

Efek Penambahan Tepung Jagung dalam Keramik Zeolit Sebagai Separator Baterai

Sri. Mulyo Bondan Respati^{1*}, Agung Nugroho², Ahmad Abdul Rohim³, Moch Subchan Mauludin⁴ 

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim, Semarang, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Informatika, Universitas Wahid Hasyim, Semarang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received March 03, 2022

Revised March 09, 2022

Accepted August 14, 2022

Available online October 25, 2022

Kata Kunci:

Keramik Zeolit, Separator Baterai, Tepung Jagung

Keywords:

Zeolite Ceramics, Battery Separators, Corn Flour



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Separator baterai yang terbuat dari keramik zeolit telah dilakukan. Separator ini dimungkinkan menjadikan baterai yang stabil dan tahan lama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan yang dihasilkan dari aki yang separatornya diganti dengan keramik zeolit alam. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Teknik analisis data menggunakan analisis kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan proses persiapan bahan dengan pengayakan serbuk zeolit dan tepung jagung dengan ayakan mesh 30. Serbuk zeolit ditambahkan 2, 5 dan 8 % berat tepung jagung. Bahan serbuk zeolit-tepung jagung dicetak berbentuk prisma segi empat dengan tekanan 15 MPa. Green keramik dibakar dengan furnace selama 4 jam dengan suhu 900 °C. Keramik berpori di assembling ke baterai bersama anoda katoda kemudian dirangkai secara seri. Cairan H_2SO_4 sebesar 10 ml digunakan untuk mengisi rongga keramik berpori tersebut. Hasil pengujian tegangan listrik menunjukkan semakin tinggi penambahan tepung jagung semakin rendah voltase yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian secara visual dan mikro di dapat bahwa semakin banyak persentase campuran tepung jagungnya maka semakin banyak pula pori yang terdapat pada keramik serta mengurangi kerapatan pada keramik. Implikasi penelitian ini diharapkan separator keramik zeolit alam dapat dipakai pada baterai aki dengan peningkatan sifat sifik dan ionik konduktifitas.

ABSTRACT

Battery separator made of zeolite ceramic has been carried out. This separator is possible to make the battery stable and durable. This study aims to analyze the voltage generated from a battery whose separator is replaced with natural zeolite ceramic. This study uses an experimental method. Data analysis techniques using quantitative and qualitative analysis. The results of the research show the process of preparing the material by sifting zeolite powder and corn flour using a 30 mesh sieve. The zeolite powder was added 2, 5 and 8% by weight of corn flour. The zeolite-corn flour powder material was printed in the form of rectangular prisms with a pressure of 15 MPa. Green ceramic is fired in a furnace for 4 hours at a temperature of 900 °C. The porous ceramics are assembling to the battery with the anode and cathode then connected in series. 10 ml of $[H]_2[SO]_4$ liquid is used to fill the cavity of the porous ceramic. The results of the electric voltage test showed that the higher the addition of corn flour, the lower the voltage produced. Based on visual and micro testing, it was found that the more the percentage of the corn flour mixture, the more pores will be present in the ceramic and reduce the density of the ceramic. The implication of this research is that natural zeolite ceramic separators can be used in battery batteries with increased physical and ionic conductivity properties.

1. PENDAHULUAN

Sistem baterai konvensional yang memakai elektrolit cair memiliki masalah ketidakstabilan pada konduktivitas ionik dan stabilitas termal yang kurang baik. Kestabilan termal dapat dikurangi dengan menggunakan separator. Separator digunakan sebagai pemisah antara anoda dan katoda sehingga menjadi lebih setabil dan aman (A. Li et al., 2021). Separator ini juga mempengaruhi dari ketahanan dari baterai aki dan kesetabilan ini dipengaruhi oleh bahan separator dan dimensinya (Cannarella et al., 2014; W. Chen et al., 2022). Separator harus kompatibel pada perpindahan ion dan dapat jadi penetrasi dari hambatan ion (Song et al., 2021; Weber et al., 2014). Separator keramik zeolit berpori sebagai pengganti elemen baterai diusahakan dapat meningkatkan konduktivitas ionik dan kestabilan termal pada baterai (Ackley et al., 2003). Pada baterai kering biasanya yang sering di gunakan untuk penyekat sekaligus penyimpan elektrolit baterai adalah tissu atau kertas, seperti yang di ketahui tissu dan kertas adalah media penyerap cairan

*Corresponding author.

E-mail addresses: bondan@unwahas.ac.id (Sri. Mulyo Bondan Respati)

elektrolit yang baik akan tetapi sangat rapuh dan mudah hancur. Supaya lebih awet peneliti mengusulkan menggunakan zeolit sebagai pengganti.

Zeolit digunakan sebagai katoda baterai. Katoda ini tersusun dari material karbon berpori dicampur dengan zeolit (Maulana et al., 2019). Bahan murah yang dijadikan baterai portabel (Pan et al., 2019). Bahan ini pula dapat dipakai sebagai baterai yang sederhana dengan biaya rendah dengan hasil 0,7 volt (Krishna, 2020). Baterai dengan bahan ini dianggap lebih aman karena menggunakan bahan alami (Schoetz et al., 2017; Takeda & Taguchi, 2018). Baterai bahan keramik alam menghasilkan 1,28 volt dengan ukuran sel 25 mm dan tebal 10 mm (Buwono & Febrian, 2020). Pada penelitian ini mencoba membuat elemen sel baru menggunakan keramik zeolit berpori yang terbuat dari campuran serbuk zeolit dan tepung jagung sebagai pengganti separator. Penggunaan zeolit sebagai separator menggunakan komposit zeolit ZSM-5/polyimide (Y. Li et al., 2020). Hasil pada range 2.4 -4.7 Volt mengatakan mineral alam dapat digunakan sebagai separator untuk lithium -ion baterai. Beberapa tanah mineral halloysite, attapulgite, sepiolite, montmorillonite and zeolite digunakan (F. Liu & Chuan, 2021). Hasilnya potensial dijadikan separator menggunakan bahan zeolite untuk melapisi Polyacrylonitrile (D. Chen et al., 2021). Separator ini menghasilkan 2.5 - 5.2 volt. Bahan nanocarbon-zeolit sebagai bahan yang dapat menyimpan energi dan konversi (Barbosa et al., 2021; Miao et al., 2020). Tegangan energi ini dihasilkan karena adanya pori dalam zeolit. Keramik zeolit berpori diteliti oleh (Respati et al., 2017). Keramik zeolit dapat menyerap air dengan kapiler. Selain itu keramik zeolit-palm fiber dapat dilewati air dan bahan zeolit baik untuk dijadikan superkapasitor (Pakpahan et al., 2017; Respati et al., 2017). Zeolit alam adalah kristal, hidro aluminosilikat yang mengandung alkali dan alkali tanah. Alkali dan kation alkali tanah yang longgar struktur ini dan dapat terikat dengan kation lainnya atau molekul air (Martucci & Cruciani, 2018; Respati, Soenoko, Irawan, & Suprpto, 2018). Untuk membuat lebih berpori dapat menggunakan bahan dari nabati atau hewani.

Bahan nabati atau hewani jika dipanaskan akan menjadi abu, sehingga dapat membuat pori (Rahaman, 2017). Semakin banyak bahan nabati yang dicampurkan ke zeolit maka semakin banyak pula porinya (Respati, Soenoko, Irawan, Suprpto, et al., 2018). Salah satu bahan nabati untuk membuat pori adalah tepung karbohidrat. Salah satu tepung karbohidrat yang dapat dipakai yaitu tepung jagung. Tepung jagung merupakan tepung yang mempunyai kadar pati yang tinggi 73 - 80 % (Aini et al., 2016; Alam & Nurhaeni, 2008). Kadar pati ini yang dibutuhkan dalam membuat pori-pori dalam keramik. Pati di dalam kandungan tepung jagung yang dicampurkan ke dalam serbuk zeolit alam lebih cepat mengering. Sehingga dalam pembuatan green keramik lebih cepat untuk mengeras. Pengerasan keramik yang dilakukan dengan pemanasan akan membuat pati menjadi abu. Larutan H_2SO_4 atau disebut asam sulfat yang pada aki berfungsi sebagai elektrolit. Kehadiran asam sulfat merupakan bahan aktif yang berperan dalam pembangkitan dan akumulasi energi listrik dalam baterai. H_2SO_4 pekat merupakan campuran azetripik dari 98,3% H_2SO_4 dan 1,7% H_2O . H_2O diperoleh dengan destilasi murni pada suhu 383°C (Pavlov, 2011). Konsentrasi H_2SO_4 mempengaruhi dari tegangan sel (Pavlov et al., 2006). H_2SO_4 ini dapat menjadi penghantar ionik yang dilepaskan tembaga ke besi sehingga menghasilkan listrik (Porvali et al., 2019). Dengan menggunakan keramik zeolit alam dimungkinkan menjadi pengganti separator aki.

Beberapa temuan menyatakan pembuatan keramik berpori menggunakan tepung jagung membuat pori yang menyeluruh (Mohamed Bazin et al., 2019). Kandungan tepung jagung yang lebih banyak akan membuat keramik berpori jadi lebih baik dan lebih banyak porinya (Alag & Zamel, 2018; Ayala-Landeros et al., 2016; X. Liu et al., 2022). Fabrikasi keramik berpori dengan menggunakan tepung jagung merupakan alternatif yang mudah dan murah (Nie & Lin, 2015; Salman et al., 2020). Kadar air yang ada dalam tepung jagung juga menguap membuat rongga-rongga pori. Pori-pori dalam zeolit diharapkan mampu menampung larutan H_2SO_4 . Kerteburuan penelitian ini adalah bahan keramik pengganti separator aki. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan yang dihasilkan dari aki yang separatornya diganti dengan keramik zeolit alam.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Eksperimen yang dilakukan dengan membuat separator keramik berpori dengan bahan baku zeolit alam dan tepung jagung. Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Universitas Wahid Hasyim. Variabel bebas yang digunakan adalah persentase campuran 2, 5 dan 8 % tepung jagung. Sepesimen keramik berpori dirangkai menjadi baterai dengan mengkombinasikan anoda tembaga dan katoda aluminium. Rangkaian baterai diukur tegangan voltase yang keluar dari anoda dan katoda sebagai variabel terikat. Bahan yang dipakai sebagai separator dalam penelitian ini adalah serbuk zeolit alam dengan kandungan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan zeolit alam dalam % Berat.

SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO
66,9 %	11,43%	4,59%	0,18%
CaO	MgO	K₂O	Na₂O
2,40%	1,44%	1,95%	1,29%

Serbuk zeolit alam diayak dengan ayakan 100 mesh..Adapun bentuk serbuk zeolit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serbuk zeolit alam

Tabel 2. Kandungan tepung jagung dalam % berat

Pati	Amilosa	Gula	Protein
88,22 %	59,83%	0,12%	2,64%
Lipida	Abu	Serat	Asam Lemak Bebas
3,94%	0,76%	4,5%	1,91%

Tepung jagung juga diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Kandungan dalam tepung jagung disajikan pada Tabel 2. Bentuk dari tepung jagung dapat dilihat pada Gambar 2.

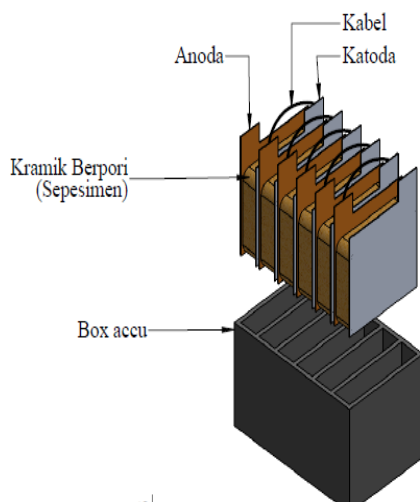


Gambar 2. Tepung jagung

Bahan sebagai anoda dan katoda adalah pelat tembaga dan aluminium. Ketebalan plat yang dipakai 0,5 mm. lebar dan panjangnya disesuaikan dengan tempat merangkai aki. Tempat merangkai aki menggunakan aki bekas sepeda motor yang dikosongkan isinya. Bahan lain sebagai penghantar ion adalah H₂SO₄ atau dalam bahasa bengkel disebut aki zuur. Rancangan penelitian ini menggunakan serbuk zeolit alam yang dicampurkan dengan tepung jagung, adapun pencampuran menggunakan variabel 2, 5 dan 8 % berat tepung jagung. Berat total yang bahan yang dicampurkan adalah 70 gram. Kedua bahan tersebut

diaduk selama 2 menit, kemudian dicampurkan air sebanyak 10 ml. Air disini berfungsi sebagai perekat saat dicetak. Proses pencetakan green keramik yaitu dengan memasukkan campuran adonan zeolit alam-tepung jagung ke dalam cetakan. Cetakan itu sendiri sudah didisain untuk menghasilkan bentuk spesimen dengan ukuran 53 x 62 mm² dan ketebalan 6 mm. Tekanan cetak pada 15 MPa. Setelah di cetak spesimen green keramik dijemur hingga kering. Green keramik yang sudah kering dipanaskan dengan menggunakan furnace pada suhu 900 °C, penahanan suhu selama 4 jam dan pendinginan di dalam furnace selama 24 jam. Hasil pemanasan berupa keramik berpori. Keramik berpori yang sudah jadi di foto makro dan mikro untuk mengetahui perbedaan kerapatan porinya. Setelah selesai di foto, keramik berpori disiapkan bersama pelat tembaga, pelat aluminium, tempat aki. Kemudian bahan-bahan tersebut disusun sesuai dengan Gambar 3.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa urutan susunan 1 sel berupa 1 pelat tembaga, keramik berpori dan 1 pelat aluminium. Pelat tembaga sebagai anoda dan pelat aluminium sebagai katoda. Susunan aki ada 6 sel yang disusun secara seri kemudian dimasukkan ke dalam tempat aki. Supaya terhubung maka katoda sel 1 dihubungkan dengan kabel ke anoda sel 2, katoda sel 2 dihubungkan dengan kabel ke anoda sel 3, demikian seterusnya sampai sel 6. Proses penyambungan secara seri menggunakan kabel yang direkatkan dengan tenol yang dipanaskan pakai solder. Pelat yang tidak terhubung pada anoda sel 1 sebagai kutup positif dan katoda sel 6 sebagai kutup negatif. Susunan baterai aki yang sudah terangkai diberi larutan H₂SO₄. Takaran H₂SO₄ tiap masing-masing sel adalah 10 ml. Setelah aki siap, maka diuji nilai tegangan listrik pada aki menggunakan avometer. Cara pengukuran tegangan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Susunan baterai aki



Gambar 4. Proses Pengujian tegangan baterai aki.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

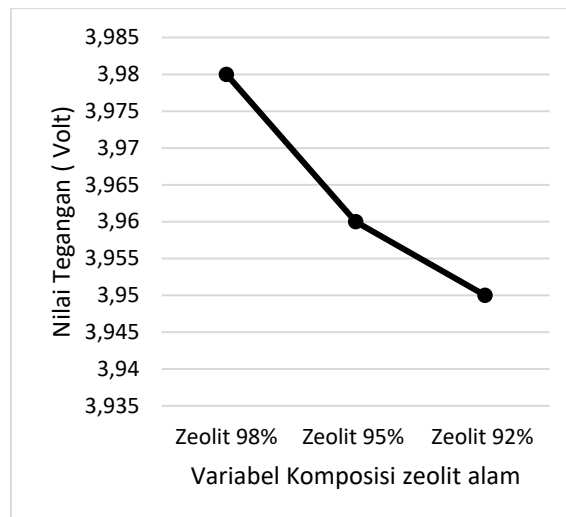
Hasil

Nilai tegangan yang dihasilkan aki. Rangkaian aki yang sudah tersusun diukur tegangan listriknya tiap variabel. Hasil pengukuran tegangan listrik pada rangkaian aki ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Voltase Yang Di Hasilkan Pada Tiap Variasi

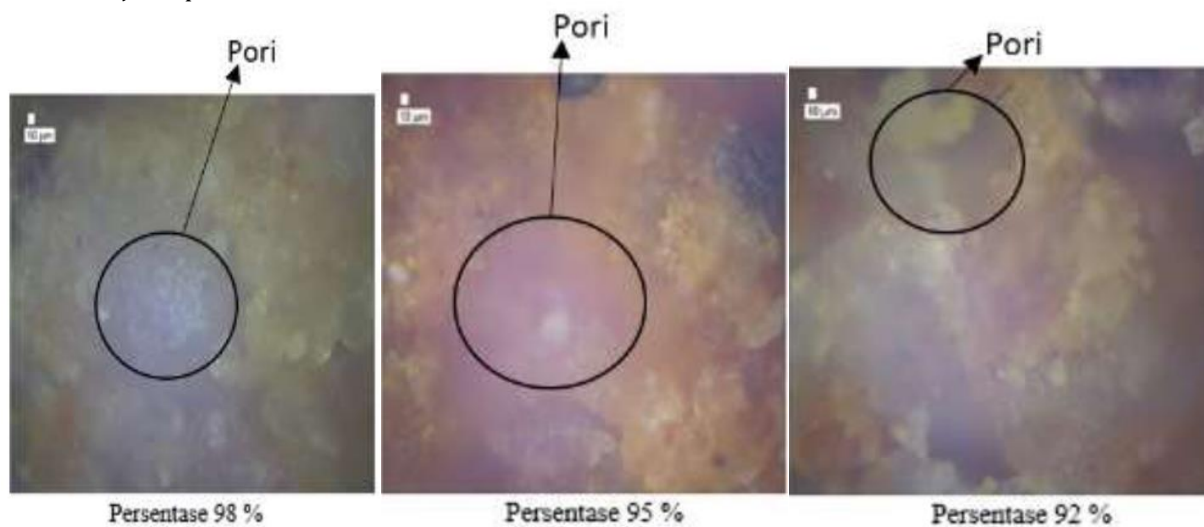
No	Variasi Komposisi (%)	Voltase Yang Di Hasilkan (Volt)
1	Zeolit alam 98%	3,98 V
2	Zeolit alam 95%	3,96 V
3	Zeolit alam 92%	3,95 V

Variabel komposisi serbuk zeolit alam 98% dan tepung jagung 2% serta dengan penambahan cairan H₂SO₄ sebesar 10 ml menghasilkan daya listrik sebesar 3,98 V. Variabel komposisi serbuk zeolit alam 95% dan tepung jagung 5% serta dengan penambahan cairan H₂SO₄ sebesar 10 ml menghasilkan daya listrik sebesar 3,96 V. Sedangkan variabel komposisi serbuk zeolit alam 92% dan tepung jagung 8% serta dengan penambahan cairan H₂SO₄ sebesar 10 ml menghasilkan daya listrik sebesar 3,95 V. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan tepung jagung pada keramik zeolit alam menurunkan tegangan listriknya. Agar lebih jelasnya dapat dibuat grafik yang disajikan pada Gambar 5.



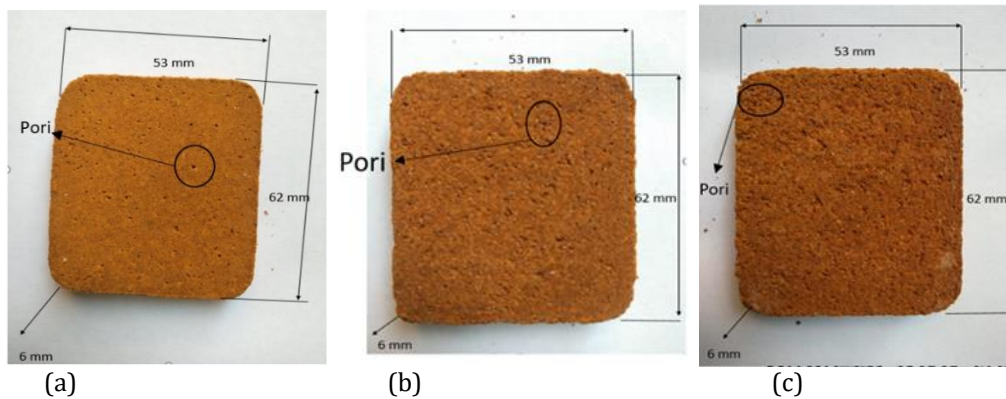
Gambar 5. Nilai tegangan yang dihasilkan pada tiap variabel campuran zeolit alam-tepung jagung.

Gambar 5 menjelaskan bahwa semakin rendah kandungan zeolit alam maka tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin rendah pula. Semakin rendahnya tegangan ini ditenggarai banyaknya abu pada keramik zeolit alam. Bahan abu merupakan bahan hambatan listrik (E. Indra, 2013). Zeolit alam berfungsi sebagai adsorpsi bahan berpori, yaitu media pengganti elemen sel dalam baterai. Keramik berpori akan menyerap cairan H_2SO_4 yang ada dalam baterai. Keramik berpori sebagai media transportasi proses reaksi kimia pada cairan H_2SO_4 sekaligus sebagai separator atau pemisah antara anoda dan katoda baterai agar tak terjadi arus pendek. Hal ini bisa diartikan bahwa keramik berpori sebagai media penyimpan cairan H_2SO_4 . Semakin banyak pori yang ada maka daya serap terhadap cairan H_2SO_4 juga semakin besar. Pembuatan pori yang makin banyak dibutuhkan tepung jagung. Bentuk pori pada keramik saat di uji foto mikro disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Pori Pada Keramik Saat Di Uji Mikro

Pori-pori jika dilihat pada foto skla makro, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 memperlihatkan bentuk permukaan pada keramik dengan variasi komposisi zeolit 98 %, 95 % dan 92 %. Bentuk permukaan yang bertekstur memperlihatkan banyak sedikitnya jumlah pori-pori. Jika dilihat pada Gambar 7a. Tektur keramik berpori terlihat lebih kecil dibandingkan dengan Gambar 7b dan c. Hal ini memperlihatkan bahwa semakin banyak tepung jagung mempengaruhi dari tektur keramik zeolit alam.



Gambar 7. Keramik Berpori Komposisi Kandungan Zeolit Alam a. 98 %, b. 95 % dan c. 92 %

Pembahasan

Hubungan antara tegangan dan pori-pori yaitu semakin banyak pori-pori maka semakin kecil tegangannya. Hal ini disebabkan transfer ion dari katoda ke anoda lebih banyak melalui separator zeolit. Hambatan separator mempengaruhi dari perpindahan ion. Pada kasus ini ion berpindah melalui separator keramik zeolit karena zeolit dapat menyimpan dan mengalirkan arus (W. Chen et al., 2022; Syarif, 2014). Tektur yang rapat memperlihatkan pori-porinya lebih sedikit dan tektur yang renggang memperlihatkan pori-porinya banyak (Apriani et al., 2013; Verayana et al., 2018). Semakin banyak kandungan tepung jagung maka semakin banyak pula pori-pori yang dihasilkan. Bentuk fisik keramik berpori dalam skala mikrometer. Berdasarkan bentuk fisik keramik berpori didapatkan bahwa semakin banyak campuran tepung jagungnya maka pori yang dihasilkan juga semakin banyak sehingga porositasnya semakin tinggi. Semakin banyak pori pada keramik maka akan mempengaruhi tingkat kerapatan dan porositas pada keramik sehingga akan mempengaruhi nilai tegangan listrik yang dihasilkan. Semakin tinggi porositasnya maka semakin berkurang kerapatannya. Tingkat kerapatan antara anoda katoda dan keramik juga akan mempengaruhi nilai tegangan yang dihasilkan, semakin banyak pori pada permukaan keramik menyebabkan luasan media sentuh dengan anoda katoda berkurang sehingga nilai tegangan listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Nilai tegangan yang dihasilkan menjadi semakin rendah seiring dengan peningkatan pori.

Hasil ini memperlihatkan bahwa zeolit alam merupakan media separator yang dapat mengalirkan ion-ion dari katoda ke anoda. Hal ini diperlihatkan bahwa semakin rapat keramik zeolit alam maka semakin tinggi nilai tegangan listriknya. Sebenarnya untuk perbedaan tegangan listrik juga tidak begitu signifikan dan ketiganya masih terlalu rendah bila dibandingkan dengan tegangan listrik aki pada umumnya. Karakter keramik zeolit alam untuk separator pada dasarnya memiliki kekuatan dalam porositas, penyusutan dan keterbasahan (Weber et al., 2014). Teknologi separator baru ini menawarkan serangkaian peningkatan positif dan kompetitif dalam hal suhu pengeringan, porositas, ketahanan penetrasi dan penyusutan. Selain itu perlu adanya pengurangan porositas dengan memperkecil ukuran butir. Hal ini dilakukan agar dapat meningkatkan ionik konduktifitas (Barbosa et al., 2021; F. Liu & Chuan, 2021; Tseng et al., 2013). Akan tetapi bila diteliti lebih lanjut akan dapat meningkatkan kapasitas baterai aki separator keramik zeolit alam. Temuan ini diperkuat dengan temuan sebelumnya yang menyatakan pembuatan keramik berpori menggunakan tepung jagung membuat pori yang menyeluruh (Mohamed Bazin et al., 2019). Kandungan tepung jagung yang lebih banyak akan membuat keramik berpori jadi lebih baik dan lebih banyak porinya (Alag & Zamel, 2018; Ayala-Landeros et al., 2016; X. Liu et al., 2022). Implikasi penelitian ini diharapkan separator keramik zeolit alam dapat dipakai pada baterai aki dengan peningkatan sifat fisik dan ionik konduktifitas.

4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan hubungan antara tegangan dan pori-pori yaitu semakin banyak pori-pori maka semakin kecil tegangannya. Semakin banyak campuran tepung jagung maka semakin banyak pori-pori yang dihasilkan pada keramik zeolit alam. Semakin banyak pori-pori ini menurunkan tegangan listrik yang dihasilkan dari rangkaian aki.

5. DAFTAR PUSTAKA

Ackley, M. W., Rege, S. U., & Saxena, H. (2003). Application of natural zeolites in the purification and

- separation of gases. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61(1-3), 25-42. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(03\)00353-6](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(03)00353-6).
- Aini, N., Wijonarko, G., & Sustrawan, B. (2016). Sifat Fisik, Kimia, Dan Fungsional Tepung Jagung Yang Diproses Melalui Fermentasi (Physical, Chemical, and Functional Properties of Corn Flour Processed by Fermentation). *Jurnal Agritech*, 36(02), 160. <https://doi.org/10.22146/agritech.12860>.
- Alag, H. K., & Zamel, R. S. (2018). Studying the Properties of Porous Alumina Using Starch as a Binder. *Journal of Al-Nahrain University of Science*, 21(3), 112-118. <https://doi.org/10.22401/jnus.21.3.13>.
- Alam, N., & Nurhaeni. (2008). Pati Jagung Berbagai Varietas Yang Diekstrak Dengan Pelarut Natrium Bikarbonat. *Jurnal Agroland*, 15(2), 89-94.
- Apriani, R., Diah Faryuni, I., Wahyuni, D., Kunci, K., Aktif, K., Durian, K., Hidroksida, K., & Fe, A. (2013). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. *Prisma Fisika*, 1(2), 82-86. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/2931>.
- Ayala-Landeros, J. G., Saucedo-Rivalcoba, V., Bribiesca-Vasquez, S., Castaño, V. M., Martínez-Hernández, A. L., & Velasco-Santos, C. (2016). Influence of corn flour as pore forming agent on porous ceramic material based mullite: Morphology and mechanical properties. *Science of Sintering*, 48(1), 29-39. <https://doi.org/10.2298/SOS1601029A>.
- Barbosa, J. C., Gonçalves, R., Costa, C. M., De Zea Bermudez, V., Fidalgo-Marijuan, A., Zhang, Q., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Metal-organic frameworks and zeolite materials as active fillers for lithium-ion battery solid polymer electrolytes. *Materials Advances*, 2(12), 3790-3805. <https://doi.org/10.1039/d1ma00244a>.
- Buwono, A., & Febrian, S. (2020). The Aluminium Air Battery Performace by Using Red Brick As The Cathode to Turn on The Led Lights. *X(2)*, 86-91.
- Cannarella, J., Liu, X., Leng, C. Z., Sinko, P. D., Gor, G. Y., & Arnold, C. B. (2014). Mechanical Properties of a Battery Separator under Compression and Tension. *Journal of The Electrochemical Society*, 161(11), F3117-F3122. <https://doi.org/10.1149/2.0191411jes>.
- Chen, D., Wang, X., Liang, J., Zhang, Z., & Chen, W. (2021). A novel electrospinning polyacrylonitrile separator with dip-coating of zeolite and phenoxy resin for Li-ion batteries. *Membranes*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/membranes11040267>.
- Chen, W., Wang, X., Liang, J., Chen, Y., Ma, W., & Zhang, S. (2022). A High Performance Polyacrylonitrile Composite Separator with Cellulose Acetate and Nano-Hydroxyapatite for Lithium-Ion Batteries. *Membranes*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/membranes12020124>.
- E. Indra. (2013). Studi Kekuatan Dielektrik Pada Bahan Campuran Abu Sekam Padi Dengan Resin Epoksi. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura (Jurnal Untan)*, 1(1), 4.
- Krishna, R. N. (2020). Design and Development of Aluminium Air Battery. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(8), 380-382. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.30904>.
- Li, A., Chun, A., Yuen, Y., Wang, W., Miguel, I., Cordeiro, D. C., Wang, C., Bo, T., Chen, Y., Zhang, J., Chan, Q. N., & Yeoh, G. H. (2021). A Review on Lithium-Ion Battery Separators towards Enhanced Safety Performances and Modelling Approaches. *Molecules*, 26(478), 2-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules26020478>.
- Li, Y., Wang, X., Liang, J., Wu, K., Xu, L., & Wang, J. (2020). Design of a high performance zeolite/polyimide composite separator for lithium-ion batteries. *Polymers*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/POLYM12040764>.
- Liu, F., & Chuan, X. (2021). Recent developments in natural mineral-based separators for lithium-ion batteries. *RSC Advances*, 11(27), 16633-16644. <https://doi.org/10.1039/d1ra02845f>.
- Liu, X., Yu, C., Qu, D., & Luo, X. (2022). Preparation of porous β -SiAlON ceramics using corn starch as pore-forming agent. *Journal of the Australian Ceramic Society* 2022, 1-7. <https://doi.org/10.1007/S41779-022-00708-3>.
- Martucci, A., & Cruciani, G. (2018). New Insights in Stability, Structure and Properties of Porous Materials. In *New Insights in Stability, Structure and Properties of Porous Materials*. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03842-451-2>.
- Maulana, I., Aripin, & Chobir, A. (2019). Studi Elektrokimia Baterai Aluminium-. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 01(01), 25-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.37058/jeee.v1i1.1193>.
- Miao, J., Lang, Z., Xue, T., Li, Y., Li, Y., Cheng, J., Zhang, H., & Tang, Z. (2020). Revival of Zeolite-Templated Nanocarbon Materials: Recent Advances in Energy Storage and Conversion. *Advanced Science*, 7(20), 1-32. <https://doi.org/10.1002/adv.202001335>.

- Mohamed Bazin, M., Ahmad, N., & Nakamura, Y. (2019). Preparation of porous ceramic membranes from Sayong ball clay. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 7(4), 417–425. <https://doi.org/10.1080/21870764.2019.1658339>.
- Nie, Z., & Lin, Y. (2015). Fabrication of porous alumina ceramics with corn starch in an easy and low-cost way. *Ceramics - Silikaty*, 50(4), 348–352.
- Pakpahan, J. K., Karo, P. K., & Suroto, B. J. (2017). Studi Luas Permukaan Spesifik Zeolit Akibat Pengaruh Mikrostruktur dan Potensinya Sebagai Elektrode Superkapasitor. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 19–24.
- Pan, W., Wang, Y., Kwok, H. Y. H., & Leung, D. Y. C. (2019). A low-cost portable cotton-based aluminum-air battery with high specific energy. *Energy Procedia*, 158, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.067>.
- Pavlov, D. (2011). Lead-Acid Batteries: Science and Technology. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-16975-1>.
- Pavlov, D., Naidenov, V., & Ruevski, S. (2006). Influence of H₂SO₄ concentration on lead-acid battery performance. H-type and P-type batteries. *Journal of Power Sources*, 161(1), 658–665. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2006.03.081>.
- Porvali, A. ; Chernyaev, A. ; Shukla, S. ; Lundström, M., Porvali, A., Chernyaev, A., & Shukla, S. (2019). *Lithium ion battery active material dissolution kinetics in Fe(II)/Fe(III) catalyzed Cu-H₂SO₄ leaching system* *Lithium ion battery active material dissolution kinetics in Fe(II)/Fe(III) catalyzed Cu-H₂SO₄ leaching system*. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116305>.
- Rahaman, M. N. (2017). Ceramic processing and sintering, second edition. *Ceramic Processing and Sintering, Second Edition*, 1–875. <https://doi.org/10.1201/9781315274126>.
- Respati, S. M. B., Soenoko, R., Irawan, Y. S., & Suprpto, W. (2018). Interfacial shear stress with pull-out test at zeolite ceramic matrix and SS316 single fiber. *Revista Materia*, 23(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0316>.
- Respati, S. M. B., Soenoko, R., Irawan, Y. S., Suprpto, W., Saputra, W. B., & Purwanto, H. (2017). Capillary velocity of natural zeolite porous ceramic in different sintering temperatures. *MM Science Journal*, 2017(JUNE), 1803–1805. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2017_06_2016104.
- Respati, S. M. B., Soenoko, R., Irawan, Y. S., Suprpto, W., Wicaksono, D. K., & Purwanto, H. (2018). The effect of palm fibers addition on density, porosity, water discharge and TDS of the natural zeolite ceramic. *AIP Conference Proceedings*, 1977. <https://doi.org/10.1063/1.5042927>.
- Salman, M. M., Radhi, N. S., Sabr, O. H., & Nhabih, H. T. (2020). Utilization of diverse cheap materials as pore generating agent to manufacture low-cost porous ceramic. *Ceramica*, 66(378), 179–185. <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663782873>.
- Schoetz, T., de Leon, C. P., Ueda, M., & Bund, A. (2017). Perspective—State of the Art of Rechargeable Aluminum Batteries in Non-Aqueous Systems. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(14), A3499–A3502. <https://doi.org/10.1149/2.0311714jes>.
- Song, Y., Sheng, L., Wang, L., Xu, H., & He, X. (2021). From separator to membrane: Separators can function more in lithium ion batteries. *Electrochemistry Communications*, 124, 106948. <https://doi.org/10.1016/J.ELECOM.2021.106948>.
- Syarif, N. (2014). Performance of biocarbon based electrodes for electrochemical capacitor. *Energy Procedia*, 52, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.050>.
- Takeda, Y., & Taguchi, K. (2018). Proposal of NaAlO₂ as an electrolyte of aluminum-air battery. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(3S), 793–800. <https://doi.org/10.4314/jfas.v10i3S.68>.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes Towards Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) in a Project Based Learning (PjBL) Environment. *International Journal Technology and Design Education*, 23, 87–102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>.
- Verayana, Papatungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75. <https://www.neliti.com/publications/277418/pengaruh-aktivator-hcl-dan-h3po4-terhadap-karakteristik-morfologi-pori-arang-akt>.
- Weber, C. J., Geiger, S., & Falusi, S. (2014). Material review of Li ion battery separators. *Packaging-Materials Review AIP Conference Fundamental Principals of Battery Design: Porous Electrodes AIP Conference*, 1597, 26. <https://doi.org/10.1063/1.4878480>.