



POTENSI SENYAWA OKSIDA DARI BLONDO SEBAGAI KATODA BATERAI (POTENCY OF OXIDE COMPOUNDS FROM *BLONDO* AS BATTERY CATHODE)

Indra Amin Jaya, Intan Syahbanu*, Nelly Wahyuni

Department of Chemistry, Tanjungpura University, Indonesia

**Corresponding author: intan.syahbanu@chemistry.untan.ac.id*

DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/indonesian.v5i3.59225>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 October 2022

Accepted 31 October 2022

Available online
31 October 2022

Keywords:

Blondo, Battery
Cathode, Calcination,
Oxide Compounds

ABSTRACT

The limited source of Lithium (Li) as the main material for battery cathodes has become a problem in the development of the new and renewable energy (EBT) sector. Based on their reduction potential and availability on earth, elements that might be suspected include Potassium (K), Sodium (Na), Magnesium (Mg), and Calcium (Ca). All cannot be obtained from natural ingredients, one of which is blondo. Blondo is a by-product of coconut oil processing that has not been used optimally. This study used the calcination process by varying the time (5, 7, and 9 hours) and temperature (450, 550, and 650°C) to obtain optimal oxide compounds from blondo. Making the cathode using a mixture of blondo and Polyvinyl Alcohol (PVA) with a composition ratio of 20:1 attached to a stainless steel plate. Testing the percentage of oxide compounds was carried out using X-Ray Fluorescence (XRF) which showed that the calcination process caused the percentage levels of oxide compounds to increase K₂O, P₂O₅, MgO, and Cl. However, when the calcination time and temperature were increased, it did not significantly affect the levels of oxide compounds produced previously. The effect of calcination temperature is known from the results of X-Ray Diffraction (XRD) which shows that the higher the calcination temperature, the smaller the crystal size of the oxide compound. At temperatures of 450, 550, and 650°C the yields are 50.0; 47.5, and 36.4 nm. This is also supported by the results of XRF testing where K₂O is the most dominant component of the oxide compound in calcined blondo. The test as a cathode material was carried out for three cycles resulting in an average charge capacity of 14.67 mAh, and an average discharge capacity of 5.34 mAh so that the average efficiency was 55.68%.

© 2022 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Pemenuhan kebutuhan energi listrik di dunia melalui energi baru terbarukan (EBT) telah menjadi solusi dari ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, pengembangan EBT juga harus diikuti dengan kemajuan teknologi sistem penyimpanan energinya yaitu baterai. Baterai merupakan perangkat yang dapat menyimpan dan menghasilkan energi listrik melalui reaksi

elektrokimia. Salah satu baterai yang telah populer digunakan adalah baterai berbasis litium (Li). Kelebihan baterai litium yaitu memiliki densitas energi dan daya yang tinggi, *fast charging*, tidak ada memori efek, stabilitas energi yang tinggi, dan dapat dikemas lebih ringan [1].

Akan tetapi, permasalahan pada baterai berbasis Li terletak pada sumber Li di bumi sangat terbatas yang hanya terdiri dari 0,0017% berat kerak bumi. Sedangkan permintaan baterai secara global akan meningkat dari 725 GWh pada tahun 2020 menjadi 1500 GWh pada tahun 2030 [2]. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan antara ketersediaan dan permintaan baterai, sehingga akan berdampak pada harga baterai berbasis Li yang sangat mahal dan dunia mengalami krisis litium.

Solusi alternatif yang dapat digunakan adalah mengganti Li sebagai bahan aktif baterai dengan unsur lain yang lebih banyak ketersediannya dan memiliki nilai potensial redoks yang mendekati Li yaitu sebesar -3,04 V [3]. Unsur-unsur tersebut diantaranya kalium (K) yang memiliki potensial redoks sebesar -2,93 V, Natrium (Na) sebesar -2,71 V, Magnesium (Mg) -2,36 V dan Kalsium (Ca) -2,9 V [4][5][6][7]. Semua unsur tersebut dapat ditemukan dari bahan alam dengan mendekomposisi senyawa yang terkandung didalamnya menjadi senyawa oksida melalui proses kalsinasi.

Salah satu bahan alam mengandung unsur kalium, natrium, magnesium dan kalsium yang tinggi adalah *blondo*. *Blondo* merupakan produk samping dari proses pengolahan minyak kelapa yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai produk pangan dan pakan, sehingga tingginya produksi minyak kelapa mengakibatkan *blondo* tidak dimanfaatkan secara optimal [8]. Unsur di dalam *blondo* ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan komponen penyusun baterai. Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian tentang dekomposisi senyawa yang terkandung di dalam *blondo* menjadi senyawa oksida yang kemudian diaplikasikan sebagai bahan aktif baterai.

Penelitian tentang dekomposisi senyawa di dalam bahan alam menjadi senyawa oksida melalui proses kalsinasi telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan suhu dan waktu kalsinasi yang berbeda-beda. Penelitian-penelitian tersebut diantaranya tentang kalsinasi pada kulit Markisa untuk menghasilkan senyawa oksida optimum terbentuk pada suhu 500°C dengan durasi waktu 5 jam [9]. Sedangkan kulit buah kapuk 500°C dengan durasi waktu 5 jam [10]. limbah buah kakao 650°C dengan durasi waktu 3 jam [11], dan sekam padi 300°C dengan durasi waktu 3 jam [12].

Publikasi penelitian-penelitian tersebut telah menunjukkan bahwa senyawa oksida dari bahan alam dapat diperoleh dengan proses kalsinasi menggunakan rentang suhu 300-650°C dan waktu 3-5 jam. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui waktu optimum kalsinasi *blondo* beserta pengaruhnya. Oleh karena itu, peneliti menggunakan sampel *blondo* untuk dilakukan proses kalsinasi menjadi senyawa oksida yang dimanfaatkan sebagai katoda baterai. Parameter yang dikaji adalah pengaruh waktu dan suhu kalsinasi terhadap persen kadar dan karakteristik jenis senyawa oksida yang terbentuk menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil karakterisasi yang menunjukkan jenis senyawa oksida konduktor akan diaplikasikan menjadi katoda baterai. Selanjutnya, kinerja *blondo* sebagai katoda baterai diuji kapasitas beserta efisiensinya dalam menyimpan dan melepaskan energi listrik menggunakan uji *Galvanostatic Charge-discharge* (GCD).

2. Metode

2.1. Bahan dan alat

Penelitian ini menggunakan *blondo* sebagai sampel utama yang mana bahan tersebut merupakan limbah hasil pengolahan minyak kelapa yang diperoleh dari Desa Air Putih, Kecamatan Kubu, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Selain itu, penelitian ini

menggunakan plat *stainless steel* ukuran 0,5 cm dan reagen kimia yang digunakan diantaranya adalah akuades (H₂O), pelarut n-heksana, dan *Polvinyl Alcohol* (PVA).

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat-alat gelas standar, ayakan 120 dan 200 *mesh*, desikator, *hotplate*, kertas saring, *magnetic stirrer*, mortar dan alu, neraca analitik, oven, *shaker* dan spatula. Sedangkan instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini adalah difraktometer sinar-X XPERT POWDER PANalytical PW60/40, spektrofotometer FTIR Perkin Elmer Frontier, spektrofotometer XRF PANalytical Epsilon 3, Neware BTSDA Battery Analyzer MTI, dan tanur Heraeus.

2.2. Prosedur Kerja

Preparasi Blondo

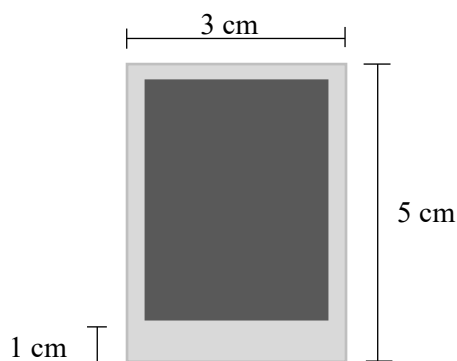
Preparasi blondo dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Permatasari, *et al.*, (2015)^[8] dan telah dilakukan modifikasi. Perlakuan awal blondo ditimbang sebanyak 850 gram. Setelah itu, ditambahkan pelarut n-heksana dengan perbandingan 1:2 untuk membersihkan blondo agar terpisah dari sisa-sisa minyak dan pengotor yang masih melekat pada blondo. Kemudian dikocok dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 2×120 menit pada suhu ruang. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan blondo pada suhu 78°C selama 1 jam. Blondo yang telah kering dihaluskan menggunakan alu dan mortar. Kemudian blondo dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Kalsinasi Blondo

Sebanyak 100 gram blondo dilakukan proses pengabuan dengan mengadopsi metode Samadhi *et al.*, (2018)^[13] dan Sitorus, *et al.*, (2018)^[10] yang dimodifikasi yaitu blondo dikalsinasi menggunakan *muffle furnace* (tanur) dengan variasi temperatur 450, 550 dan 650°C dan variasi waktu 5, 7 dan 9 jam. Abu yang dihasilkan disimpan di dalam desikator selama 24 jam. Kemudian, abu digerus dan diayak menggunakan ayakan 120 *mesh* sehingga diperoleh ukuran yang seragam. Blondo terdekomposisi kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komponen senyawa kimia beserta kadarnya. Selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui jenis senyawa oksida beserta struktur kristalnya. Hasil Karakterisasi XRD diinterpretasikan menggunakan aplikasi *software Match!* untuk mengetahui setiap senyawa berdasarkan sinyal-sinyal serapan sudut 2 θ dan mengetahui kristal beserta strukturnya. Kemudian dihitung ukuran kristal masing-masing menggunakan persamaan Debye Scherrer melalui *microsoft excel*.

Preparasi Katoda Blondo

Pembuatan katoda ini berdasarkan metode Sari dan Endarko (2017)^[14] yang telah dilakukan modifikasi. Pada penelitian ini katoda dibuat menggunakan bahan aktif blondo yang telah dipreparasi dan larutan *Polvinyl Alcohol* (PVA) dengan perbandingan 20:1. Perlakuan awal terlebih dahulu disiapkan plat *stainless steel* berdimensi 5×3 cm dengan ketebalan 0,5 mm yang mana salah satu permukaan plat dikikis menggunakan grenda yang bertujuan untuk menipiskan plat sekaligus memberikan efek kasar agar pasta dapat melekat dengan baik. Kemudian dilanjutkan pada pembuatan pasta katoda dengan cara dipanaskan 5 ml akuades menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 100°C dan ditambahkan PVA sebanyak 0,1 gram sambil diaduk hingga homogen. Setelah larutan PVA homogen, dimasukan blondo sebanyak 2 gram dan diaduk menggunakan batang pengaduk hingga tercampur merata membentuk gel. Pasta katoda (hitam) dan plat (*stainless steel*) yang telah dipreparasi selanjutnya dideposisikan menggunakan spatula seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain rangkaian plat katoda blondo

Uji Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)

Uji *charge-discharge* dilakukan untuk mengetahui kapasitas listrik yang dihasilkan katoda dengan bahan aktif blondo. Pada pengujian ini katoda dihubungkan dengan *Battery Cycler*, kemudian dialiri arus *charge* 3 mA dan *discharge* -3 mA. Kemudian batas tegangan bawah 0,001 Volt dan atas 1,3 Volt. Pada uji ini arus dan beban dibuat konstan, sementara tegangan dicatat seiring berjalannya waktu hingga 10 jam. Data kapasitas dan tegangan yang dihasilkan dipaparkan dalam bentuk kurva *charge-discharge*.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Karakteristik Blondo

Karakterisasi XRF yang bertujuan untuk melihat banyaknya kadar senyawa oksida yang terkandung di dalam blondo terhadap pengaruh variasi waktu^[15]. Proses kalsinasi blondo dilakukan bertujuan untuk menghilangkan fraksi-fraksi volatil seperti karbonat (CO_3^{2-}) sehingga menghasilkan serbuk oksida dengan kemurnian tinggi. Salah satu senyawa yang dominan terkandung di dalam blondo yaitu K_2CO_3 . Ketika dilakukan kalsinasi maka senyawa ini akan terdekomposisi menjadi senyawa oksida kalium. Adapun proses reaksi-reaksi pembentukannya ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2)^[11].



Padatan blondo yang dikalsinasi memiliki ukuran 120 *mesh*. Karena semakin kecil ukuran sampel maka reaksi dekomposisi pada saat kalsinasi akan semakin cepat mencapai kesempurnaan. Proses kalsinasi blondo dilakukan menggunakan suhu 450°C dengan variasi waktu 5, 7 dan 9 jam. Penggunaan variasi waktu tersebut menghasilkan perubahan fisik blondo yang menyerupai arang berwarna abu-abu. Timbulnya warna keabu-abuan pada blondo menunjukkan bahwa masih terdapat sisa senyawa karbon hasil pembakaran yang belum merata. Pengaruh lainnya dapat dilihat dari perolehan rendemen abu yang dihasilkan pada variasi waktu 5, 7 dan 9 jam secara berturut-turut sebanyak 18,36; 18,16; dan 16,11%.

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa semakin lama waktu kalsinasi menyebabkan persen rendemen abu yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dikarenakan penggunaan waktu kalsinasi yang semakin lama menyebabkan reaksi dekomposisi termal tidak hanya terjadi pada bagian permukaan blondo saja, tetapi juga terjadi pada bagian yang lebih dalam melalui mekanisme aliran perpindahan panas sehingga lebih banyak terjadi reaksi antara karbon dengan uap air menjadi karbon dioksida (CO_2) dan gas hidrogen (H_2) yang kemudian menguap bersama pengotor dan senyawa organik lainnya. Hasil yang sama juga pernah dilakukan oleh

Purnama, *et al.* (2015)^[9], yang melakukan kalsinasi pada kulit buah markisa dalam pembuatan abu sebagai sumber kalium dengan meningkatnya waktu kalsinasi dari 1-5 jam diperoleh persen rendemen abu yang semakin menurun.

Selanjutnya blondo tersebut digerus menggunakan alu dan mortar serta dilakukan pengayakan dengan ukuran 200 *mesh*. Tujuan dilakukannya proses ini adalah untuk memperbesar luas permukaan serbuk serta menyeragamkan ukuran sehingga dapat mempermudah proses karakterisasi. Hasil penggerusan dan pengayakan blondo berupa serbuk halus berwarna hitam yang digunakan untuk analisis XRF. Berikut ini hasil karakterisasi XRF blondo setelah dikalsinasi dengan variasi waktu yang ditampilkan dalam bentuk Tabel 1.

Tabel 1. Hasil XRF blondo pada variasi waktu kalsinasi

Waktu (jam)	Komposisi Senyawa Oksida (%b)					
	K ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	Cl	SO ₃	CaO
5	39,30	33,22	7,85	6,53	6,57	2,10
7	35,73	35,59	7,64	6,54	9,33	1,95
9	38,63	33,67	7,97	6,58	7,01	1,97

Berdasarkan hasil karakterisasi XRF pada Tabel 1, menunjukkan bahwa senyawa oksida yang terkandung di dalam blondo tergolong beragam. Setiap variasi waktu menghasilkan persentase kandungan senyawa oksida yang berbeda-beda. Selain itu, diasumsikan masih terdapat kandungan senyawa organik dan pengotor yang belum terdekomposisi sempurna. Keberagaman senyawa oksida dan masih terdapatnya senyawa organik tersebut disebabkan karena tidak dilakukannya pemurnian senyawa target saat proses preparasi. Berdasarkan persen kadar yang dihasilkan, apabila diurutkan senyawa oksida yang dominan terbentuk pada setiap variasi waktu yaitu K₂O diikuti oleh P₂O₅, MgO, Cl, SO₃, CaO, SiO₂ dan lain-lain. Kemudian penggunaan variasi waktu kalsinasi pada blondo tidak memberikan pengaruh yang jauh berbeda terhadap persen kadar senyawa oksida yang dihasilkan ditandai dengan data fluktuatif.

Menurut Zhang, *et al.*, (2019)^[4] dalam penelitiannya menjelaskan apabila hasil kalsinasi dengan variasi waktu yang diperoleh fluktuatif menunjukkan proses kalsinasi tersebut belum sempurna. Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa variasi waktu kalsinasi yang semakin tinggi hanya memberikan pengaruh pada perolehan persen rendemen abu, sedangkan untuk perolehan persen kadar senyawa oksida belum menunjukkan perbedaan yang jauh berbeda.

Pada penelitian ini dipilih waktu terbaik kalsinasi blondo menjadi senyawa oksida untuk pengaplikasiannya sebagai katoda baterai adalah 5 jam. Hal ini didasari oleh perolehan kadar senyawa oksida tertinggi berupa K₂O yang memiliki nilai potensial redoks tertinggi sebesar -2,93 V dan mendekati Li sebesar -3,04 V^[4]. Selain itu, energi yang digunakan paling efisien untuk menghasilkan senyawa oksida. Pemilihan hasil ini mendekati penelitian Purnama, *et al.*, (2019)^[9] yang juga memperoleh waktu terbaik pembentukan K₂O dari kulit buah markisa yaitu 5 jam, namun dengan menggunakan suhu 500°C.

Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Karakteristik Blondo

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui suhu optimum kalsinasi blondo dengan menggunakan waktu 5 jam. Adapun parameternya didasari hasil karakterisasi menggunakan XRF dan dilanjutkan pengujiannya menggunakan XRD untuk mengetahui secara spesifik jenis senyawa oksida yang terbentuk beserta fasa, struktur dan ukuran kristal yang dihasilkan^[17].

Blondo yang dikalsinasi pada suhu 450, 550, dan 650°C menghasilkan persen rendemen abu berturut-turut sebanyak 18,36; 14,86; dan 14,17%. Berdasarkan hasil tersebut diketahui semakin tinggi suhu maka persen rendemen abu yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini dikarenakan reaksi dekomposisi termal berlangsung lebih cepat dan menyebabkan lebih banyak terjadi penguapan air, senyawa organik, pengotor dan bahkan senyawa anorganik seperti logam-logam yang memiliki titik lebur rendah juga melebur. Hasil yang sama juga pernah dilakukan oleh Purnama, *et al.*, (2015)^[9], yang melakukan kalsinasi pada kulit buah markisa dalam pembuatan abu sebagai sumber kalium dengan meningkatnya suhu kalsinasi dari 400°C hingga 700°C diperoleh persen rendemen abu yang semakin menurun. Adapun hasil karakterisasi XRF blondo dengan variasi suhu kalsinasi ditampilkan dalam bentuk Tabel 2.

Tabel 2. Hasil XRF blondo pada variasi suhu kalsinasi

Suhu (°C)	Komposisi Senyawa Oksida (%b)					
	K ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	Cl	SO ₃	CaO
Tanpa Kalsinasi	33,79	26,59	4,34	2,63	5,05	22,73
450	39,30	33,22	7,85	2,10	6,53	6,56
550	38,11	36,56	8,79	2	6,52	3,33
650	39,16	35,80	9,55	2,05	5,85	2,18

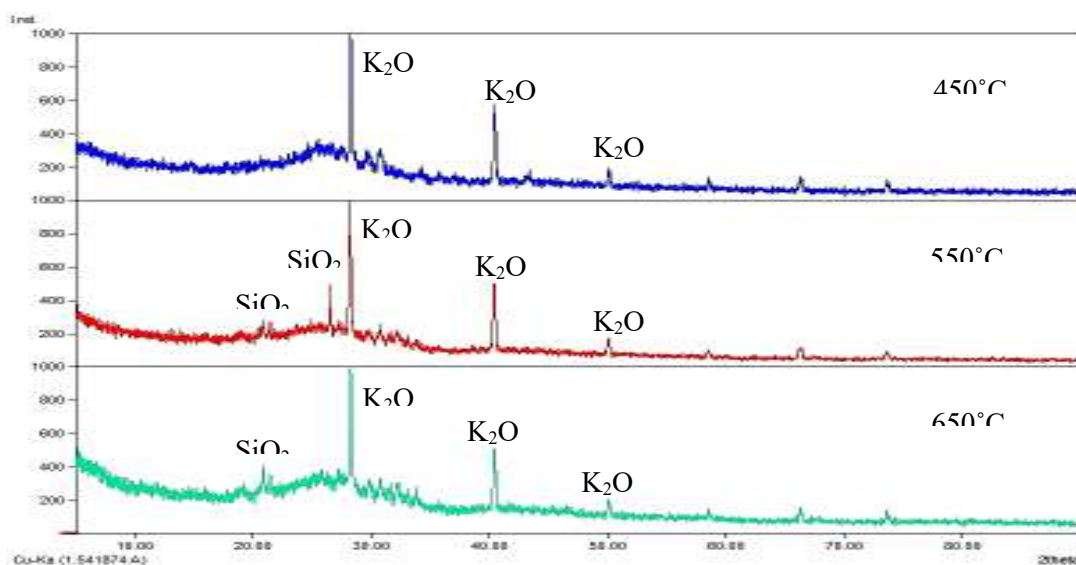
Berdasarkan hasil karakterisasi XRF di atas, menunjukan bahwa proses kalsinasi pada blondo menyebabkan terjadinya peningkatan persen kadar K₂O, P₂O₅, MgO, Cl. Sedangkan CaO, SO₃ dan SiO₂ mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena kalium yang awalnya berbentuk K₂CO₃ ketika dikalsinasi terjadi pelepasan CO₂ hingga tersisa padatan K₂O yang mana perubahan tersebut juga disertai dengan penyusutan kadar karbon dan logam-logam yang memiliki titik lebur rendah (<450°C) di dalam blondo.

Hal tersebut juga terjadi saat penguraian MgCO₃ menjadi MgO. Sedangkan penguraian CaCO₃ menjadi CaO belum berjalan sempurna sehingga mengalami penurunan persen kadar. Hal ini disebabkan penguraian MgCO₃ terjadi lebih dahulu dibandingkan reaksi penguraian CaCO₃, karena energi yang diperlukan untuk proses penguraian MgCO₃ lebih rendah ($\Delta H^\circ = -216,9$ kkal/mol dan $\Delta G^\circ = -241,9$ kkal/mol) dibandingkan dengan CaCO₃ ($\Delta H^\circ = -288,6$ kkal/mol dan $\Delta G^\circ = -269,9$ kkal/mol).

Namun, ketika suhu kalsinasi ditingkatkan menjadi 550°C hingga 650°C hasilnya tidak memberikan pengaruh yang jauh berbeda terhadap persen kadar setiap senyawa oksida yang dihasilkan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kalsinasi pada suhu 450°C sudah cukup untuk menguraikan senyawa-senyawa didalam blondo menjadi senyawa oksida. Apabila diamati lebih lanjut pada hasil XRF diatas, peningkatan suhu kalsinasi hanya mempengaruhi beberapa senyawa oksida sehingga menyebabkan persen kadarnya menurun dan meningkat yaitu SO₃ dan SiO₂. Pada senyawa SO₃ terjadi penurunan persen kadar seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Hal ini dikarenakan sifat dari senyawa SO₃ yang mudah menguap ditandai dengan titik didih sebesar 450°C^[17].

Berdasarkan Gambar 3, menunjukan tiga pola difraktogram sebagai hasil karakterisasi XRD dari blondo yang dikalsinasi dengan variasi suhu yaitu 450, 550 dan 650°C. Ketiga pola difraktogram memiliki nilai-nilai puncak difraksi tertinggi yang hampir mirip. Pada suhu 450°C memiliki nilai sudut 2 θ (28,30°; 40,47° dan 50,16°). Kemudian suhu 550°C memiliki nilai sudut 2 θ (28,25°; 40,42° dan 50,09°). Sedangkan suhu 650°C memiliki nilai sudut 2 θ (28,29°; 40,47°;

50,51°). Nilai-nilai sudut difraksi tersebut teridentifikasi sebagai mineral kalium (K) yang mempunyai struktur kristal kubik (isometrik) dengan No. ICDD 96-901-1977. Apabila dikaji lebih lanjut, nilai puncak difraksi tersebut juga mendekati nilai dari *database* (JCPDS 23-1327) yang merupakan senyawa kalium oksida (K_2O). Senyawa ini memiliki nilai intensitas 1000 cps pada posisi sudut 2θ 28° yang menandakan bahwa K_2O dari blondo dengan perlakuan kalsinasi pada suhu 450, 550, dan 650°C telah membentuk kristal. Sedangkan untuk senyawa SiO_2 justru mengalami peningkatan persen kadar ketika dikalsinasi pada suhu 450°C hingga 650°C. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut menyebabkan silika semakin murni [18]. Kemudian, blondo yang dikalsinasi pada suhu 450, 550 dan 650°C juga dilakukan karakterisasi XRD. Berikut ini difraktogramnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Difraktogram blondo terkalsinasi

Kehadiran kristal K_2O menunjukkan bahwa senyawa karbonat pada blondo berhasil terurai dengan proses kalsinasi. Selain itu, juga menunjukkan bahwa salah satu senyawa oksida dari blondo yang dikalsinasi telah membentuk fasa kristal hanya K_2O , sedangkan senyawa oksida lainnya masih berbentuk amorf sehingga intensitas puncaknya tidak terdeteksi. Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian Husin, *et al.*, (2018)^[19] yang juga memperoleh kristal K_2O dari tandan kosong kelapa sawit dengan proses kalsinasi menggunakan suhu 600°C. Berdasarkan karakterisasi XRD, pengaruh penggunaan suhu kalsinasi yang semakin meningkat dari 450, 550 hingga 650°C menyebabkan bermunculan puncak-puncak baru. Pada suhu 550°C muncul puncak baru di sudut 2θ (20,83°; 26,51°) dan 650°C di sudut 2θ (21,45°; 27,30°). Nilai sudut difraksi masing-masing teridentifikasi sebagai senyawa silika oksida (SiO_2) berfasa kuarsa dengan struktur kristal trigonal sesuai No. ICDD 96-900-0779. Sedangkan, pada blondo yang dikalsinasi pada suhu 450°C tidak terlihat puncak kristal SiO_2 , hal ini dikarenakan SiO_2 masih berbentuk *amorf* [20]. Namun apabila dipanaskan terus-menerus hingga suhu 550-870°C cenderung akan mengalami peningkatan kristalinitas membentuk kuarsa dengan struktur trigonal [21].

Selain itu, pengaruh suhu kalsinasi juga menyebabkan nilai intensitas dan nilai FWHM yang dihasilkan berbeda-beda. Hal ini berdampak pada ukuran kristal yang dihasilkan [22]. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye Scherrer. Nilai

estimasi ukuran kristal dihitung dengan merata-ratakan nilai ukuran kristal setiap puncak yang dipilih yaitu K₂O. Hasil perhitungan setiap variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran ukuran kristal K₂O

Suhu (°C)	2θ (°)	Intensitas (cps)	FWHM (°)	Ukuran kristal rata-rata (nm)
450	28,30	1000	0,17	50,0
	40,47	586,79	0,13	
	50,16	128,82	0,23	
550	28,25	1000	0,20	47,5
	40,42	457,96	0,23	
	50,09	98,26	0,13	
650	28,29	1000	0,23	36,4
	40,47	476,60	0,23	
	50,11	112,25	0,24	

Berdasarkan Tabel 3, menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu kalsinasi yang digunakan maka menghasilkan ukuran kristal rata-rata K₂O yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh peningkatan suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan intensitas puncak K₂O semakin menurun, sehingga nilai FWHM-nya semakin meningkat. Adapun hubungan antara nilai FWHM dan ukuran kristal selalu berbanding terbalik, jika nilai FWHM-nya semakin besar maka ukuran kristal yang dihasilkan semakin kecil dan sebaliknya^[24]. Pada penelitian ini, nilai FWHM terkecil dihasilkan dari blondo yang dikalsinasi pada suhu 450°C. Berdasarkan penelitian Wickedden, *et al.*, (1994)^[24], sampel yang memiliki nilai FWHM lebih kecil dari 0,5° menunjukkan kualitas kristal yang baik. Semakin kecil nilai FWHM menunjukkan susunan kristal yang terbentuk semakin homogen dan berimplikasi pada sifat kelistrikan yang semakin konduktif^[25].

Oleh karena itu, dari segi kemurnian dan kualitas kristal K₂O yang dihasilkan penggunaan suhu 450°C lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan suhu 550 dan 650°C. Karena pada kedua suhu tersebut terjadi pembentukan kristal SiO₂ yang menyebabkan kemurnian kristal K₂O menurun. Hasil yang sama juga terjadi pada penelitian Wang, *et al.*, (2016)^[26], yang melakukan kalsinasi pada jerami gandum, jerami kapas dan serbuk gergaji menggunakan suhu 500°C, masing-masing menghasilkan tiga jenis senyawa oksida utama yaitu SiO₂, CaO dan K₂O. Kemudian jika dibandingkan dengan penelitian Samadhi, *et al.*, (2018)^[13], yang melakukan kalsinasi menggunakan kulit pisang pada suhu 450°C, tandan kosong kelapa sawit dan tongkol jangung pada suhu 550°C menghasilkan abu yang masih mengandung banyak jenis senyawa kalium diantaranya kalium klorida (KCl), kalium iodat (KIO₃) dan kalium karbonat (K₂CO₃).

Oleh karena itu, dalam pengaplikasian senyawa oksida sebagai katoda baterai dibutuhkan senyawa oksida yang dominan berfasa kristal dan bersifat konduktif seperti K₂O. Berdasarkan hasil XRD, suhu terbaik dalam menghasilkan kristal K₂O pada penelitian ini yaitu 450°C dilihat dari terbentuknya fasa kristal K₂O dengan nilai intensitas yang tinggi, lebar puncak atau nilai FWHM yang kecil, ukuran kristal rata-rata yang diperoleh dalam skala nano sebesar 50 nm, dan kemurnian kristal K₂O yang dihasilkan tinggi ditandai dengan tidak terbentuk fasa kristal SiO₂ yang bersifat semikonduktor sehingga menjadi potensi pengaplikasian blondo sebagai bahan aktif katoda baterai. Kemudian, selain K₂O juga terdapat senyawa oksida lain yang bersifat konduktif di dalam blondo. Senyawa oksida tersebut diantaranya CaO dan MgO memiliki nilai

potensial elektroda negatif yang menandakan senyawa tersebut mudah melepaskan elektron atau mengalami oksidasi^[27].

Uji *Galvanostatic Charge-Discharge (GCD)* Katoda Blondo

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas penyimpanan dan pelepasan energi listrik yang dihasilkan sel beserta efisiensinya. Pada proses pengujian ini sebelumnya telah dibuat pasta katoda dari bahan aktif blondo yang dikalsinasi dengan suhu 450°C dan *Polivinil alcohol* (PVA) menggunakan perbandingan komposisi 20:1. Penggunaan PVA ini berfungsi sebagai *binder* (pengikat) antarbahan yang digunakan dan zat untuk meningkatkan viskositas dalam pasta^[14]. Peningkatan viskositas dalam pasta dapat mempermudah penyebaran pasta saat fabrikasi^[28]. Pasta katoda yang dihasilkan berbentuk gel dan dapat ditempelkan di plat *stainless steel* berdimensi 5×3 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Plat katoda blondo

Pemilihan plat *stainless steel* sebagai elektroda blondo dikarenakan memiliki beberapa keunggulan dari material elektroda lainnya seperti aluminium, besi dan seng. Keunggulan tersebut diantaranya dapat menghasilkan tegangan listrik tertinggi dibandingkan material elektroda lainnya pada pengaplikasian *alkaline fuel cell*^[29], selain itu dikarenakan pada penelitian ini elektrolit yang digunakan adalah larutan kalium hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 10 M sedangkan material elektroda yang memiliki sifat ketahanan terhadap korosi adalah *stainless steel*. Kemampuan tersebut dikarenakan permukaan *stainless steel* terdapat lapisan kromium oksida yang terbentuk dengan adanya oksigen^[30].

Pemilihan *stainless steel* sebagai elektroda *alkaline fuel cell* menggunakan elektrolit KOH pekat juga pernah dilakukan oleh Suardamana, *et al.*, (2014)^[31], yang menghasilkan tegangan listrik sebesar 63,9 mV untuk 1 pasang elektroda, semakin banyak pasangan elektroda yang digunakan maka akan menghasilkan gabungan nilai tegangan yang besar. Kemudian pemilihan konsentrasi KOH 10 M juga didasari oleh penelitian Suardamana, *et al.*, (2014)^[31], bahwa semakin tinggi konsentrasi KOH menyebabkan suhu elektrolit semakin meningkat sehingga menghasilkan tegangan listrik yang semakin besar pula. Plat katoda blondo yang telah difabrikasi kemudian dikeringkan pada suhu kamar sekitar 3 jam agar pasta cukup kering dan telah menempel dengan baik pada plat untuk dilakukan pengujian *charge-discharge*.

Diagram analisis *charge-discharge* katoda blondo ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut, hasil siklus ke-1 ditunjukkan oleh garis berwarna hitam, sedangkan hasil siklus ke-2 ditunjukkan dengan garis berwarna merah dan hasil siklus ke-3 ditunjukkan dengan garis berwarna hijau. Pada diagram ini tegangan yang dihasilkan terlihat meningkat pada rentang 0,6–1,2 Volt yang menandakan proses *charging* (pengisian). Pada proses ini terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia dengan menarik elektron dari kalium oksida (katoda) ke grafit (anoda) melalui sirkuit eksternal (logam konduktor). Sementara itu, ion kalium yang bermuatan positif juga akan tertarik ke grafit melalui sirkuit internal (elektrolit). Setelah semua

elektron dan ion kalium telah tertarik dan terperangkap di dalam grafit menandakan sel baterai terisi penuh. Proses ini juga mengakibatkan adanya perbedaan muatan antara anoda dengan katoda sehingga beda potensial tersebut dinyatakan sebagai nilai tegangan (V).

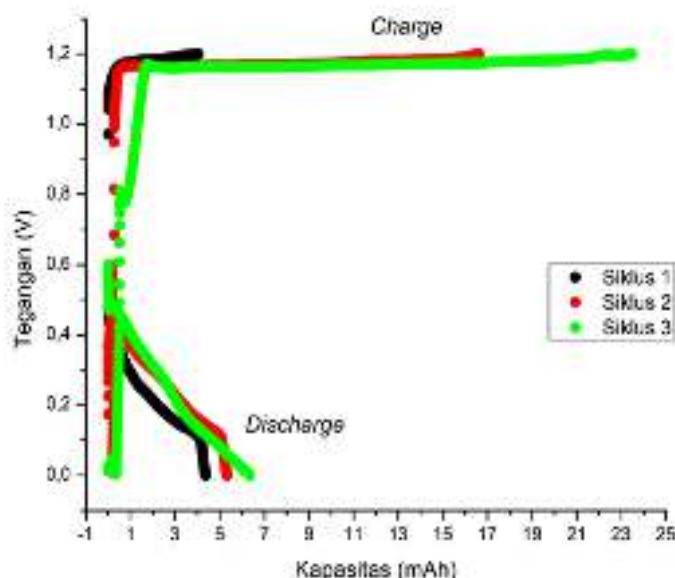
Kemudian diagram yang dapat dilihat pada Gambar 4 juga menunjukkan adanya penurunan nilai tegangan pada rentang 0,5 – 0,0001 Volt yang menandakan proses *discharging* (pengosongan). Pada proses ini terjadi pengubahan energi kimia menjadi energi listrik dengan menghubungkan beban (alat elektronik) pada baterai. Ketika proses tersebut dilakukan maka ion kalium akan kembali dengan keadaan stabilnya sebagai bagian dari oksida logam (K_2O) melalui elektrolit, sementara itu elektron juga kembali ke (katoda) melalui sirkuit eksternal yang telah dihubungkan dengan beban. Sehingga adanya aliran elektron yang melintasi beban menghasilkan energi listrik serta terukurnya juga nilai arus yang dihasilkan. Setelah semua elektron dan ion kalium kembali ke katoda maka sel baterai mengalami kekosongan yang ditandai dengan penurunan tegangan pada baterai. Pada saat proses *charging* terjadi reaksi oksidasi pada katoda dan reaksi reduksi pada anoda dengan hipotesis sesuai Persamaan (3).



Sedangkan, pada saat proses *discharging* terjadi reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda dengan hipotesis sesuai Persamaan 4.



Berdasarkan pengujian *charge-discharge* terlihat menghasilkan ada beberapa letak plot diagram tebar yang kurang beraturan. Hal ini dapat disebabkan oleh bahan aktif blondo yang tidak murni mengandung logam K_2O atau masih ada impuritas (pengotor) yang dibuktikan dari hasil analisis XRF sehingga mengganggu proses dan hasil *charge-discharge*^[32].



Gambar 4. Diagram tebar pengujian *charge-discharge* katoda blondo dengan variasi suhu 450 °C

Kemudian data analisis *charge-discharge* blondo selama tiga siklus ditampilkan pada Tabel 4. Selain itu, dilakukan juga penentuan efisiensi untuk mengetahui keefektifan dari katoda blondo dalam proses *charge-discharge*.

Tabel 4. Data kapasitas *charge-discharge* dan efisiensi pada katoda blondo variasi suhu 450 °C

Siklus	Kapasitas (mAh)		Efisiensi (%)
	<i>Charge</i>	<i>Discharge</i>	
1	4,04	4,35	107,67
2	16,63	5,39	32,41
3	23,36	6,3	26,97

Berdasarkan Tabel 4, terdapat nilai kapasitas *charge-discharge* yang mengindikasikan banyaknya muatan elektron yang mampu disimpan dan dilepaskan oleh sel baterai beserta efisiensinya^[33]. Baterai dapat dikatakan efisien dan berpotensi untuk dikomersialkan, apabila memiliki kapasitas *charge-discharge* yang sebanding^[34]. Penelitian ini dilakukan selama tiga siklus menghasilkan nilai kapasitas *charge* rata-rata sebesar 14,67 mAh, dan berbanding cukup jauh dengan kapasitas *discharge* rata-rata yang dihasilkan hanya sebesar 5,34 mAh sehingga efisiensi rata-rata diperoleh hanya sebesar 55,68%. Pada siklus ke-1 kapasitas *charge-discharge* yang dihasilkan sebanding dengan efisiensinya mencapai 107,67% , namun pada siklus ke-2 dan ke-3 nilai kapasitas *discharge* tidak sebanding dengan kapasitas *charge* yang dihasilkan pada baterai. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *discharge* pada siklus ke-2 dan ke-3 tidak mampu melucuti semua elektron dari reaksi redoks yang terjadi di anoda^[35]. Oleh karena itu, nilai efisiensi yang dihasilkan cenderung menurun drastis. Penurunan ini menunjukkan kemampuan *cycling times* masih rendah. Adapun Nilai efisiensi diperoleh dari rasio besarnya energi listrik (kapasitas) antara *discharge* (pengosongan) dan *charge* (pengisian) yang dilambangkan dengan satuan persen (%)^[33].

Kemampuan *discharge* yang kecil dan tidak sebanding dengan kemampuan *charge* menunjukkan bahwa proses pengubahan energi kimia menjadi energi listrik di dalam sel baterai ini tidak maksimal dan juga bisa diakibatkan karena tidak semua muatan di anoda dapat berpindah ke katoda^[36]. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut diantaranya penggunaan arus yang semakin tinggi menyebabkan semakin cepat pengosongan pada baterai sehingga semakin kecil kapasitas dan efisiensi yang dimiliki baterai^{[34][35][37]}. Faktor selanjutnya juga dapat disebabkan oleh ketidakmurnian bahan aktif katoda (blondo) yang digunakan. Terdapat senyawa oksida yang beragam di dalam blondo seperti K₂O, P₂O₅, MgO, CaO, Cl, SO₃,

4. Kesimpulan

Proses kalsinasi pada blondo menyebabkan terjadinya peningkatan dan penurunan terhadap persen kadar senyawa oksida yang dihasilkan. Peningkatan tersebut terjadi pada senyawa K₂O, P₂O₅, MgO dan Cl. Sedangkan penurunan terjadi pada senyawa CaO, SO₃ dan SiO₂. Namun, ketika waktu dan suhu kalsinasi ditingkatkan tidak memberikan pengaruh yang jauh berbeda terhadap persen kadar senyawa oksida yang dihasilkan sebelumnya. Pengaruh suhu kalsinasi diketahui dari hasil XRD yang menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu kalsinasi menyebabkan ukuran kristal senyawa oksida semakin kecil. Pada suhu 450, 550 dan 650°C menghasilkan berturut-turut sebesar 50,0; 47,5 dan 36,4 nm. Kristal tersebut teridentifikasi sebagai kristal K₂O yang berstruktur kubik dengan karakteristik serapan pada nilai sudut 2θ

(28,30°; 40,47° dan 50,16°) di suhu 450°C. Kemudian suhu 550°C memiliki nilai sudut 2θ (28,25°; 40,42°; 50,09°) dan suhu 650°C memiliki nilai sudut 2θ (28,29°; 40,47°; 50,51°). Variasi suhu 450 °C selanjutnya diuji kemampuan *charge-discharge* dan efisiensinya. Pengaplikasian senyawa oksida dari blondo sebagai katoda baterai diuji selama tiga siklus yang menghasilkan nilai kapasitas *charge* rata-rata sebesar 14,67 mAh, dan berbanding cukup jauh dengan kapasitas *discharge* rata-rata yang dihasilkan sebesar 5,34 mAh sehingga efisiensi rata-rata diperoleh sebesar 55,68%.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Universitas Tanjungpura yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ranjbar, A. H., Banei, A., Khoobroo, A., dan Fahimi, B., (2012). Online Estimation of State of Charge in Li-Ion Batteries Using Impulse Response Concept. *IEEE Transaction on Smart Grid*, 3[1].
- [2] Pillot, C., (2019). *The Rechargeable Market and Main Trends 2018-2030*. Avicenne Energy. France.
- [3] Gao, M., Li, H., Xu, L., Xue, Q., Wang, X., Ying, B., dan Wu, C., (2020). Lithium Metal Batteries for High Energy Density Fundamental : Electrochemistry and Challenges, *J. Energy Chemistry*, 59, pp. 666-687.
- [4] Zhang, W., Liu, Y., dan Guo, Z., (2019). Approaching high-performance potassium-ion batteries via advanced design strategies and engineering. *J. Science Advances*. 5(5), pp. 1-13.
- [5] Roberts, S., dan Kendrick, E., (2018). The re-emergence of sodium ion batteries: testing, processing, and manufacturability. *Nanotechnology. Science and Applications*. 11, pp. 23-33.
- [6] You, C., Wu, X., Yuan, X., Chen, Y., Fu, L., Liu, L., Ree, V. T., (2020). Advance on Rechargeable Mg Batteries. *J. Materials Chemistry A*. pp. 1-25.
- [7] Xu, Z. L., Park, J., Wang, J., Moon, H., Yoon, G., Lim, J., Ko, Y. J., Cho, S. P., Lee, S. Y., Kang, K., (2021). A New High-voltage Calcium Intercalation Host for Ultra-stable and High-power Calcium Rechargeable Batteries. *J. Nature Communications*. (12). pp. 1-9.
- [8] Permatasari, S., Hastuti, P., Setiaji, B., dan Hidayat, C., (2015). Sifat Fungsional Isolat Protein Blondo (Coconut Presscake) dari Produk Samping Pemisahan VCO (Virgin Coconut Oil) dengan Berbagai Metode. *J. Agritech*. 35, pp. 41-448.
- [9] Purnama, H. S., Herbert dan Tambun, R., (2015). Pengaruh Waktu dan Suhu Pembakaran dalam Pembuatan Abu dari Kulit Buah Markisa Sebagai Sumber Alkali. *J. Teknik Kimia USU*. 4, pp. 32-38.
- [10] Sitorus, C., Suksesi, L., dan Sidabutar, A.J., (2019). Ekstraksi Kalium dari Kulit Bah Kapuk (*Ceiba petandra*). *J. Teknik Kimia USU*. 7. pp. 17-22.
- [11] Sinaga, M.S., Pandia, S., Tarigan, T.F., and Tiffani, W.G., (2018). Utilization of Cacao Peel Waste to K₂O Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Synthesis by Waste Cooking Oil : Effect of Catalyst Calcination Temperature, IOP Conf. Series : *Earth and Environmental Science*. 205. pp. 1-7.
- [12] Zaki, M., Asnawi, T. M., Husin, H., Ramli, S., Sofyana, Hasfita, F., Karo, J. A. K., (2020). Transesterifikasi Minyak Kemiri Sunan menjadi Biodiesel menggunakan Katalis Padat K₂O/C. *J. Litbang Industri*. 10 (20). pp 83-88.

- [13] Samadhi, T.J., Wulandari, W., Amalia, R.A., and Khairunisah, R., (2018). Potassium Recovery from Tropical Biomass Ash. AIP Conf. Proc. *The 11th Regional Conference on Chemical Enginering*. pp. 1-8.
- [14] Sitorus, C., Suksesi, L., dan Sidabutar, A.J., (2018). Ekstraksi Kalium dari Kulit Buah Kapuk (*Ceiba petandra*). *J. Teknik Kimia USU*. 7. pp. 17-22.
- [15] Sumari, Baharintasari, D.R., Asrori, M.R., dan Prakasa, Y.F., (2020). Analisis Kandungan dari Pasir Pantai Peh Pulo Kabupaten Blitar Menggunakan XRF dan XRD. *J. Fisika Sains dan Aplikasinya*. 4. pp. 52-55, 2019 26-33.
- [16] Balfas, A., Nikmatin, S., dan Sukarto, A., (2016). Pengaruh Milling Terhadap Karakteristik Nanopartikel Biomassa Rotan, *J. Keteknikan Pertanian*., 4, pp. 81-86.
- [17] Kapias, T., dan Griffiths., (2001). *Sulfur Trioxide and Oleum, Chapter Thirty-Seven*. Manchester. United Kingdom.
- [18] Humarli, D. E., Anas, M., dan Mongkito, V. H. R., (2020). Efek Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Kandungan Senyawa Silika dari Lumpur Teluk Kendari Dengan Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). *J. Penelitian Pendidikan Fisika*. 5(4). pp. 346-350.
- [19] Husin, H., Asnawi, T.M., Firdaus, A., Husaini, H., Ibrahim, I., and Hasfita, H., (2018) Solid Catalyst Nanoparticels Derived from Oil-Palm Empty Fruit Bunches (OP-EFB) as a Renewable Catalyst for Biodiesel Production, *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*., 35, pp. 1-8.
- [20] Trianasari, Manurung, P., Karo-karo, P., (2017). Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (*Pumice*). *J. Teori dan Aplikasi Fisika*. 5:179-186.
- [21] Smallman, R.E dan Bishop, R.J., (2000). *Metalurgi Fisika Modern dan rekayasa Material*. terjemahan Sriati Djaprie. Erlangga. Jakarta.
- [22] Rosanti, A. D., Wardani, A. R. K., dan Anggraeni, H. A., (2020). Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Karakteristik dan Aktivitas Fotokatalis N/TiO₂ pada Penjernihan Limbah Batik Tenun Ikat Berdiri. *J. Cakra Kimia*. 8.
- [23] Sinaga, Z., dan Joniwarta., (2020). Analisis Ukuran Kristal dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi XRD, Mechanical Alloying, dan Ultrasonik Tekanan Tinggi pada Material Barium Hexaferrite (BaFe₁₂O₁₉). *J. Kajian Teknik Mesin*. 5. pp. 9-14.
- [24] Wickenden AEDK dan Kisthemnacer T., (1994). The Effect Of Thermal Annealing on GaN Nucleation Layers Deposited on (0001) Shapphire by Metalorgic and Chemical Vapour Deposition. *J.Apply. Physc*. 75:5376.
- [25] Husain, H., Risal, M., dan Sujiono, E, H., (2015). Struktur Kristal dan Konduktivitas Paduan Oksida Nd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O₇ yang disintesis dengan Metode Reaksi Padatan. *J. Sainsmat*. 6, pp. 1-6.
- [26] Wang, Y., Tan, H., Wang, X., Du, W., Mikulcic., dan Duic, N., (2016). Study on Extracting Available Salt from Straw/woody Biomass Ashes and Predicting its Slagging/Fouling Tendency. *J. Cleaner Production*. pp. 1-8.
- [27] Dogra, S. K., (1990). *Kimia Fisik dan Soal-soal*. Jakarta, Universitas Indonesia.
- [28] Giannouli, M. dan Spiliopoulou, F., (2012). Effect of the Morphology of Nanostructured ZnO Films on the Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells. *Elsevier*. 41. pp. 115-122.
- [29] Setiawan, A. B., (2010). Rancang Bangun Alkaline Fuel Cell (AFC) dengan Elektroda Stainless Steel, Alumunium, Besi dan Seng. *Skripsi*. Teknik Mesin. Intitut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [30] Brady, G. S., (2002). *Material Hand Book*, Fifteen Edition. Mc Graw-hill, New York.

- [31] Suardamana, I. M., Sucipta, M., Sugita, I. K. G., dan Suarda, M., (2014). Rancangan Alkaline Fuel Cell Sederhana dengan Menggunakan Stainless Steel sebagai Elektrodanya. *J. Energi dan Manufaktur*. 7. pp. 73-80.
- [32] Nuroniah, I., (2018). Sintesis dan Karakterisasi $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ dengan Metode Solgel Sebagai Material Anoda Baterai Ion Lithium. Skripsi. Fisika. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- [33] Gufron, M., Istiroyah., Perwita, C. A., Pranata, K. B., 2017. Analisis Efisiensi Energi Flow Baterai Lead Acid Keadaan Statis dan Dinamis. *J. ROTOR*. 10. pp. 42-46.
- [34] Lestariningsih, T., Sabrina, Q., dan Majid N., (2017). Penambahan TiO_2 dalam Pembuatan Lembaran Polimer Elektrolit Berpengaruh Terhadap Konduktivitas dan Kinerja Baterai Lithium. *J. Material dan Energi Indonesia*. 7(1). pp. 31-37.
- [35] Pranata, K. B., Sulistyanto, M. P. T., Ghufon, M., dan Yusmawanto, M., (2019). Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi. *J. Fisika Flux*. 16, pp. 42-47.
- [36] Barkah, R. D., dan Syahrul, H., (2019). Simulasi Charge-discharge Model Baterai Lead Acid. *J. Ilmu dan Inovasi Fisika.*, 3:128-134.
- [37] Silvana, A. F., (2019). Pengaruh Proses Pengosongan (Discharging) terhadap Kapasitas dan Efisiensi Baterai 110 VDC di Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang. *Skripsi*. Teknik Elektro. Universitas Sriwijaya.