

STUDI PEMANFAATAN BIOARANG HASIL KARBONISASI CANGKANG KELAPA SAWIT TERAKTIVASI SEBAGAI BAHAN BAKU BIO BATERAI

Syakila Aldini¹, Aida Syarif², Indah Pratiwi³

syakilaaldini11@gmail.com¹

Politeknik Negeri Sriwijaya

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah padat biomassa menjadi bioarang yang diaktivasi dan digunakan dalam pembuatan bio baterai ramah lingkungan. Proses dimulai dengan karbonisasi cangkang pada variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, dilanjutkan aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M. Bioarang yang dihasilkan dianalisis menggunakan analisa proksimat dan pengukuran bilangan iodin untuk menilai tingkat aktivasi atau kapasitas adsorpsi dari karbon aktif. Bio baterai disusun menggunakan elektroda Al-Cu serta larutan elektrolit KOH dengan konsentrasi bervariasi (0,5 M, 1 M, dan 1,5 M), dan diuji untuk mengetahui tegangan, arus, serta daya listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini didapat hasil pada suhu 400°C, tegangan berkisar antara 1,254–1,398 V, arus 0,00217–0,00418 A, dan daya 0,002795–0,005773 W. Suhu 500°C menghasilkan tegangan 1,116–1,381 V, arus 0,00226–0,00417 A, dan daya 0,00252–0,00555 W. Sementara suhu karbonisasi 600°C menunjukkan performa terbaik, dengan tegangan 1,307–1,415 V, arus 0,00298–0,00412 A, dan daya 0,00395–0,00575 W. Kondisi optimum diperoleh pada suhu karbonisasi 600°C, aktivasi NaOH 1 M, dan elektrolit KOH 1,5 M, menghasilkan tegangan maksimum 1,415 V, arus 0,00380 A, dan daya 0,00538 W. Kombinasi tersebut memberikan performa optimal karena struktur karbon yang lebih matang dan pori-pori aktif yang berkembang sempurna. Penelitian ini membuktikan bahwa cangkang kelapa sawit dapat dikembangkan sebagai bahan karbon aktif dalam bio baterai yang efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Cangkang Kelapa Sawit, Karbonisasi, Bioarang, Aktivasi NaOH, Bio Baterai.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, masih sangat bergantung pada energi fosil seperti batubara. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2013), sekitar 60% cadangan batubara nasional termasuk dalam kategori peringkat rendah, seperti lignit, yang banyak tersebar di wilayah Sumatera. Ketergantungan terhadap energi fosil ini membawa berbagai dampak negatif, seperti pencemaran lingkungan dan ketidakpastian ketersediaan di masa depan. Oleh sebab itu, dibutuhkan upaya untuk mengembangkan energi alternatif yang tidak hanya bersifat terbarukan tetapi juga efisien serta dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan biomassa, terutama yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Biomassa di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar, dengan estimasi mencapai 146,7 juta ton per tahun. Sebagian besar berasal dari limbah kelapa sawit, tebu, kelapa, dan kayu, yang tersebar luas di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Cangkang kelapa sawit, sebagai salah satu limbah padat dari industri pengolahan minyak sawit, memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen-komponen ini berpotensi tinggi dalam menghasilkan karbon setelah melalui proses karbonisasi.

Proses karbonisasi merupakan metode pembakaran biomassa dalam kondisi terbatas oksigen pada suhu tinggi untuk menghasilkan bioarang. Bioarang yang terbentuk dapat ditingkatkan kualitasnya melalui proses aktivasi kimia, salah satunya menggunakan larutan NaOH, untuk membuka struktur pori sehingga menghasilkan karbon aktif yang memiliki luas permukaan dan daya adsorpsi tinggi. Karbon aktif ini dapat dimanfaatkan sebagai penyangga elektrolit dalam pembuatan bio baterai yang ramah lingkungan. Seiring berkembangnya kebutuhan akan energi, baterai menjadi salah satu komponen penting dalam kehidupan sehari-hari.

Namun, baterai konvensional umumnya mengandung logam berat beracun seperti merkuri, timbal, dan kadmium yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Limbah baterai ini tergolong dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dan sulit untuk terurai. Oleh karena itu, perlu dikembangkan teknologi baterai alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan, salah satunya adalah bio baterai. Bio baterai merupakan jenis baterai yang memanfaatkan bahan organik sebagai komponen penyusunnya, baik sebagai elektroda maupun elektrolit. Prinsip kerja bio baterai mengacu pada reaksi elektrokimia yang terjadi dalam sel volta, di mana terjadi aliran elektron dari anoda (oksidasi) ke katoda (reduksi) melalui rangkaian luar. Dalam penelitian ini, digunakan pasangan elektroda Al–Cu serta larutan elektrolit KOH dengan berbagai konsentrasi untuk mengamati kinerja daya listrik yang dihasilkan. Penelitian sebelumnya oleh Anjasari et al. [1] menunjukkan bahwa penggunaan sari belimbing wuluh dan onggok singkong sebagai elektrolit dapat menghasilkan tegangan hingga 0,610 V, dengan penambahan NaCl sebanyak 2 gram. Sementara itu, Hanan [2] meneliti penggunaan bonggol pisang sebagai elektrolit dan memperoleh tegangan sebesar 1,596 V, dengan konsentrasi asam asetat sebagai faktor yang mempengaruhi kenaikan tegangan. Namun, dari kedua penelitian tersebut, kelemahannya terletak pada ketergantungan terhadap bahan elektrolit organik yang mudah terdegradasi serta tegangan yang dihasilkan masih berada di bawah standar baterai konvensional.

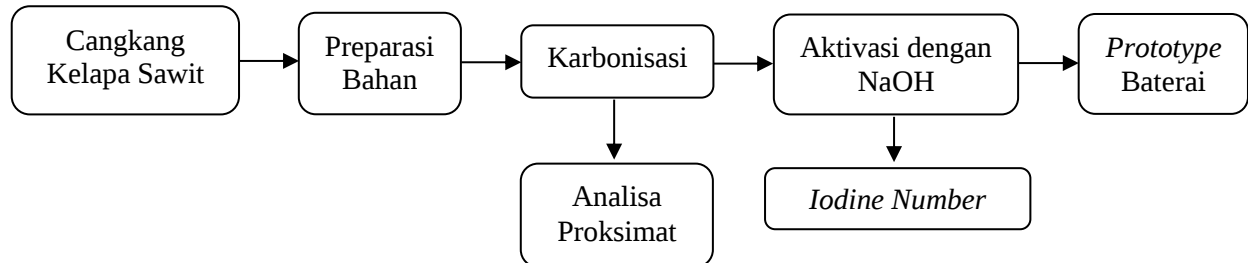
Selain itu, bahan biomassa pada penelitian terdahulu lebih banyak dimanfaatkan sebagai elektrolit, bukan sebagai penyangga elektrolit. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengembangkan pendekatan baru dalam pemanfaatan biomassa, khususnya cangkang kelapa sawit, sebagai karbon aktif yang digunakan sebagai penyangga elektrolit dalam bio baterai. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan aktivator kimia meningkatkan nilai kapasitas serapan (Taer dkk., 2020) Dengan menerapkan variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aktivator (NaOH), serta variasi konsentrasi larutan elektrolit (KOH), diharapkan dapat diperoleh bio baterai yang mampu menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang lebih optimal dan mendekati standar baterai konvensional. Selain itu, pendekatan ini juga diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah sawit dan memperluas alternatif teknologi energi terbarukan.

Penelitian ini diperkuat oleh landasan teori yang mencakup, karbonisasi sebagai proses termal untuk menghasilkan arang dari biomassa, aktivasi karbon yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dan porositas arang agar dapat menyerap lebih banyak ion dan molekul, angka iodin yang digunakan sebagai parameter untuk mengukur kemampuan adsorpsi karbon aktif, Sel Elektrokimia (Volta) yang menjadi prinsip dasar konversi energi kimia menjadi energi listrik dalam baterai, Reaksi Redoks yang menjelaskan mekanisme terjadinya aliran elektron pada baterai antara anoda (Al) dan katoda (Cu) yang dimediasi oleh larutan elektrolit (KOH). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suhu karbonisasi optimum dari cangkang kelapa sawit yang menghasilkan karakteristik proksimat bioarang terbaik, menganalisis pengaruh variasi konsentrasi

NaOH sebagai larutan activator terhadap nilai iodine bioarang teraktivasi dan mengkaji kinerja daya bio baterai (tegangan, arus, dan daya) yang dibuat dari bioarang teraktivasi dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit KOH.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa cangkang kelapa sawit yang telah dikeringkan dan dikecilkan ukuran sebagai bahan baku. Aktivator yang digunakan adalah NaOH dengan variasi konsentrasi 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M. Elektrolit yang digunakan adalah KOH dengan variasi konsentrasi 0,5 M, 1 M, dan 1,5 M

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Analisa Angka Iodin (Iodine Number) dari Bioarang Teraktivasi.

Tabel 1. Hasil Analisa Angka Iodin

Bahan Baku	Temperatur (°C)	Angka Iodin (mg/gr)		
		Aktivator NaOH		
		0,5 M	1 M	1,5 M
Cangkang Kelapa Sawit	400	733,655	996,4	1127,773
	500	865,028	996,4	996,401
	600	1653,263	2441,499	2310,126
Arang Boiler		3886,597	4543,459	4674,832

Hasil perhitungan iodine number dengan rumus sebagai berikut.

$$Iodine\ Number = \frac{(Vb - \frac{Vt \times N}{0,1}) \times 126,93 \times 5}{W}$$

Dimana:

Vb = volume titran untuk blanko (ml)

Vt = volume titran untuk sampel (ml)

0,1 = normalitas I₂

N = normalitas Na₂S₂O₃

126,93 = berat molekul iodine (gr/mol)

W = berat bioarang (gr)

Sumber: Sari., 2023

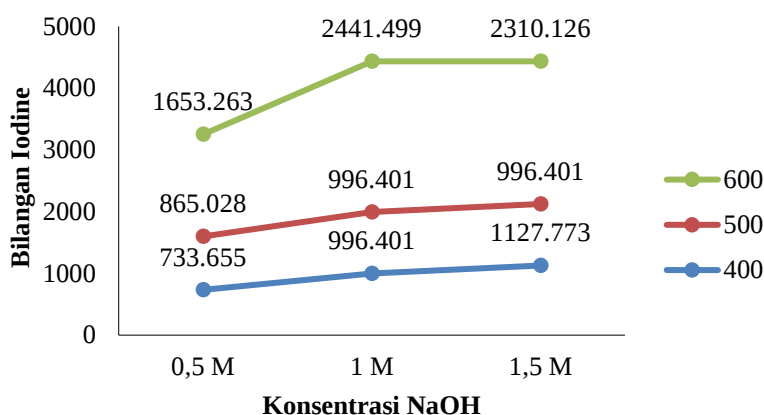
Hasil Analisa Daya Potensial Prototype Baterai

Tabel 2. Data Pengamatan Hasil Analisa Daya Potensial Baterai

Suhu (°C)	Konsentrasi Aktivator (M)	Konsentrasi Elektrolit (M)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
400	0,5	0,5	1,273	0,00243	0,003093
		1	1,361	0,00327	0,00445
		1,5	1,381	0,00418	0,005773
	1	0,5	1,254	0,00228	0,002859
		1	1,31	0,00344	0,004506
		1,5	1,379	0,00399	0,005502
	1,5	0,5	1,288	0,00217	0,002795
		1	1,374	0,00383	0,005262
		1,5	1,398	0,00402	0,00562
500	0,5	0,5	1,116	0,00226	0,00252
		1	1,272	0,00294	0,00374
		1,5	1,381	0,00365	0,00504
	1	0,5	1,126	0,00274	0,00309
		1	1,291	0,00226	0,00292
		1,5	1,297	0,00311	0,00403
	1,5	0,5	1,215	0,00262	0,00318
		1	1,283	0,00317	0,00407
		1,5	1,332	0,00417	0,00555
600	0,5	0,5	1,326	0,00298	0,00395
		1	1,345	0,00316	0,00425
		1,5	1,389	0,00327	0,00454
	1	0,5	1,307	0,00348	0,00455
		1	1,337	0,00372	0,00497
		1,5	1,415	0,00380	0,00538
	1,5	0,5	1,315	0,00355	0,00467
		1	1,352	0,00358	0,00484
		1,5	1,396	0,00412	0,00575
Arang Boiler	0,5	0,5	0,405	0,00767	0,00311
		1	0,571	0,00879	0,00502
		1,5	0,663	0,00882	0,00585
	1	0,5	0,678	0,00869	0,00589
		1	0,662	0,00887	0,00587
		1,5	0,791	0,00971	0,00768
	1,5	0,5	0,692	0,00971	0,00672
		1	0,697	0,00982	0,00684
		1,5	0,883	0,01086	0,00959

Pembahasan

Pengaruh Konsentrasi Aktivator NaOH terhadap Bilangan Iodin dari Bioarang Teraktivasi.

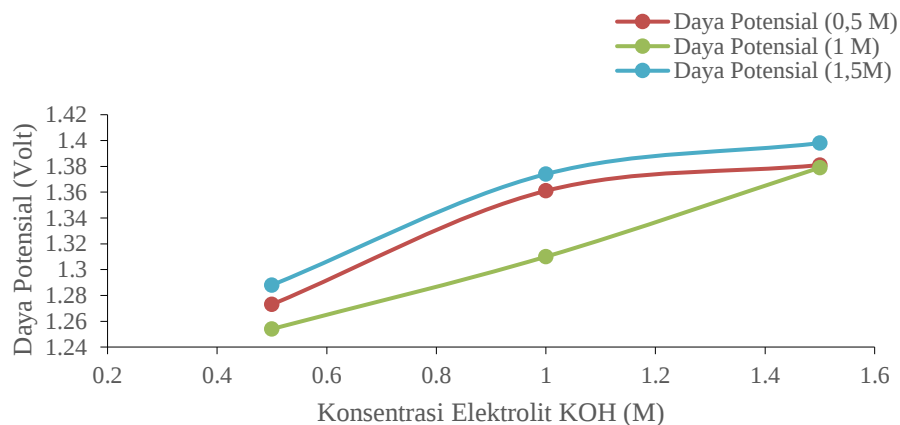


Gambar 2. Grafik Pengaruh Temperatur Karbonisasi dan Variasi Konsentrasi Aktivator NaOH Terhadap Bilangan Iodin

Peningkatan suhu karbonisasi sangat berpengaruh terhadap peningkatan bilangan iodine. Bioarang hasil karbonisasi pada suhu 600°C menunjukkan nilai tertinggi, yaitu hingga 2.441,490 mg/g (dengan aktivator 1 M). Pada suhu rendah (400–500°C), proses karbonisasi belum sepenuhnya menghilangkan komponen volatil dan belum membentuk pori-pori secara optimal. Berdasarkan grafik diatas peningkatan konsentrasi NaOH dari 0,5 M ke 1 M secara umum meningkatkan bilangan iodine. Namun pada konsentrasi 1,5 M, peningkatan tidak selalu linier. Misalnya pada suhu 600°C, nilai iodine justru turun dari 2.441,499 mg/g ke 2.310,126 mg/g. Aktivasi NaOH 1 M terbukti cukup efektif dalam membentuk pori mikro dan meningkatkan luas permukaan. Konsentrasi terlalu tinggi (1,5 M) dapat menyebabkan kerusakan struktur karbon, sehingga sebagian pori justru tertutup atau rusak. Oleh karena itu, 1 M adalah konsentrasi optimum untuk aktivasi NaOH. Arang boiler menghasilkan bilangan iodine yang sangat tinggi, jauh melebihi bioarang dari karbonisasi cangkang kelapa sawit, dengan konsentrasi 0,5 M nilai iodine 3.886,597 mg/g, 1 M nilai iodine 4.543,459mg/g, 1,5 M nilai iodine 4.674,832 mg/g. Namun demikian tidak menunjukkan bahwa arang boiler lebih baik karena, arang boiler kemungkinan memiliki struktur pori terbuka besar, Namun disertai kadar abu yang sangat tinggi, kandungan abu yang tinggi dapat mengganggu stabilitas elektrolit dan menurunkan konduktivitas ionic (Rui Zhang et al. 2011).

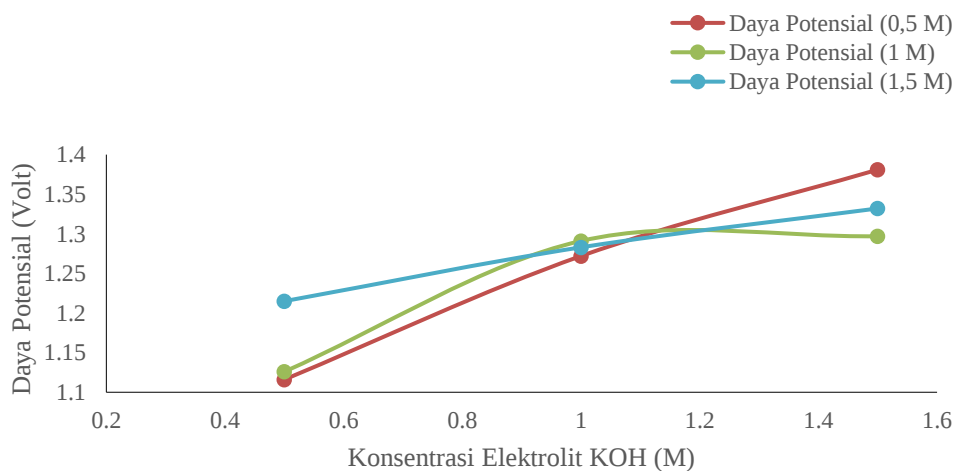
Pengaruh Konsentrasi Elektrolit KOH terhadap Beda Potensial Tegangan

Elektrolit berperan penting dalam mendukung terjadinya reaksi redoks di antara elektroda dengan menghantarkan ion-ion dalam larutan. KOH sebagai elektrolit basa kuat banyak digunakan dalam sel-sel elektrokimia karena kemampuannya menghasilkan ion hidroksida (OH^-) dalam jumlah tinggi, yang sangat berperan dalam proses perpindahan muatan antar elektroda (Santos et al., 2019). Untuk Analisa pengaruh elektrolit terhadap masing-masing konsentrasi aktivator, berikut grafik pengaruh konsentrasi elektrolit KOH terhadap beda potensial:



Gambar 3. Grafik Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Beda Potensial (Volt) pada temperatur 400oC

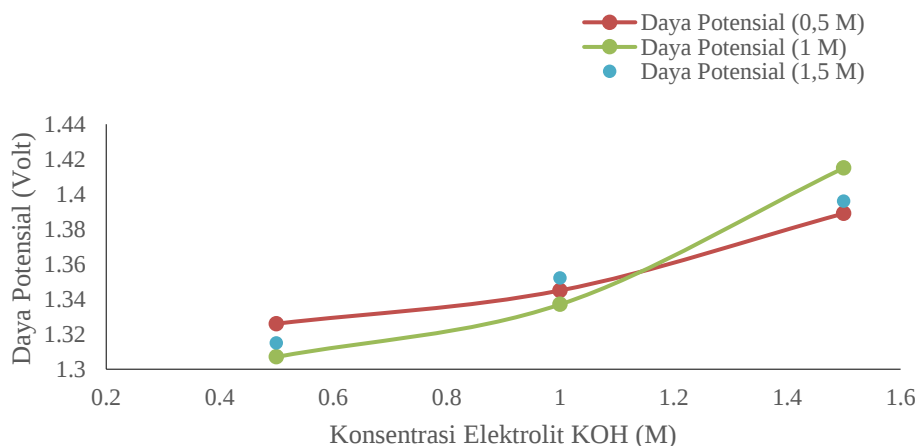
Berdasarkan grafik diatas dan tabel 2, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi elektrolit KOH secara umum meningkatkan beda potensial (tegangan) dan daya listrik yang dihasilkan. Untuk contoh pada aktivator NaOH 0,5 M, tegangan meningkat dari 1,273 V (elektrolit 0,5 M) menjadi 1,381 V (elektrolit 1,5 M), dan daya meningkat dari 0,003093 W menjadi 0,005773 W. Peningkatan ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah ion-ion K^+ dan OH^- dalam larutan, yang berperan sebagai pembawa muatan (ionik konduktor). Ion tersebut mempercepat proses transfer muatan antar elektroda, sehingga resistansi internal sistem menurun dan menghasilkan tegangan yang lebih besar.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Beda Potensial (Volt) pada temperatur 500oC

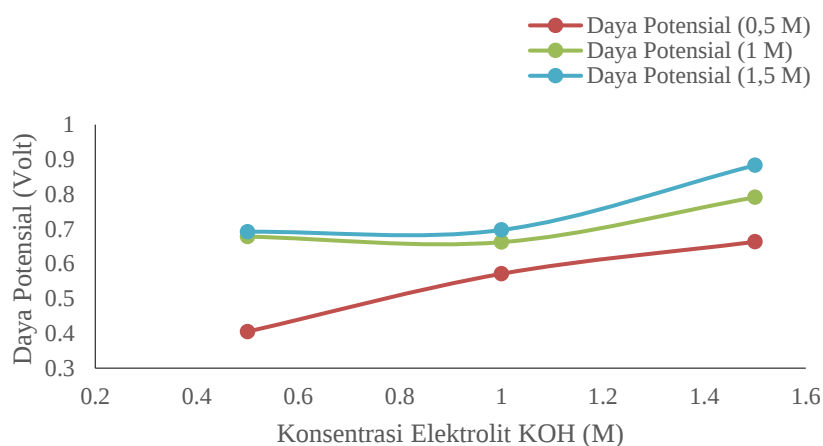
Berdasarkan grafik dan data tabel 2, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi KOH dari 0,5 M hingga 1,5 M menyebabkan peningkatan daya potensial (tegangan). Tegangan naik dari 1,116 V (0,5 M KOH) menjadi 1,381 V (1,5 M KOH). Hal ini mengindikasikan bahwa ion K^+ dan OH^- dari KOH lebih tersedia dalam larutan, mempercepat proses transport ionik antara elektroda positif dan negatif. Peningkatan ini terjadi karena elektrolit dengan konsentrasi tinggi memiliki konduktivitas listrik yang lebih besar, sehingga hambatan larutan terhadap pergerakan ion berkurang. Ion-ion dapat bergerak lebih cepat dan efektif menuju permukaan elektroda, mempercepat reaksi elektrokimia,

dan menghasilkan beda potensial yang lebih besar.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Konsentrasi KOH terhadap Beda Potensial (Volt) pada temperatur 600oC

Berdasarkan grafik dan data tabel 4.4, terlihat bahwa untuk aktivator NaOH 0,5 M, tegangan meningkat dari 1,326 V (KOH 0,5 M) menjadi 1,389 V (KOH 1,5 M). Kenaikan ini konsisten dengan hasil sebelumnya pada suhu 400°C dan 500°C. Peningkatan tegangan disebabkan oleh meningkatnya jumlah ion-ion aktif (K^+ dan OH^-) dalam larutan. Ion-ion ini bertanggung jawab dalam menghantarkan muatan antara elektroda positif dan negatif. Pada konsentrasi elektrolit yang lebih tinggi, jumlah ion per volume meningkat, yang berarti resistansi larutan menurun. Ini menyebabkan transfer muatan berlangsung lebih cepat, menghasilkan beda potensial (tegangan) yang lebih tinggi. Selain itu, karbonisasi pada suhu tinggi (600°C) berperan penting dalam pengembangan struktur pori bioarang. Pori-pori yang terbuka dan stabil memfasilitasi jalur difusi ion secara optimal, sehingga mencegah hambatan difusi yang biasa terjadi pada suhu rendah. Hal ini memungkinkan elektrolit menjangkau area reaktif lebih luas pada permukaan elektroda, meningkatkan efisiensi elektrokimia. Selain itu, aktivator NaOH juga berperan penting dalam pembentukan struktur pori dan luas permukaan aktif. Aktivator dengan konsentrasi 1 M menunjukkan performa tertinggi, kemungkinan karena menciptakan keseimbangan antara kekuatan aktivasi dan kestabilan struktur karbon. Sementara itu, konsentrasi 1,5 M tidak menunjukkan peningkatan signifikan, menandakan adanya titik optimum aktivasi. Aktivator NaOH 1 M menghasilkan performa terbaik pada suhu 600°C, dengan tegangan tertinggi 1,415 V.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Konsentrasi KOH Terhadap Beda Potensial (Volt) pada Arang Boiler

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi elektrolit KOH (dari 0,5 M, 1 M hingga 1,5 M) menyebabkan peningkatan nilai beda potensial (tegangan) pada seluruh variasi daya potensial yang diuji. Misalnya, pada daya potensial 1,5 M, tegangan meningkat dari 0,692 V menjadi 0,883 V seiring peningkatan konsentrasi KOH dari 0,5 M ke 1,5 M. Hal serupa juga terjadi pada daya potensial 1 M dan 0,5 M. Peningkatan konsentrasi KOH menyebabkan bertambahnya jumlah ion-ion OH^- dalam larutan elektrolit. Ion OH^- berperan penting dalam reaksi elektrokimia pada sel baterai. Secara elektrokimia, reaksi redoks yang terjadi pada sistem ini melibatkan perpindahan elektron dari elektroda negatif (anoda) ke elektroda positif (katoda) melalui rangkaian eksternal. Ion-ion dalam larutan membantu menjaga keseimbangan muatan dalam larutan. Semakin tinggi konsentrasi KOH, semakin tinggi pula ketersediaan ion OH^- untuk terlibat dalam reaksi reduksi, sehingga arus listrik yang mengalir meningkat.

KESIMPULAN

1. Dari penelitian hasil analisis bioarang teraktivasi menggunakan larutan NaOH. Aktivasi terbaik terjadi pada suhu karbonisasi 600°C dengan konsentrasi NaOH 1 M, menghasilkan angka iodin sebesar 2.441,499 mg/g. Ini mengindikasikan bahwa struktur pori mikro terbentuk optimal pada kondisi tersebut. Konsentrasi aktivator yang lebih tinggi (1,5 M) justru menurunkan efektivitas aktivasi karena berpotensi merusak struktur karbon.
2. Potensial, kuat arus, dan daya dari bio baterai yang dibuat dari bioarang cangkang kelapa sawit diuji dengan variasi suhu karbonisasi, konsentrasi aktivator, dan konsentrasi elektrolit KOH. Kombinasi terbaik ditemukan pada suhu 600°C, aktivator NaOH 1 M, dan elektrolit KOH 1,5 M yang menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 1,415 V, arus sebesar 0,00380 A, dan daya sebesar 0,00538 W. Semakin tinggi konsentrasi KOH, semakin besar pula ion OH^- yang tersedia, sehingga mempercepat reaksi redoks dan meningkatkan output daya baterai. Berdasarkan seluruh hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa kondisi teroptimasi untuk menghasilkan bioarang berkualitas tinggi dan bio baterai dengan kinerja terbaik adalah proses karbonisasi pada suhu 600°C, aktivasi kimia menggunakan NaOH 1 M, dan penggunaan elektrolit KOH pada konsentrasi 1,5 M. Kombinasi ini memberikan keseimbangan ideal antara struktur pori, luas permukaan, daya serap elektrolit, serta kestabilan dan efisiensi transfer muatan dalam sistem bio baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- E. Taer, H. Yusra Iwanto, & R. Taslim. (2016). Analisa Dimesnsi, Densitas Dan Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor Dari Bunga Rumput Gajah Dengan Variasi Konsentrasi Pengaktifan Koh. Sprektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, 1(1)
- Karina Ventika Saei, A.P. (2023). Pemanfaatan Karbon Limbah Sabut Pinang (Areca Catechu L) Sebagai Material Termoelektrik Sistem C/Cuo. Chemistry Journal Of Universitas, 12(2).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2013). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 13 Tahun 2013 tentang Penetapan Indikator Kinerja Utama di Lingkungan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- S. Anjasari, D.Y. Rahman, dan R. Sulistywati. (2024). Pembuatan Bio- Baterai Berbahan Dasar Sari Belimbing Wuluh dan NaCl sebagai sumber Ion serta Onggok Singkong sebagai Matriks, ISSN 2714-5425.
- S. Hanan. Limbah Bonggol Pisang Sebagai Elektrolit Padat untuk Bio Baterai Ramah Lingkungan. Vol. 4. No 4. Tahun 2024 Page 11518-11527.