management. However, waste batteries can be reused as a source of electrical energy with the addition of certain electrolyte solutions. This study aims to examine the effect of varying the concentration of Sodium Chloride (NaCl) solution on increasing the voltage of recycled zinc-carbon batteries to power 2-Watt LED lights. The experimental method was used by adding variations in the concentration of sodium chloride (NaCl) solution of 5%, 10%, and 15% poured into carbon charcoal paste from recycled batteries. The results showed that the addition of 15% salt solution produced the highest voltage, 3.60 Volts, and was able to light the LED lamp for 14 hours. It was concluded that the higher the concentration of NaCl solution, the greater the voltage produced and the longer the durability of the recycled battery to power LED lights. In addition, the reuse of recycled batteries with this method can reduce battery waste and the impact of environmental pollution.

Keywords: Electrical energy, battery waste, NaCl, zinc-carbon

1. Pendahuluan

Baterai zinc-carbon merupakan salah satu jenis baterai primer yang banyak diaplikasikan dalam perangkat elektronik rumah tangga, karena harganya yang terjangkau dan kemudahan penggunaannya. Namun, baterai ini memiliki sifat sekali pakai dan setelah habis masa pakainya, sering kali dibuang begitu saja sehingga berpotensi mencemari lingkungan [1]. Limbah baterai zinc-carbon mengandung logam berat seperti logam seng, mangan, merkuri, cadmium, dan timbal, yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, tanah

dan air apabila tidak dikelola secara tepat [2]. Dampak jangka panjang, paparan dapat menimbulkan efek buruk bagi kesehatan, termasuk gangguan saraf, masalah reproduksi, dan peningkatan risiko kanker [3][4]. Di sisi lain, rendahnya kesadaran masyarakat terhadap regulasi limbah B3 turut menghambat upaya pengurangan limbah berbahaya [5]. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi efektif untuk mengatasi permasalahan ini.

Solusi penyelesaian permasalahan tersebut menarik perhatian banyak peneliti, salah satunya dengan cara mengganti pasta kering baterai menggunakan bahan yang

lebih ramah lingkungan sebagai bahan alternatif energi [4]. Inovasi dibidang biobaterai, seperti pemanfaatan daun singkong [6], serbuk kayu merbau [2], tanaman lidah buaya [3], limbah kulit udang [7], kulit pisang [8], limbah tomat busuk dan ampas kelapa [9], menunjukkan potensi sebagai sumber alternatif energi listrik. Hasil dari berbagai studi ini menegaskan bahwa bahan-bahan alami tersebut memiliki potensi sebagai sumber energi ramah lingkungan yang dapat menggantikan pasta baterai konvensional.

Salah satu solusi efektif adalah dengan mengaktifkan kembali limbah baterai dengan menambahkan cairan elektrolit. Larutan Natrium Clorida (NaCl) adalah salah satunya yang berfungsi sebagai elektrolit dalam larutan, karena mampu terionisasi menjadi ion natrium (Na^+) dan ion klorida (Cl^-) saat dilarutkan dalam air [10]. Ion-ion ini meningkatkan konduktivitas listrik dalam larutan, memungkinkan pergerakan elektron antara anoda dan katoda dalam sel elektrokimia. Larutan NaCl memiliki sifat konduktif yang dapat meningkatkan reaksi elektrokimia di dalam baterai, sehingga memungkinkan baterai bekas untuk digunakan kembali dalam waktu tertentu.

Uraian diatas didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yang berhasil mengembangkan baterai dengan memanfaatkan campuran air laut dan garam sebagai elektrolit, serta menggunakan pasangan elektroda tembaga dan aluminium sebagai katoda dan anoda [11]. Kombinasi ini mampu menghasilkan tegangan hingga 3,6 Volt, yang cukup untuk menyalakan lampu LED berdaya 2 Watt. Penambahan larutan NaCl dan cuka apel pada pasta pisang kapok sebagai pasta baterai dapat meningkatkan tegangan dan arus listrik biobaterai [12]. Selain itu, keberadaan larutan NaCl juga berkontribusi dalam memperpanjang masa pakai baterai, sehingga meningkatkan efisiensi kinerja biobaterai. Sementara itu, penelitian lain mengeksplorasi penggunaan variasi air aki zuur (H_2SO_4) sebagai elektrolit kuat, dan menunjukkan bahwa penambahan 15 ml H_2SO_4 mampu menyalakan lampu LED 2 Watt dengan cahaya terang selama 34 jam [13].

Berdasarkan literatur diatas, fokus terhadap tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi larutan Natrium Clorida (NaCl) terhadap tegangan listrik yang dihasilkan terhadap pemanfaatan kembali limbah baterai zinc-carbon dalam menyalakan lampu LED 2 Watt.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan dua variabel utama, yaitu variabel bebas berupa variasi konsentrasi larutan NaCl dan variabel terikat yang mencakup pengukuran tegangan, kuat arus, serta daya listrik terhadap beban lampu LED 2 Watt.

2.1. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan tiga baterai zinc-carbon tipe D baru sebagai pembanding dan sembilan baterai bekas yang diolah kembali. Katoda berupa batang karbon dari baterai bekas, anoda dari skrup baja ringan bekas, dan pasta kering menggunakan arang karbon. Wadah baterai berasal dari botol plastik bekas berukuran 2,8 cm × 8 cm, seperti pada Gambar 1.

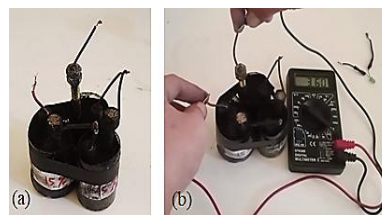


Gambar 1. Spesimen Penelitian

Komponen tambahan yang digunakan meliputi kawat tembaga, kabel listrik, lampu LED 2 Watt, timah, air, dan garam dapur (NaCl). Sementara itu, peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini mencakup wadah plastik, palu, alat suntikan, tang, saringan, timbangan, sendok makan, serta alat ukur voltmeter untuk pengujian.

2.2. Prosedur Penelitian

Proses dimulai dengan membongkar baterai bekas untuk memperoleh batang dan arang karbon. Arang dihancurkan, disaring, lalu dimasukkan ke wadah plastik sebanyak 20 gram. Batang karbon dan skrup yang terhubung kabel ditempatkan dalam wadah, lalu diukur tegangannya, seperti disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pembuatan Baterai: (a) Daur Ulang Baterai, (b) Pengukuran Tegangan

Langkah selanjutnya, siapkan 20 ml air untuk setiap sampel uji, kemudian ditambahkan variasi garam sebanyak 1 gr, 2 gr dan 3,5 gr. Untuk mendapatkan nilai % larutan NaCl dapat menggunakan Persamaan 1 [10].

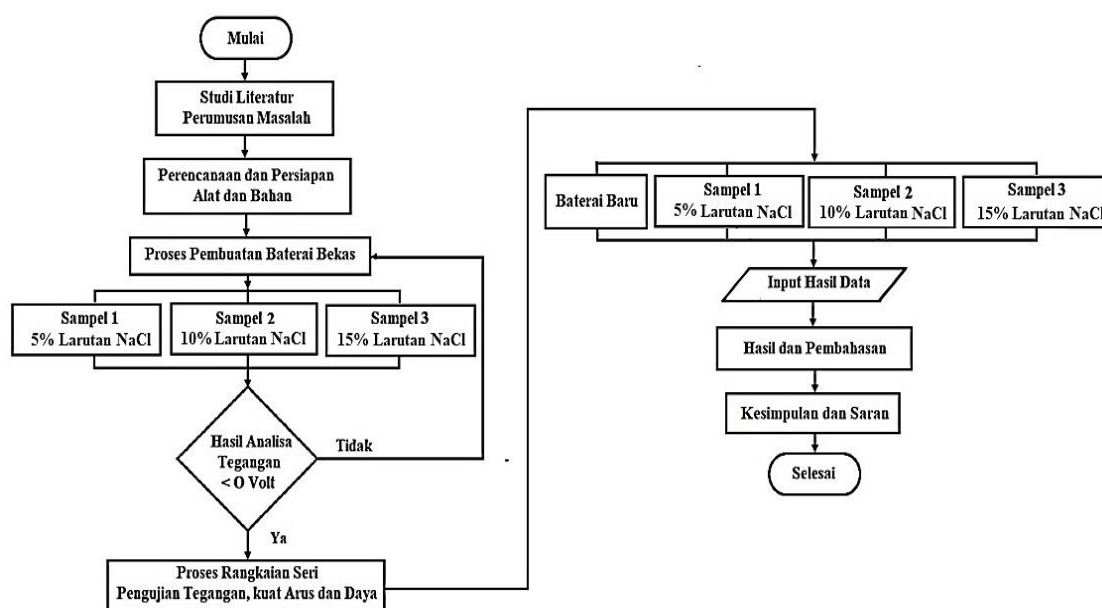
$$\% \text{larutan garam} = \left(\frac{m_{\text{garam}}}{m_{\text{garam}} + \text{Vol air}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

% larutan = persentasi komposisi larutan (%)

m garam = massa garam (gram)

Vol air = Volume air (mL)



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan perhitungan (1), diperoleh variasi konsentrasi larutan garam sebesar 5%, 10%, dan 15%. Setiap sampel kemudian dirangkai seri dan diuji untuk menyalakan lampu LED 2 Watt, meliputi pengukuran tegangan, arus, dan daya menggunakan Persamaan (2) [14].

$$P = V \times I \quad (2)$$

Dimana:

P = daya (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = kuat arus (Ampere)

Pengujian masa pakai anatar baterai baru dan daur ulang baterai dilakukan hingga lampu padam, menandakan energi habis. Setelah pengujian selesai, dilakukan analisis data dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh. Rangkaian tahapan penelitian ini disajikan secara lebih rinci pada Gambar 3.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Baterai

Vairiabel	Kode	Tegangan		Jumlah		Rata-rata	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
BB	BB-1	1,5	1,5				
	BB-2	1,5	1,5	4,5	4,5	1,50	1,50
	BB-3	1,5	1,5				
BS-1 (5%)	BS-1a	0,01	0,71				
	BS-1b	0	0,68	0,02	2,13	0,01	0,71
	BS-1c	0,01	0,74				
BS-2 (10%)	BS-2a	0,01	0,89				
	BS-2b	0	0,87	0,02	2,73	0,01	0,98
	BS-2c	0,02	0,97				
BS-3 (15%)	BS-3a	0,01	1,28				
	BS-3b	0	1,11	0,02	3,60	0,01	1,20
	BS-3c	0,01	1,21				

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Analisis Pengukuran Tegangan

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tegangan listrik yang dihasilkan oleh daur ulang baterai (BS) sebelum dan sesudah diberikan perlakuan berupa variasi larutan NaCl. Sebagai parameter perbandingan, digunakan baterai baru (BB). Pengukuran tegangan dilakukan secara akurat menggunakan voltmeter, dan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa daur ulang baterai sebelum diberikan penambahan variasi konsentrasi larutan NaCl tidak memiliki energi listrik. Penambahan 15% larutan NaCl pada sampel BS-3 menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 3,60 Volt. NaCl merupakan elektrolit kuat, berperan penting dalam memperlancar reaksi redoks sehingga dapat menghasilkan listrik [15]. Di sisi lain, baterai baru menunjukkan tegangan yang stabil sebesar 1,5 Volt sesuai dengan nilai pada label setelah dilakukan pengujian, namun tidak dapat diisi ulang. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kadar air, yang justru mendukung difusi ion secara optimal antar elektroda [16].

3.2. Hasil Analisis Pengukuran Daya

Seluruh sampel dirangkai seri dan diuji dengan lampu LED 2 Watt untuk menilai efektivitas penambahan NaCl. Gambar 4 menunjukkan bahwa perlakuan larutan garam pada daur ulang baterai dapat menyalakan LED.

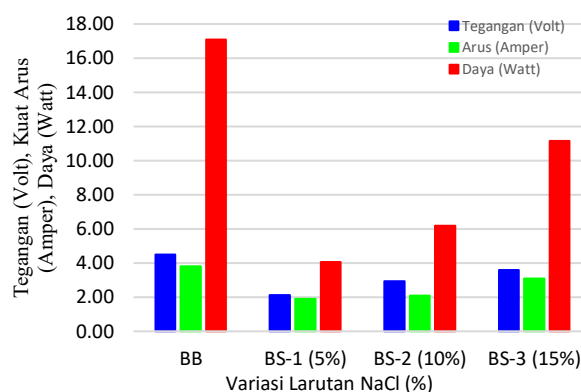
Gambar 4 menunjukkan, perlakuan variasi konsentrasi larutan NaCl terhadap daur ulang baterai mampu menghasilkan energi listrik untuk menyalakan lampu LED 2 Watt, sebagaimana tampak pada lingkaran merah. Komponen utama baterai tersebut terdiri dari batang karbon sebagai katoda, skrup sebagai anoda, serta pasta kering dari baterai bekas yang telah ditambahkan larutan NaCl. NaCl berfungsi sebagai elektrolit kuat yang terionisasi penuh menjadi ion Na^+ dan Cl^- dalam air, memungkinkan terjadinya penghantaran listrik melalui reaksi kimia [17]. Data tegangan, arus, dan daya untuk menyalakan LED tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi larutan NaCl memengaruhi hasil secara signifikan. Penambahan 20% larutan NaCl menghasilkan tegangan, arus, dan daya tertinggi (3,58 V; 3,10 A; 11,10 W), sedangkan 5% larutan NaCl menghasilkan nilai terendah (2,13 V; 1,90 A; 4,05 W) mampu menyalakan lampu LED 2 Watt. Rincian selengkapnya ditampilkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan baterai baru memiliki tegangan 4,5 Volt, sedangkan baterai daur ulang tertinggi 3,58 Volt (NaCl 15%) dan terendah 2,13 Volt (NaCl 5%) dalam kondisi seluruh sampel mampu menyalakan lampu LED 2 Watt. NaCl sebagai elektrolit kuat mendukung reaksi redoks [11]. Hal ini dibuktikan dengan tegangan rangkaian mencapai minimal 2 Volt, cukup untuk menyalakan LED yang mulai aktif pada 1,8 Volt, dengan arus sebesar 200–250 mA sesuai kebutuhan daya 2 Watt. Kenaikan konsentrasi elektrolit meningkatkan tegangan dan cahaya, namun jika tidak tepat dapat menurunkan efisiensi dan memicu korsleting[13].

Tabel 2. Hasil Pengukuran Daya Baterai

Vairiabel	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)	Keterangan Lampu
BB	4,50	3,80	17,10	Terang
BS-1 (5%)	2,13	1,90	4,05	Terang
BS-2 (10%)	2,94	2,10	6,17	Terang
BS-3 (15%)	3,60	3,10	11,20	Terang



Gambar 5. Hasil Pengukuran Baterai Daur Ulang

3.3. Hasil Analisis Pengukuran Daya

Untuk mendapatkan nilai yang optimal, pengujian dilakukan dengan membandingkan daya tahan dan efisiensi energi, baterai baru dan daur ulang limbah baterai, diuji hingga tidak lagi mampu menyalakan lampu LED 2 Watt menggunakan alat ukur voltmeter. Hasil pengujian lengkap disajikan pada Tabel 3.



Gambar 4. Hasil Pembuatan Baterai Daur Ulang

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Energi Baterai

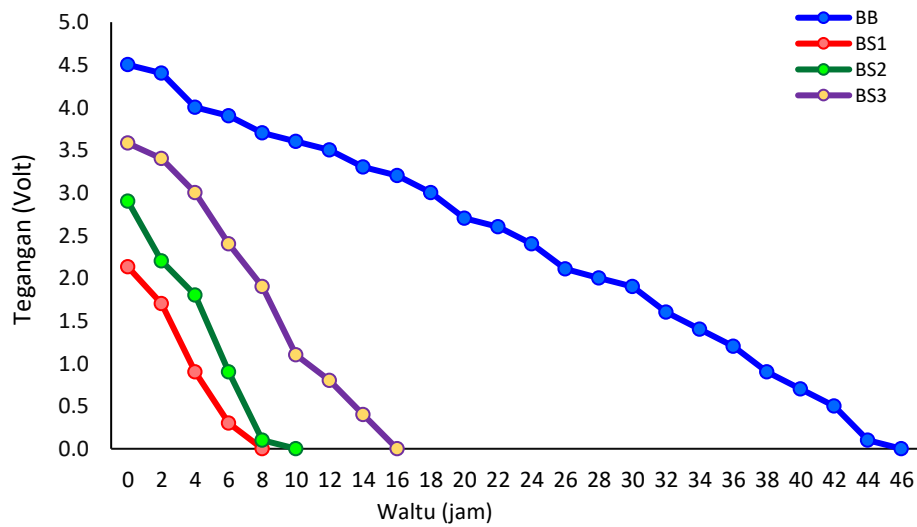
Waktu (jam)	Tegangan (Volt)				Kuat Arus (Amper)				Daya (Watt)			
	BB	BS1	BS2	BS3	BB	BS1	BS2	BS3	BB	BS1	BS2	BS3
0	4,5	2,1	2,9	3,6	3,8	1,9	2,1	3,1	17,1	4,0	6,1	11,2
2	4,4	1,7	2,2	3,4	3,5	1,1	1,7	2,7	15,4	1,9	3,7	9,2
4	4,0	0,9	1,8	3,0	3,4	0,5	1,1	2,1	13,6	0,5	2,0	6,3
6	3,9	0,3	0,9	2,4	3,2	0,0	0,8	1,8	12,5	0,0	0,7	4,3
8	3,7	0,0	0,1	1,9	3,1		0,3	1,1	11,5		0,0	2,1
10	3,6		0,0	1,1	3,0		0,0	0,6	10,8			0,7
12	3,5			0,8	2,9			0,1	10,2			0,1
14	3,3			0,4	2,9			0,0	9,6			0,0
16	3,2			0,0	2,8				9,0			
18	3,0				2,6				7,8			
20	2,7				2,4				6,5			
22	2,6				2,2				5,7			
24	2,4				2,0				4,8			
26	2,1				1,8				3,8			
28	2,0				1,6				3,2			
30	1,9				1,4				2,7			
32	1,6				1,0				1,6			
34	1,4				0,9				1,1			
36	1,2				0,8				1,0			
38	0,9				0,4				0,4			
40	0,7				0,1				0,1			
42	0,5				0,0				0,0			
44	0,1											
46	0,0											

Tabel 3 menunjukkan bahwa baterai baru (BB) memiliki tegangan awal sebesar 4,5 Volt, yang secara bertahap menurun hingga 46 jam dan tidak lagi mampu menyalakan lampu, akibat konsumsi energi oleh beban. Sementara itu, sampel BS-3 hasil baterai daur ulang dengan penambahan 15% larutan NaCl menunjukkan tegangan awal tertinggi sebesar 3,58 Volt, secara bertahap tegangan turun hingga 16 jam dan tidak lagi mampu menyalakan lampu LED. Baterai daur ulang lebih cepat habis karena terbatasnya reaktan redoks, degradasi komponen, dan elektrolit yang kurang optimal, meskipun reaksi masih berlangsung dengan bantuan larutan NaCl. Visualisasi perubahan tegangan ditampilkan pada Gambar 6.

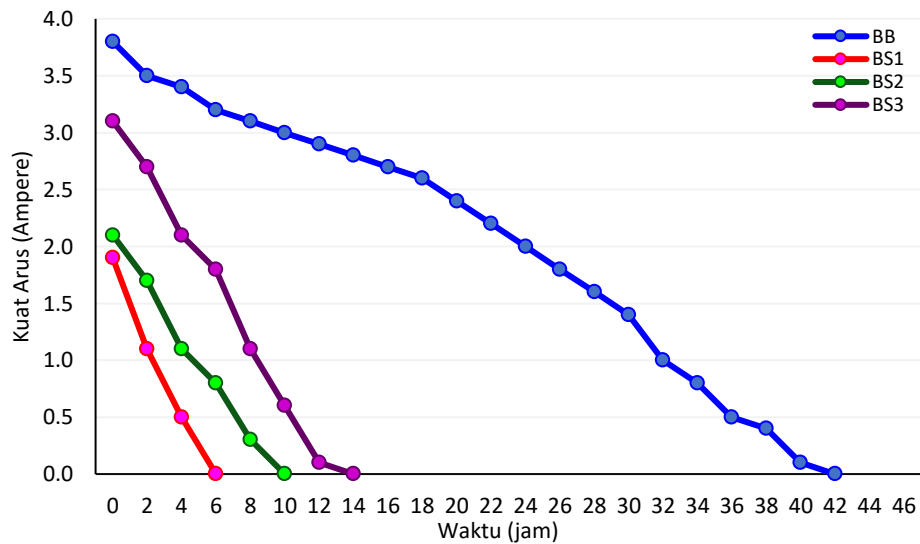
Gambar 6 menunjukkan penurunan tegangan selama pengujian baterai. Baterai baru memiliki tegangan awal 4,5 Volt dan mampu menyalakan LED sebelum padam total hingga 46 jam, akibat beban daya yang dibutuhkan untuk menyalakan lampu LED. Pada pengujian daur ulang baterai, tercatat sampel BS-3 adalah tertinggi dengan 15% larutan NaCl, memiliki tegangan sebesar 3,60 Volt dan tegangan hilang sepenuhnya setelah 16 jam. Sedangkan, nilai terendah terjadi pada sampel BS-1 dengan 5% larutan NaCl sebesar 2,1 Volt dan tegangan hilang sepenuhnya setelah 8 jam. Penambahan variasi konsentrasi larutan NaCl sebagai elektrolit berpengaruh terhadap nilai tegangan dan arus, namun harus tetap berada dalam batas optimal untuk menjaga intensitas cahaya LED. Baterai menghasilkan arus searah (DC) yang stabil selama muatan tersedia, dan membutuhkan elektrolit sebagai sumber energi tambahan untuk mendukung kuat arus. Pengukuran data arus ditampilkan pada Gambar 7.

Gambar 7 mengilustrasikan perbedaan signifikan terhadap pengukuran kuat arus antara baterai baru dan daur ulang baterai. Baterai baru menghasilkan arus puncak sebesar 3,8 Ampere dan mampu menyalakan LED terang sebelum padam total hingga 42 jam, akibat sumber energi telah habis. Pengukuran kuat arus pada daur ulang baterai, tercatat sampel BS-3 adalah tertinggi dengan 15% larutan NaCl sebesar 3,1 Ampere dan terus mengalami penurunan hingga 42 jam dalam kondisi lampu LED telah mati. Sedangkan, nilai terendah terjadi pada sampel BS-1 dengan 5% larutan NaCl sebesar 1,9 Ampere. Intensitas cahaya meningkat seiring besarnya arus yang mengalir, hal ini berbanding lurus dengan nilai tegangan untuk menghasilkan daya untuk menyalakan lampu LED 2 Watt [18]. Sebaliknya, penurunan nilai tegangan sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai kuat arus hingga energi dalam baterai habis [13]. Pengukuran data konsumsi daya disajikan pada Gambar 8.

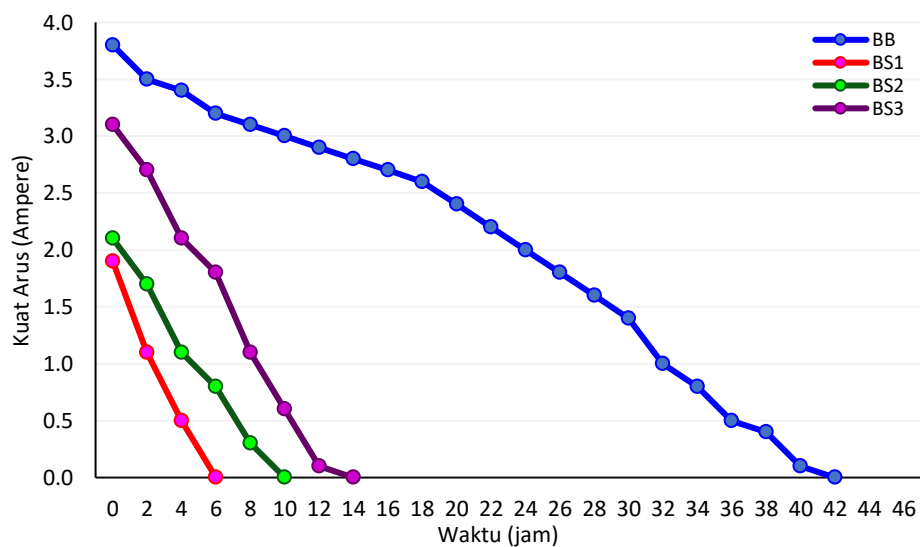
Gambar 8 menunjukkan penurunan daya baterai yang signifikan hingga lampu LED padam. Pengukuran awal daya pada baterai baru (BB) sebesar 11,2 Watt, yang habis sepenuhnya dalam 42 jam. Daur ulang baterai dengan larutan NaCl 15% (BS-3) menghasilkan daya tertinggi 6,1 Watt dan bertahan 14 jam, sementara NaCl 5% (BS-1) menghasilkan daya terendah 4 Watt dan bertahan 6 jam. Dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi larutan NaCl pada daur ulang baterai dapat mendukung pengoperasian lampu LED 2 Watt, meskipun durasinya lebih pendek dibandingkan baterai baru.



Gambar 6. Hasil Pengukuran Tegangan Baterai



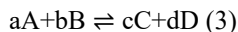
Gambar 7. Hasil Pengukuran Kuat Arus Baterai



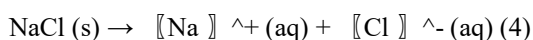
Gambar 8. Hasil Pengujian Daya Baterai

3.4. Hasil Analisis Reaksi Kimia

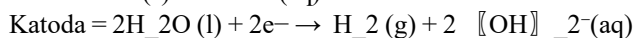
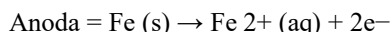
Kesetimbangan kimia tercapai saat laju reaksi maju dan balik setara, sehingga konsentrasi zat tetap konstan. Arah kesetimbangan dipengaruhi oleh konsentrasi, tekanan, volume, dan suhu, serta dianalisis melalui Persamaan 3 [10].



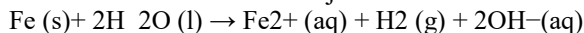
Reaksi kimia yang terjadi ketika garam (NaCl) dilarutkan dalam air (H₂O) tidak terjadi pembentukan senyawa baru, melainkan hanya proses disosiasi yang menghasilkan ion-ionnya, berikut reaksinya:



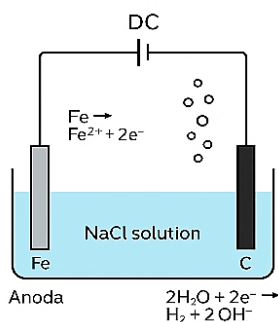
Larutan garam (NaCl) adalah senyawa ionik yang terdiri dari ion Na⁺ (kation natrium) dan Cl⁻ (anion klorida). Ketika NaCl masuk ke dalam air, gaya tarik antara ion-ion ini melemah karena interaksi dengan molekul air. Pada penelitian ini elektrolisis larutan garam (NaCl) dihubungkan dengan karbon (C) sebagai katoda dan besi (Fe) sebagai anoda dapat menghasilkan listrik DC, berikut reaksi yang terjadi:



Maka reaksi keseluruhan menjadi:



Hasil reaksi diatas diperjelas pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema Sel Volta

Gambar 9 menunjukkan prinsip kerja sel galvanic (sel volta) dengan larutan NaCl sebagai elektrolit, di mana elektroda besi (Fe) berperan sebagai anoda dan karbon (C) sebagai katoda [19]. Dalam sistem ini terjadi reaksi redoks spontan yang menghasilkan arus listrik. Di anoda, besi mengalami oksidasi menjadi ion Fe²⁺, sementara di katoda, air mengalami reduksi menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida. Gas hidrogen terbentuk di permukaan katoda dalam bentuk gelembung, sementara peningkatan konsentrasi OH⁻ menyebabkan larutan menjadi bersifat basa [20].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan larutan NaCl dengan konsentrasi lebih tinggi dapat meningkatkan tegangan listrik. Konsentrasi larutan NaCl 15% menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 3,60 Volt dan mampu menyalakan lampu LED 2 Watt selama 14 jam, meskipun durasinya lebih pendek dibandingkan baterai baru. Pendekatan ini menawarkan cara yang mudah dan ramah lingkungan untuk memanfaatkan baterai daur ulang sebagai sumber energi alternatif. Meski demikian, penggunaan elektrolit harus dikontrol dengan baik, karena kadar yang terlalu rendah atau berlebih dapat menurunkan kinerja dan menimbulkan risiko korsleting pada baterai.

Referensi

- [1]. R. Nurcahyo, A. T. Setyoko, and M. Habiburrahman, *Pengelolaan Limbah Baterai Bekas sebagai Limbah B3*, no. April. 2023.
- [2]. D. Ernawati, M. Arifudin, and S. B. Husodo, "Baterai Ramah Lingkungan dari Limbah Serbuk Kayu Merbau (Intsia bijuga) dan Matoa (Pometia sp.)," *J. Ilmu Teknol. Kayu Trop.*, vol. 17, no. 1, pp. 83–89, 2019.
- [3]. R. J. Setiawan and I. D. Suryanto, "Utilization of Aloe Vera Extract As Bio-Battery for Energy," *J. Tek. (Jurnal Fak. Tek. Univ. Islam Lamongan)*, vol. 13, no. July, pp. 41–45, 2021, doi: 10.30736/jt.v13i.597.
- [4]. A. P. Alifah, T. D. Auliya, E. Abimanyu, R. Fenaldo, and Maulana, "Alternatif Energi Listrik dari Kulit Pisang," *Kumpul. Karya Tulis Ilm. Tingkat Nas.*, vol. 1, no. 1, pp. 221–230, 2022.
- [5]. F. H. Santoso and N. Halomoan, "Kajian Pengelolaan Limbah Baterai Sekali Pakai Dari Kegiatan Rumah Tangga Di Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat," *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 8, no. 1, pp. 117–130, 2022, doi: 10.20527/jukung.v8i1.13032.
- [6]. A. Aritonang, "Pemanfaatan Daun Singkong (Manihot Utilissima) Sebagai Pengganti Sebagian Karbon pada Baterai 1,5 volt," Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, 2021.
- [7]. D. A. Allam, S. M. Jannah, and L. N. Fitriani, "Alternatif Anoda Limbah Kulit Udang dan Cangkang Telur," *Med. Tek. J. Tek. Elektromedik Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 2–9, 2021, doi: 10.18196/mt.v2i2.10721.
- [8]. R. K. Asharo, F. Khaleyla, C. T. Rahmadi, and A. K. Putri, "Pengolahan Limbah Kulit Pisang Menjadi Biobaterai Sebagai Energi Alternatif Ramah Lingkungan Warga Sidotopo Wetan, Surabaya," *Disem. J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 122–132, 2022, doi: 10.33830/diseminasiabdimas.v4i1.2299.
- [9]. L. Rohmawati and A. Y. Komariyah, "Pemanfaatan Limbah Tomat Busuk dan Ampas Kelapa sebagai Baterai Alami yang Ramah Lingkungan," *Semin. Nas. Fis.*, pp. 161–165, 2021.
- [10]. R. Chang, *Buku Kimia Dasar*, Edisi Ket., vol. jilid 2. Jakarta: Erlangga, 2004.
- [11]. Z. Anisa and D. Setyaningrum, "Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Baterai Dengan Elektroda Tembaga - Aluminium," *Sainmatika J. Ilm. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 19, no. 2, pp. 156–162, 2022, doi: 10.31851/sainmatika.v19i2.9583.

- [12]. M. Sarah, E. R. Zelfi, M. P. Kuswara, and I. M. Hasibuan, "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) sebagai Larutan Elektrolit dan pH Bahan Baku dalam Pembuatan Biobaterai Kering Berbasis Limbah Kulit Pisang Kepok," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 13, no. 1, pp. 32–39, 2024, doi: 10.32734/jtk.v13i1.11622.
- [13]. A. Nurfida, M. Manik, and M. Zainudin, "Pemanfaatan Limbah Baterai Zink Karbon Dengan Menambahkan Air Aki Zuur Untuk Menyalakan Lampu LED 2 WAatt," *Sinergi Polmed J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 06, no. 01, pp. 67–74, 2025.
- [14]. R. Blocher, *Dasar Elektroniko*, Ed II. ANDI Yogyakarta, 2003.
- [15]. Moranain and Denny, "Studi Filtrasi Air Belimbing Wuluh Sebagai Elektrolit Baterai Pengganti Elektrolit H₂SO₄," *J. Kim. Saintek dan Pendidik.*, vol. III, no. 2, pp. 58–63, 2019.
- [16]. A. Partana, Fajar Crys., Wiyarsi, *Kimia Mari Belajar untuk SMA-MA Kelas XII IPA*. 2009.
- [17]. E. D. Lustiyati, J. Farida, and Sugiyarto, *Aktif Belajar Kimia*. Jakarta: Depatemen Pendidikan Nasional, 2009.
- [18]. S. Winder, *Power Supplies for LED Drivers*. Newnes, 2016.
- [19]. J. A. Rogers, A. A. Maznev, M. J. Banet, and K. A. Nelson, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2th Edisio., vol. 30. New York: Wiley, 2000.
- [20]. P. Atkins and J. de Paula, *Physical Chemistry*, 9th ed., New York: Oxford University Press, 2010.