



Pemanfaatan *Methylene Blue* Dan Kulit Pisang Sebagai Komponen RFB (*Redox Flow Battery*)

Moch. Hanif Baktiyar ^{1*)}, Anggita Adiningrum ¹⁾, Fatin Septianingsih ¹⁾, dan Bambang Poerwadi ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jln. Mayjend Haryono 167 Malang, 6541, Telp: (0341) 587710 ext: 1333, Fax: (0341)574140

*) Penulis korespondensi : mhanifb@student.ub.ac.id

Abstract

Utilization of Methylene Blue and Banana Peels as RFB Components (Redox Flow Battery). RFB (Redox Flow Battery) is a secondary battery that provides energy conversion between chemistry and electricity through an alternating redox reaction by 2 pairs of electrons and protons. RFB with active ingredient Vanadium (VRB) is a type of RFB that is widely used and has problems such as the price of Vanadium is expensive, is toxic and the solvent (H_2SO_4) is corrosive. Therefore, an inexpensive and environmentally friendly organic electrolyte component emerged, namely Methylene Blue and banana peels. Methylene Blue has 2 electron-proton pairs which provide a reversible redox reaction and have the potential as an active ingredient in the RFB electrolyte. Banana peels have potential as an electrolyte solvent because they contain carbohydrates, citric acid and mineral electrolytes (potassium, sodium salt, phosphorus and magnesium) which support the electrolyte properties of banana peels. The stages of making electrolytes by fermentation of banana peel solution, addition of Methylene Blue and testing (galvanostatic and stress). The test results showed that Methylene Blue was able to provide the best performance (efficiency) on RFB and banana peels as an electrolyte in the battery was able to produce a voltage exceeding the VRB output voltage.

Keywords: Active Material; Banana Peel; Electrolyte Solvents; Methylene Blue; RFB

Abstrak

RFB (Redox Flow Battery) adalah baterai sekunder yang memberikan konversi energi antara kimia dan listrik melalui reaksi redoks bolak balik oleh 2 pasangan elektron dan proton. RFB berbahan aktif Vanadium (VRB) merupakan jenis RFB yang banyak digunakan dan mengalami kendala seperti harga Vanadium mahal, bersifat toksik dan pelarut (H_2SO_4) bersifat korosif. Oleh karena itu muncul gagasan komponen elektrolit organik murah dan ramah lingkungan yaitu *Methylene Blue* dan kulit pisang. *Methylene Blue* memiliki 2 pasang elektron-proton yang memberikan reaksi redoks reversibel dan berpotensi sebagai bahan aktif elektrolit RFB. Kulit pisang berpotensi sebagai pelarut elektrolit karena mengandung karbohidrat, asam sitrat dan mineral elektrolit (kalium, garam sodium, fosfor dan magnesium) yang mendukung sifat elektrolit kulit pisang. Tahapan pembuatan elektrolit dengan fermentasi larutan kulit pisang, penambahan *Methylene Blue* dan pengujian (galvanostatik dan tegangan). Hasil pengujian menunjukkan *Methylene Blue* mampu memberikan performa (efisiensi) terbaik pada RFB dan kulit pisang sebagai elektrolit pada baterai mampu menghasilkan tegangan melebihi tegangan keluaran VRB.

Kata kunci: Bahan Aktif; Kulit Pisang; Methylene Blue; Pelarut Elektrolit; RFB

PENDAHULUAN

Berbagai teknologi penyimpanan energi telah banyak dikembangkan dan diperkenalkan berdasarkan mekanisme termal, mekanis, dan elektrokimia. Di antara semua jenis, *Redox Flow Battery* (RFB) muncul sebagai suatu sistem elektrokimia yang paling menjanjikan sebagai perangkat penyimpanan energi yang dapat mengatasi masalah pemanfaatan sumber energi terbarukan (Lai Y dkk., 2020). *Redox Flow Battery* (RFB) adalah baterai sekunder yang memberikan konversi energi antara kimia dan listrik melalui proses reaksi redoks secara bolak balik oleh dua pasangan elektron dan proton (Zhang Huamin dkk., 2018). RFB memiliki kelebihan diantaranya kemampuan untuk memisahkan kapasitas energi dan daya, daya hidup lama, manajemen dan pemeliharaan termal sederhana, aman, serta kepadatan energi yang rendah. Penggunaan RFB ini diharapkan mampu mengatasi kelemahan dari baterai isi ulang (baterai sekunder), yaitu baterai Li-on (Ding Yu dkk., 2019).

Salah satu komponen penting dari RFB adalah elektrolit yang digunakan. Elektrolit adalah larutan bahan aktif ionik yang menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi, dalam pelarut penghantar listrik. Dalam RFB sendiri terdapat 2 elektrolit terlarut yaitu katolit dan anolit, dimana tersimpan pada 2 reservoir yang berbeda dengan sel elektrokimia (*stack cell*) utama. Elektrolit tersebut berfungsi untuk menyimpan energi listrik ketika proses pengisian (*charging*) dan melepaskan energi listrik ketika proses pelepasan listrik (*discharging*). Dalam pemilihan elektrolit RFB ini harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu, ketersediaan, kinerja, reliabilitas, ramah lingkungan dan aman (Ding dkk., 2017; Leung dkk., 2012). Elektrolit pada RFB sendiri terdiri 2 komponen yaitu bahan aktif redoks dan pelarut. Bahan aktif sendiri mempunyai fungsi yaitu sebagai penyedia pasangan elektron untuk melakukan proses reaksi reduksi-oksidasi. Melalui proses reaksi reduksi-oksidasi tersebut, energi disimpan secara reversibel dan dilepaskan oleh RFB. Bahan aktif sendiri sangat mempengaruhi performa dari RFB, dimana konsentrasi tinggi serta tegangan kerja yang tinggi dari bahan aktif dalam pelarut elektrolit akan menyebabkan kepadatan (densitas) energi yang tinggi yang nantinya mempengaruhi efisiensi RFB (Gong dkk., 2015; Zhang dkk., 2018). Sedangkan pelarut sendiri berfungsi mengontrol dan mengionisasi bahan (spesies) aktif menjadi ion-ion nya. (Shinkle dkk., 2014).

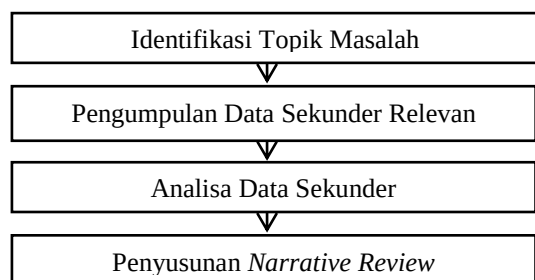
Aplikasi RFB yang telah dikembangkan hingga saat ini adalah RFB dengan bahan aktif Vanadium disebut juga *Vanadium Redox Battery* (VRB), dibalik banyaknya kelebihan VRB, VFB ini juga memiliki banyak masalah dalam pengoperasiannya diantaranya logam Vanadium yang bersifat toksik, mahal, langka, serta pelarut elektrolit (H_2SO_4) yang digunakan bersifat korosif. Selain itu, terjadi kontaminasi silang (*cross over*) ion logam Vanadium pada katoda dan anoda menyebabkan kepadatan energi dan efisiensi

rendah, serta membuat voltase dibatasi hanya sebesar 1,2V (Winsberg dkk., 2016; Lai dkk., 2020; Potash dkk., 2015). Oleh karena itu, muncul gagasan perlu dikembangkan RFB dengan komponen elektrolit (bahan aktif dan pelarut) bersifat organik yang bersifat berkelanjutan, mudah diurai, mudah didaur ulang, lebih aman dan lebih murah yang mampu meningkatkan performa RFB (Armstrong dkk., 2019). Diketahui bahwa pewarna *Methylene Blue* memiliki potensi elektrokimia dapat dijadikan sebagai bahan aktif elektrolit RFB, menggantikan Vanadium. *Methylene Blue* adalah pewarna turunan tiazin (warna biru gelap-hijau) yang pada umumnya digunakan sebagai pewarna dalam industri tekstil maupun industri percetakan. *Methylene Blue* memiliki 2 pasangan elektron proton yang mampu memberikan reaksi reduksi oksidasi (redoks) yang bersifat *reversible* dengan konstanta kecepatan transfer elektron yang tinggi untuk membentuk *Leuco Methylene Blue* (tidak berwarna) dalam kondisi asam. Selain itu, *Methylene Blue* memiliki tingkat kestabilan tinggi di semua tingkat oksidasinya. Potensi elektrokimia yang dimiliki menjadikan MB sebagai indikator redoks yang bagus. Dengan potensi tersebut, MB berpotensi besar dijadikan sebagai penyedia pasangan redoks (bahan aktif) pada elektrolit RFB (Kosswattaarachchi & Cook dkk., 2018).

Selain bahan aktif, pelarut elektrolit juga menjadi pendukung dalam sistem RFB. Sejauh ini, sistem RFB dengan Vanadium menggunakan pelarut elektrolit anorganik berupa H_2SO_4 , HCl, dan lainnya, dimana bersifat toksik. Oleh karena itu diperlukan pengembangan pelarut organik seperti biomassa. Dalam penelitian ini, kami mencoba menggunakan biomassa kulit pisang sebagai pengganti H_2SO_4 yang bersifat toksik. Diketahui bahwa kulit pisang memiliki kandungan Karbohidrat, Air, Asam Sitrat, dan mineral elektrolit seperti Kalium, Klorida, Fosfor, Magnesium (Hendri dkk., 2015; Widyaningsih dkk., 2017; Yanasari dan Refelita, 2017). Kandungan tersebut mendukung sifat elektrolit dari kulit pisang dan berpotensi sebagai pelarut elektrolit. Nantinya larutan elektrolit kulit pisang akan dikombinasikan dengan bahan aktif berupa *Methylene Blue* sebagai komponen elektrolit RFB berbasis organik yang diharapkan mampu menggantikan RFB berbasis anorganik seperti VRB dan memberikan performa bagus pada RFB.

METODE PENELITIAN

Penelitian PKM ini dilaksanakan dalam kurun waktu 2 bulan. Dikarenakan dalam kondisi pandemi COVID-19, penelitian dilakukan dengan menggunakan metode berupa *Literature Review*. *Literature Review* adalah metode penelitian yang mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengkaji secara kritis pengetahuan, gagasan, atau metode temuan pada beberapa sumber literature yang terkait dengan fokus topik tertentu (Triandini dkk., 2019). Rencana pelaksanaan kegiatan yang akan dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Identifikasi Topik Masalah

Sebelum penyusunan *narrative review*, dilakukan identifikasi topik masalah yang akan dibahas pada *narrative review* dan dijadikan sebagai dasar pencarian data sekunder dengan topik relevan. Topik masalahnya yaitu *Redox Flow Battery*, potensi dan pemanfaatan *Methylene Blue* sebagai bahan aktif RFB, potensi kulit pisang sebagai pelarut elektrolit, serta pemanfaatan kulit pisang sebagai elektrolit pada beberapa aplikasi baterai.

Pengumpulan Data Sekunder yang Relevan

Setelah itu, dilakukan pengumpulan data sekunder yang relevan dari berbagai sumber literatur (jurnal dan data sekunder lainnya) yang sudah dipublikasikan melalui berbagai jenis *databases* seperti *Google Search*, *Research Gate*, *Google Scholar*, dan *Science Direct* dengan tahun penerbitan pada rentang tahun 2010 hingga 2020. Jenis jurnal yang diambil seperti *Journal of Power Sources*, *Journal of Applied Energy Materials*, *Journal of Chemistry Materials*, dan *Journal of Electrochemical*. Kriteria inklusi yang ditetapkan adalah literatur berskala nasional maupun internasional mengenai *Redox Flow Battery*, potensi dan pemanfaatan *Methylene Blue* sebagai bahan aktif elektrolit RFB, potensi kulit pisang sebagai pelarut elektrolit, dan pemanfaatan kulit pisang sebagai elektrolit baterai.

Analisa Data Sekunder

Setelah didapatkan data sekunder relevan, kemudian dilakukan analisa data berupa data pendukung mengenai potensi *Methylene Blue* dan hasil performa RFB ketika menggunakan *Methylene Blue* yang mendukung MB dapat dijadikan bahan aktif RFB. Selain itu terdapat analisa data mengenai potensi elektrolit kulit pisang dan hasil performa baterai dengan elektrolit kulit pisang yang mendukung kulit pisang dapat dijadikan sebagai pelarut elektrolit RFB. Dengan pedoman topik masalah, dilakukan pencarian literatur dan didapatkan 60 jurnal. Setelah itu disaring berdasarkan inklusi berdasarkan judul dan abstrak didapatkan 10 jurnal tidak dapat diakses, 40 jurnal sesuai topik masalah dan 10 jurnal tidak sesuai. Kemudian disaring lebih lanjut perihai isi berdasarkan inklusi didapatkan 12 jurnal tidak sesuai dan 28 jurnal sesuai dan siap dikaji untuk disusun *narrative review*.

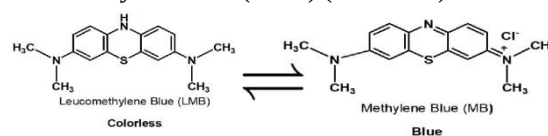
Pembuatan Narrative Review

Hasil analisa data disusun menjadi *narrative review* yang terdiri dari pendahuluan, *Redox Flow Battery*, elektrolit RFB (bahan aktif dan pelarut), potensi *Methylene Blue* sebagai bahan aktif RFB, perbandingan beberapa hasil performa RFB dengan MB, perbandingan hasil performa baterai dengan elektrolit kulit pisang, kesimpulan dan saran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

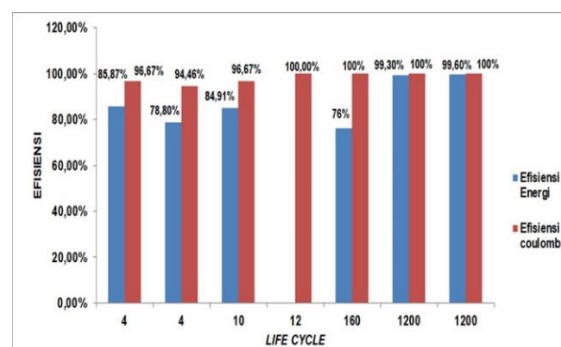
Potensi dan pengujian pewarna *Methylene Blue* sebagai bahan aktif elektrolit RFB

Seiring dengan penggunaan bahan aktif anorganik pada RFB yang memiliki banyak kendala, memicu pengembangan mengenai bahan organik sebagai bahan aktif elektrolit RFB. Dalam *aqueous* RFBs, serangkaian bahan organik aktif redoks yang telah diselidiki seperti turunan senyawa antrakuinon (Liu dkk., 2019; Burkhardt dkk., 2017), viologens (Liu dkk., 2016; DeBruler dkk., 2017), TEMPO (2,2,6,6-tetrametil-1-piperidinyloxy) (Janoschka dkk., 2015), Turunan komponen Poly(boron-dipyrrromethene) (Winsberg dkk., 2016), BR5 (Lai dkk., 2020) dan turunan Fenotiazin (PTZ) (Zhang dkk., 2019). Turunan PTZ dilaporkan memiliki potensi redoks yang tinggi. Dari semua turunan PTZ, MB merupakan pewarna yang sering dijumpai dan digunakan pada industri tekstil. Diketahui bahwa MB memiliki kation di dalam struktur trisiklik yang menghubungkan satu klorida atau anion asetat, dan reaksi redoksnya melibatkan transfer dua elektron di posisi nitrogen dan cincin aromatik. MB mampu memberikan 2 pasang elektron proton yang mampu memberikan potensi redoks yang bersifat *reversible* dengan kecepatan transfer elektron tinggi membentuk *Leuco Methylene Blue* (LMB) (Gambar 2).



Gambar 2. Mekanisme Redoks *Methylene Blue* dan *Leuco Methylene Blue* (Zhang dkk., 2019; Kosswattaarachchi dkk., 2018)

Gambar 3 menunjukkan beberapa penelitian MB sebagai bahan aktif RFB.



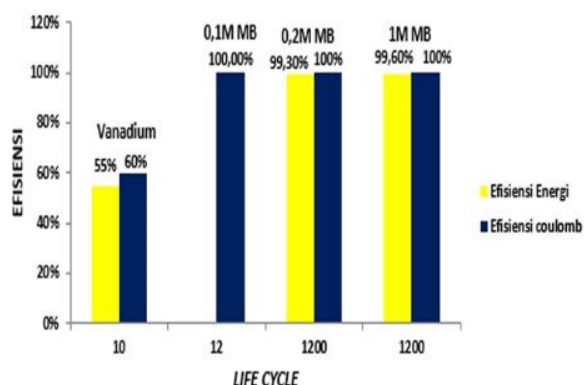
Gambar 3. Grafik perbandingan nilai efisiensi energi dan coulomb untuk RFB dengan bahan

aktif *Methylene Blue* dan *Methylene Blue* + Vanadium

Keterangan gambar:

A: 0,0015 M *Methylene Blue* + 0,15 Vanadium (2 M H_2SO_4) (Lee dkk., 2018); **B:** 0,0015 M *Methylene Blue* + 0,15 Vanadium (2 M HCl) (Lee dkk., 2018); **C:** 0,15 M *Methylene Blue* + 0,15 Vanadium (2 M H_2SO_4) (Lee dkk., 2018); **D:** 0,1 M *Methylene Blue* (0,5 M H_2SO_4) (Kosswattarachchi dkk., 2018); **F:** 1 M *Methylene Blue* (Katolit) + 0,8 M V(II) (Anolit) (3,5 M H_2SO_4) (Zhang dkk., 2019); **G:** 0,2 M *Methylene Blue* (3,5 M H_2SO_4) (Zhang dkk., 2019); **H:** 2 M *Methylene Blue* (3,5 M H_2SO_4) (Zhang dkk., 2019)

Dari data Gambar 3, diketahui adanya penurunan nilai efisiensi khususnya efisiensi energi pada RFB dengan adanya penambahan ion V(II) sebagai anolit dibandingkan dengan ketika menggunakan MB pada sisi anolit dan katolit. Penurunan efisiensi dikaitkan dengan anolit V (II) yang tidak stabil tanpa *inert atmosphere protection* dan terjadi persilangan ion vanadium selama operasi jangka panjang. Kelebihan anolit Vanadium bisa memastikan akan terjadinya proses *discharge/charge* pada katolit MB dalam siklus awal. Namun, oksidasi V(II) dan persilangan ion Vanadium dapat mengakibatkan kurangnya konsentrasi anolit pada saat siklus berlangsung, sehingga menyebabkan pemudaran kapasitas V-MB RFB. Berbeda halnya ketika hanya menggunakan MB murni sebagai bahan aktif, RFB mampu mencapai 1200 siklus tanpa masalah yang berarti dengan tingkat efisiensi energi mencapai 99,6%. Hal ini disebabkan ketika menggunakan MB sebagai bahan aktif tidak akan terjadi persilangan ion yang menyebabkan adanya pengurangan konsentrasi pada sisi anolit maupun katolit, sehingga membuat sistem lebih stabil pada kedua sisi yang menyebabkan RFB mampu dijalankan dalam siklus panjang.



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai efisiensi energi dan coulomb untuk RFB dengan bahan aktif *Methylene Blue* dan Vanadium (Jeong S Kim dkk., 2014)

Dari Gambar 4, diketahui bahwa RFB berbahan aktif MB sendiri memiliki nilai efisiensi energi maupun *Coulomb* terbaik daripada Vanadium, dimana

hampir mendekati 100%. Hal ini dikarenakan MB yang lebih stabil sebagai elektrolit RFB, dimana tidak ada terjadinya persilangan ion seperti yang ditunjukkan Vanadium pada RFB yang dapat menyebabkan penurunan kapasitas dan memicu penurunan efisiensi dan siklus RFB. Dengan hasil diatas diketahui bahwa *Methylene Blue* mampu memberikan performa terbaik pada RFB daripada Vanadium, karena kestabilannya dan potensi elektrokimianya dalam RFB dan berpotensi besar mampu menggantikan Vanadium sebagai bahan aktif elektrolit RFB.

Potensi Kulit Pisang sebagai Pelarut Elektrolit

Komponen elektrolit yang lain pada RFB adalah pelarut. Pelarut sendiri berfungsi mengontrol dan mengionisasi bahan (spesies) aktif menjadi ion-ion nya. (Shinkle A A dkk., 2014). Seiring dengan dampak yang ditimbulkan pada pelarut anorganik, memicu perkembangan pelarut organik. Pelarut RFB harus memiliki konduktivitas ion tinggi dan kelarutan tinggi terhadap bahan aktif. Dari semua bahan organik, biomassa buah merupakan kandidat menjanjikan untuk berpotensi dijadikan sebagai pelarut elektrolit karena memiliki sifat asam atau basa yang mampu menghantarkan ion-ion elektron dengan baik. Biomassa yang paling banyak dihasilkan sejauh ini yaitu kulit pisang. Potensi ketersediaan pisang yang cukup melimpah turut menghasilkan limbah kulit pisang yang melimpah juga sebanyak 1/3 massa dari buah pisang yang belum dikupas, sehingga diperkirakan potensi kulit pisang sebanyak 2,42 juta ton per tahun (Basse, 2000).

Kulit pisang sendiri banyak mengandung beberapa mineral yang dapat berfungsi sebagai elektrolit diantaranya kalium (mineral terbanyak dalam kulit pisang) dan garam sodium (Cl^-) yang dapat membentuk Kalium Klorida (elektrolit kuat), serta fosfor (Widyaningsih dkk., 2017; Yanasari dan Refelita, 2017). Selain itu, kulit pisang juga mengandung karbohidrat dan asam sitrat. Karbohidrat sendiri mengandung glukosa, dimana jika difermentasi secara anaerob selama beberapa hari, maka glukosa dalam karbohidrat tersebut akan terurai menjadi alkohol (etanol) dan gas karbondioksida (CO_2). Kemudian, alkohol primer dioksidasi menjadi asam karboksilat dan asam asetat (CH_3COOH) dengan pH sekitar 3-4. Asam asetat sendiri merupakan zat elektrolit yang nantinya mendukung potensi elektrolit pada kulit pisang (Setyowati dkk., 2020; Nurismanto dkk., 2014). Reaksi pembentukan asam asetat ditunjukkan pada reaksi 1 dan 2 ini: (Setyowati dkk., 2020).



Pengujian Kulit Pisang Sebagai Pelarut Elektrolit

Pelarut elektrolit sendiri diharapkan memiliki konduktivitas ion tinggi dan kelarutan tinggi terhadap bahan aktif. Untuk mengevaluasi konduktivitas ionnya dengan dilihat pada keluaran tegangan yang keluaran

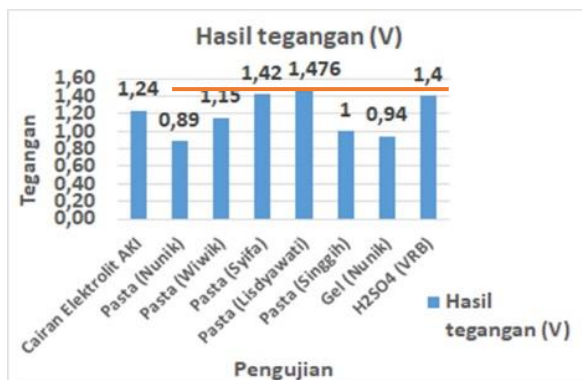
tegangan dan arus pada saat diaplikasikan ke baterai. Beberapa pengujian kulit pisang sebagai pelarut (cairan) elektrolit diaplikasikan pada *Bio-Battery* yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian yang menggunakan limbah kulit pisang

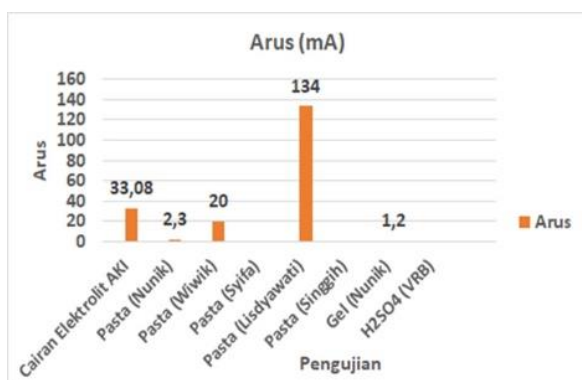
Bahan Baku	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Referensi
Kulit pisang ambon, raja, mas, dan kapok	Waktu fermentasi : 48, 92, 144, dan 196 jam	- Pisang ambon menghasilkan nilai kelistrikan tertinggi - Semakin lama proses fermentasi maka meningkatkan keasaman dan juga meningkatkan keluaran tegangan	Hendri dkk., 2015
Kulit Pisang	Waktu fermentasi : 12 hari dengan perebusan awal selama 15 menit	- Waktu fermentasi berpengaruh terhadap nilai pH pada pasta pisang - Semakin lama proses fermentasi maka akan meningkatkan tegangan	Setyowati dkk., 2020
Kulit pisang raja	Kulit pisang dicampur dengan campuran asam cuka dan air 50 ml lalu didiamkan selama 30 menit	- Tegangan yang dihasilkan baterai dengan elektrolit kulit pisang dengan perendaman asam cuka lebih besar - Ketahanan batu baterai pisang tanpa campuran hanya mampu bertahan selama 96 jam, - Kulit pisang + CH_3COOH 90% + 50 ml H_2O mampu bertahan selama 984 jam	Widyaningsih dkk., 2017
Kulit pisang ambon putih, pisang raja sere dan pisang raja bulu	Penambahan garam elektrolit berupa garam NaCl, KCl, MgCl_2 , penambahan kanji	- Tegangan dan daya tahan maksimal dihasilkan oleh kulit pisang dengan perendaman KCl 0,75 gram masing-masing 1,40 V dan 5880 menit. - KCl dapat terionisasi sempurna menjadi K^+ + Cl^-, dan KCl memiliki bilangan angkut lebih besar dibandingkan dengan NaCl sehingga KCl lebih mudah menghantarkan listrik	Fadilah dkk., 2015
Kulit pisang kapok	Variabel waktu yaitu 20, 40, dan 60 menit dengan kondisi suhu pengeringan sebesar 100°C dan 150°C	Nilai tegangan maksimal, arus maksimal, dan daya terbesar pada suhu pengeringan 100°C selama waktu pengeringan 60 menit, yaitu berturut-turut sebesar 1,476 V, 0,134 Ampere, dan 0,198 Watt.	Lisdawati dkk., 2018
Kulit Pisang	Waktu pengeringan : 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 10 jam	- Semakin lama pengeringan semakin besar tegangan yang dihasilkan - Tegangan maksimal 1 V untuk 10 jam pengeringan	Singgih dkk., 2018

Diketahui bahwa *Vanadium Redox Battery* dengan pelarut elektrolit asam sulfat (H_2SO_4) menghasilkan potensial tegangan 1,2 V. Dalam hal menggantikan peran H_2SO_4 tentunya memerlukan hasil tegangan yang mendekati, bahkan melebihi daripada yang dihasilkan VRB. Setelah dianalisa pada beberapa pengujian potensi kulit pisang pada baterai, didapatkan hasil bahwa elektrolit kulit pisang mampu menghasilkan voltase yang melebihi voltase pada VRB dimana voltase tertinggi berada pada nilai

1,476 V. Selain itu juga dihasilkan beberapa nilai arus. Hal ini menunjukkan bahwa elektrolit dari kulit pisang telah mampu menghantarkan listrik dengan baik, berarti konduktivitas ionnya pun besar dan membuat kulit pisang dapat dijadikan sebagai pelarut elektrolit RFB. Perbandingan hasil tegangan dan arus yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.



a



b

Gambar 5. (a) Perbandingan hasil tegangan dan (b) arus dari berbagai jenis pengujian kulit pisang sebagai elektrolit dengan elektrolit H₂SO₄ (VRB)

Selain itu, pelarut (cairan) elektrolit diharapkan memiliki kelarutan tinggi terhadap bahan aktif, karena kelarutan tinggi dapat memicu kepadatan energi tinggi dan performa tinggi pada RFB. Diketahui bahwa kulit pisang mampu diubah menjadi asam asetat melalui fermentasi dan evaporasi dengan kadar 21%. Diketahui bahwa menurut Zhang Chang (2019), asam asetat mampu meningkatkan kelarutan dari *Methylene Blue* pada RFB. Diketahui bahwa pada sistem elektrolit *Methylene Blue* (MB) dengan H₂SO₄ hanya memberikan kelarutan sebesar 0,6 M. Namun ketika ada penambahan asam asetat ke dalam sistem tersebut, kelarutan meningkat menjadi 1,8 M; bahkan ketika elektrolit yang digunakan asam asetat murni mampu memberikan kelarutan >2 M. Hal ini menunjukkan bahwa asam asetat mampu memberikan kelarutan tinggi pada MB (Zhang dkk., 2019). Dengan potensi tersebut tentunya memberikan peluang besar bagi kulit pisang sebagai pelarut (cairan) elektrolit.

KESIMPULAN

Diketahui bahwa *Methylene Blue* dapat dijadikan sebagai bahan aktif dari komponen elektrolit RFB. MB mampu memberikan efisiensi energi maupun *Coulomb* yang sangat tinggi pada RFB yaitu mendekati 100% selama 1200 siklus tanpa ada masalah. Selain itu kulit pisang juga dapat dijadikan sebagai pelarut (cairan) elektrolit dikarenakan dapat menghantarkan arus listrik dan menghasilkan tegangan melebihi tegangan VRB oleh H₂SO₄ (1,2 V) sebesar 1,476 V. Selain itu, asam asetat dari kulit pisang mampu memberikan kelarutan tinggi dengan MB.

DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, C. G., Hogue, R. W., dan Toghill, K. E. (2019). Application of the Dianion Croconate Violet for Symmetric Organic Non-Aqueous Redox Flow Battery Electrolytes. *Journal of Power Sources*, 440, 227037.
- Basse. (2000). *Compost Engineering. An Arbour Science*. London.
- Burkhardt, Lena Hooper. (2017). A New Michael-Reaction-Resistant Benzoquinone for Aqueous Organic Redox Flow Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 164 (4) A600-A607. Hawaii : Honolulu.
- DeBruler, C., Hu, B., Moss, J., Liu, X., Luo, J., Sun, Y., dan Liu, T. L. (2017). Designer Two-Electron Storage Viologen Anolyte Materials for Neutral Aqueous Organic Redox Flow Batteries. *Chem*, 3(6), 961-978.
- Ding, Y., Zhang, C., Zhang, L., Zhou, Y., dan Yu, G. (2019). Pathways to Widespread Applications: Development of Redox Flow Batteries Based On New Chemistries. *Chem*, 5(8), 1964-1987.
- Fadilah, S., Rahmawati, R., dan P Kim, M. (2015). Pembuatan Biomaterial dari Limbah Kulit Pisang (*Musa Paradisiaca*). *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, 4(2), 25-29.
- Gong, K., Ma, X., Conforti, K. M., Kuttler, K. J., Grunewald, J. B., Yeager, K. L dan Yan, Y. (2015). A Zinc-Iron Redox-Flow Battery Under \$100 Per kW h of System Capital Cost. *Energi & Environmental Science*, 8(10), 2941-2945.
- Hendri, Y. N. (2015). Pengaruh Jenis Kulit Pisang dan Variasi Waktu Fermentasi terhadap Kelistrikan dari Sel Accu dengan menggunakan Larutan Kulit Pisang. *PILLAR OF PHYSICS*, 6(2).
- Janoschka, T., Martin, N., Martin, U., Friebe, C., Morgenstern, S., Hiller, H., dan Schubert, U. S.

- (2015). An Aqueous, Polymer-Based Redox-Flow Battery Using Non-Corrosive, Safe, and Low-Cost Materials. *Nature*, 527(7576), 78-81.
- Jeong, S., Kim, L. H., Kwon, Y., dan Kim, S. (2014). Effect of Nafion Membrane Thickness on Performance of Vanadium Redox Flow Battery. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(11), 2081-2087.
- Kosswattaarachchi, A. M dan Cook, T. R. (2018). Repurposing The Industrial Dye Methylene Blue as an Active Component for Redox Flow Batteries. *ChemElectroChem*, 5(22), 3437-3442.
- Lai, Y. Y., Li, X., Liu, K., Tung, W. Y., Cheng, C. F., dan Zhu, Y. (2020). Stable Low-Cost Organic Dye Anolyte for Aqueous Organic Redox Flow Battery. *ACS Applied Energy Materials*, 3(3), 2290-2295.
- Lee, W dan Kwon, Y. (2018). Performance Evaluation of Aqueous Organic Redox Flow Battery Using Methylene Blue and Vanadium Redox Couple. *Korean Chemical Engineering Research*, 56(6), 890-894.
- Leung, P., Li, X., De León, C. P., Berlouis, L., Low, C. J., dan Walsh, F. C. (2012). Progress in Redox Flow Batteries, Remaining Challenges and Their Applications in Energy Storage. *Rsc Advances*, 2(27), 10125-10156.
- Lisdawati, A. N dan Faridha, M. (2018). Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Pengeringan Sampel Pasta Baterai Kulit Pisang Kepok "Manurun" pada Tegangan dan Arus Listrik Baterai. *Jurnal EEICT (Electric, Electronic, Instrumentation, Control, Telecommunication)*, 1(1).
- Liu, T., Wei, X., Nie, Z., Sprengle, V., dan Wang, W. (2016). A Total Organic Aqueous Redox Flow Battery Employing a Low Cost and Sustainable Methyl Viologen Anolyte and 4-HO-TEMPO Catholyte. *Advanced Energy Materials*, 6(3), 1501449.
- Liu, Y., Lu, S., Chen, S., Wang, H., Zhang, J., dan Xiang, Y. (2019). A Sustainable Redox Flow Battery with Alizarin-Based Aqueous Organic Electrolyte. *ACS Applied Energy Materials*, 2(4), 2469-2474.
- Nurismanto, R., Mulyani, T., dan Tias, D. I. N. (2014). Pembuatan Asam Cuka Pisang Kepok (Musaparadisiaca L.) Dengan Kajian Lama Fermentasi Dan Konsentrasi Inokulum (Acetobacteracetii). *Jurnal Reka Pangan*, 8(2), 149-155.
- Potash, R. A., McKone, J. R., Conte, S., dan Abruña, H. D. (2015). On The Benefits of a Symmetric Redox Flow Battery. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(3), A338.
- Setyowati, N. (2020). Analisis Kelistrikan Limbah Biomassa Sebagai Gel Elektrolit Baterai. *Doctoral Dissertation*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Indonesia.
- Shinkle, A. A., Pomaville, T. J., Sleightholme, A. E., Thompson, L. T., dan Monroe, C. W. (2014). Solvents and Supporting Electrolytes for Vanadium Acetylacetonate Flow Batteries. *Journal of Power Sources*, 248, 1299-1305.
- Singgih, S dan Ikhwan, N. (2018). Potensi Kulit Pisang Sebagai Pengganti Pasta Elektrolit Isi Baterai Pada Robot Line Follower. *Kalium (mg/100 gr)*, 71, 5.
- Triandini, E., Jayanatha, S., Indrawan, A., Putra, G. W., dan Iswara, B. (2019). Metode Systematic Literature Review untuk Identifikasi Platform dan Metode Pengembangan Sistem Informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems*, 1(2), 63-77.
- Widyaningsih, W. P., dan Mulud, T. H. (2017). Analisis Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Sebagai Energi Alternatif Pada Baterai. *Eksergi*, 13(2).
- Winsberg, J., Hagemann, T., Muench, S., Friebe, C., Häupler, B., Janoschka, T., dan Schubert, U. S. (2016). Poly (boron-dipyrromethene), A Redox-Active Polymer Class for Polymer Redox-Flow Batteries. *Chemistry of Materials*, 28(10), 3401-3405.
- Yanasari, R. (2017). Pemanfaatan Kulit Pisang (*Musa Paradisiaca*) Sebagai Pembuatan Baterai Pengganti Larutan Elektrolit Sel Volta Pada Praktikum Sel Elektrokimia di Sekolah Madrasah Aliyah Negeri 1 Pekanbaru. *Doctoral Dissertation*, Universitas Islam Negeri Sulthan Syarif Kasim Riau.
- Zhang, C., Zhang, L., Ding, Y., Peng, S., Guo, X., Zhao, Y., dan Yu, G. (2018). Progress and Prospects of Next-Generation Redox Flow Batteries. *Energy Storage Materials*, 15, 324-350.
- Zhang, C., Niu, Z., Peng, S., Ding, Y., Zhang, L., Guo, X., dan Yu, G. (2019). Phenothiazine-Based Organic Catholyte for High-Capacity and Long-Life Aqueous Redox Flow Batteries. *Advanced Materials*, 31(24), 1901052.