

# Analisa Konduktivitas Material *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Katoda pada Baterai Udara

Aditya Pradana  
Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Semarang  
Semarang, Indonesia  
suksesta2024@gmail.com

Titik Nurhayati  
Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Semarang  
Semarang, Indonesia

Satria Pinandita  
Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Semarang  
Semarang, Indonesia

Diterima : November 2023  
Disetujui : Januari 2024  
Dipublikasi : Januari 2024

**Abstrak**— Kegiatan distribusi listrik yang dilakukan PLTU Tanjung Jati B yang berlokasi di Kabupaten Jepara menyisakan limbah hasil pembakaran batubara berupa abu *fly ash* dan *bottom ash* (FABA), dengan tekstur warna abu-abu dan hitam. Limbah FABA hanya dimanfaatkan 30% untuk campuran semen dan sisanya menumpuk terbengkalai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konduktivitas pada katoda udara menggunakan material limbah batubara FABA sebagai pengganti dari karbon aktif untuk dimanfaatkan sebagai baterai ramah lingkungan. Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan metode eksperimen. Data penelitian diperoleh melalui eksperimen pengujian di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Semarang menggunakan FABA yang diperoleh dari PLTU Tanjung Jati B. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel FABA dari PLTU Tanjung Jati B, penyaringan, dan pengujian konduktivitas dengan variasi Carbon dan Graphite. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, ditemukan bahwa baterai udara dengan memanfaatkan *fly ash* dan grafit dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 2,58 V mampu menghidupkan lampu LED selama 4 hari. Untuk meningkatkan besar tegangan yang dihasilkan baterai ditambahkan larutan NaOH dengan perbandingan 1:4:2. (Fly Ash : Grafit : NaOH) Setelah ditambahkan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  tegangan meningkat menjadi 2,76 V. Ketiga bahan tersebut (Fly Ash, Grafit, NaOH) direkatkan dengan lem kertas untuk mendapatkan karakteristik kaku, teksturnya halus, cepat kering, luntur, doff, dan dapat menghantarkan listrik. Pengolahan limbah batubara FABA dapat mengatasi permasalahan PLTU Tanjung Jati B dan masyarakat untuk mengurangi penumpukan limbah batubara melalui penciptaan teknologi rekayasa berupa baterai udara.

**Kata Kunci**—Limbah FABA; Katoda Udara; Konduktivitas; Karbon Aktif; Baterai Udara.

## I. PENDAHULUAN

PLTU Tanjung Jati B (TJB) berlokasi di Kabupaten Jepara merupakan pembangkit listrik batubara terbesar kedua dipulau Jawa. Aktivitas operasional PLTU sebagai penyumbang energi listrik menyisakan limbah dalam jumlah yang sangat besar setiap tahun. Indonesia tercatat sebagai negara penghasil batubara terbesar ke-6 sebanyak 37.606 juta ton atau 4% dari total cadangan batubara dunia [1]. Peningkatan penyediaan energi listrik melalui pembangunan

PLTU baru. Hasil dari pembakaran batubara menghasilkan Abu *fly ash* dan *bottom ash* (FABA), FABA memiliki tekstur warna abu-abu dan hitam. *Fly Ash* adalah partikel abu yang terbawa gas buang dengan bentuk halus dan bersifat pozolanik, sedangkan *Bottom Ash* adalah partikel abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku pembakaran [2], [3]. Abu yang tersisa setelah pembakaran jatuh ke dasar tungku atau didorong ke tepi ruang pembakaran saat batubara baru dimasukkan untuk menggantikan material yang terbakar [4]. Pembakaran batubara menghasilkan *fly ash* (abu terbang) sebanyak 80% yang dibawa aliran gas buang melewati alat *electrostatic precipitator* [5], [6] sebesar 99,5%; sisanya 0,5% akan diemisikan melalui cerobong dan 20% berupa *bottom ash* (abu jatuh) yang akan terkumpul ke dasar *boiler* [7].

Estimasi limbah FABA yang dihasilkan setiap pembakaran adalah 5% dari total batu bara yang dibakar dengan komposisi 10-20% *bottom ash* dan 80-90% *fly ash*. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyebutkan bahwa FABA digolongkan limbah non berbahaya dan beracun (non-B3). Akan tetapi, pemanfaatan limbah FABA didunia masih 25% dari total abu yang dihasilkan, sedangkan sisanya 75% terbuang sebagai limbah yang menimbulkan polusi [8]–[10].

*Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) merupakan produk samping industri yang berasal dari pembakaran Batubara yang dihaluskan dan menimbulkan sejumlah limbah industri dan masalah pembuangan limbah [11], [12]. Abu dasar batubara (*bottom ash*) terdiri dari partikel-partikel berat yang jatuh ke dasar pembangkit listrik tenaga batubara. Sifat abu dasar (*bottom ash*) dipengaruhi oleh desain dan jenis pembangkit listrik, sumber, dan bahan baku, serta jenis batubara dan bahan bakar sekunder. Komposisi kimia abu dasar ditentukan oleh sifat kimia batubara dan proses pembakarannya. Abu dasar memiliki komposisi yang terdiri dari silika, alumina, dan besi dengan sejumlah kalsium, magnesium, sulfat, dan lainnya. komposisi abu dasar mirip dengan abu terbang, tetapi biasanya mengandung lebih banyak karbon. Sifat-sifat abu dasar memiliki bentuk dan

komposisi yang mirip dengan agregat halus seperti pasir dan kerikil, sehingga berguna untuk diaplikasikan dalam industri konstruksi [13].

Secara umum limbah *fly ash* terbagi menjadi dua kelas, yaitu F dan C. *Fly Ash* kelas F umumnya mengandung CaO yang sangat rendah, sedangkan kelas C mengandung kalsium tinggi. *Fly Ash* kelas F memiliki komposisi mirip dengan abu vulkanik alami, biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan geopolimer. Penggunaan *fly ash* sudah ada sejak awal abad ke-20 dan biasanya digunakan untuk komponen tambahan semen atau beton. Penggantian semen *fly ash* sangat berdampak positif terhadap lingkungan karena dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi biaya konstruksi. *Fly ash* kelas F (FFA) memiliki keunggulan harga lebih murah, tersedia dengan mudah, kaya dengan alumina aktif tinggi dan silikat amorf, dan besi oksida. *Fly ash* kelas F menunjukkan sifat pozzolan setelah dicampur dengan bahan alkali [11], [14]. Komposisi kimia dari *fly ash* bergantung pada jenis batubara dan suhu pembakarannya. Komposisi utamanya terdiri dari alumina, hematit, silika, oksida kalsium, magnesium, natrium, kalium, dan titanium. Kehadiran logam berat merkuri, kadmium, arsenik, kobalt, tembaga, timbal, kromium dan sebagainya menyebabkan toksisitas *fly ash* [15].

Peningkatan jumlah limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) hasil pembakaran batubara setiap harinya hanya 30% yang dimanfaatkan untuk campuran semen [16] 70% sisanya menjadi limbah yang menumpuk dan terbengkalai di kawasan PLTU, sehingga masyarakat menamakan limbah B3 FABA dengan nama emas hitam yang belum banyak dimanfaatkan. Permasalahan yang akan timbul dari pemakaian batubara sebagai sumber energi adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* merupakan padatan dari sisa pembakaran batubara yang terbawa bersama gas buang dan ditangkap oleh alat pengendali udara [17]. *Bottom ash* merupakan padatan dari sisa pembakaran batubara yang keluar dari dasar tungku boiler [18]. Jika limbah *fly ash* tidak dimanfaatkan secara maksimal maka akan menjadi masalah pencemaran lingkungan [19] dan FABA yang dibiarkan menumpuk dalam waktu yang lama dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti pencemaran [20]. Dampak dari hal tersebut yaitu tempat pembuangan akan memerlukan lahan semakin luas dan berpengaruh juga terhadap efek cemarannya.

*Fly ash* dan *bottom ash* memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali dengan beragam cara. Apabila limbah abu tersebut dikelola dengan metode yang tepat, akan berdampak baik terhadap manfaat ekonomi dan ekologi. *Fly ash* mengandung banyak zat beracun dan pencucian beberapa logam berat memiliki kadar yang melebihi standar, sehingga sebelum ditimbun atau dimanfaatkan kembali harus dipastikan tidak berbahaya. Metode *pre-treatment* pada *fly ash* meliputi pemisahan, pemadatan, dan perlakuan panas. *Fly ash* memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk membuat bahan adsorpsi untuk memurnikan limbah industri atau pertanian. Sedangkan untuk *bottom ash* dapat langsung dimanfaatkan kembali karena kurang beracun [21].

Studi terkait pemanfaatan abu sisa pembakaran Batubara (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) sudah banyak dilakukan. Penelitian [9], [13], [22] memanfaatkan *fly ash* Batubara

sebagai adsorben guna menyisihkan senyawa organik. Selain itu *fly ash* juga banyak digunakan sebagai pengganti semen di industri konstruksi [23], [24]. Selain itu, terdapat penelitian pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai geopolimer dengan menambahkan abu sekam padi [25].

Salah satu bentuk pemanfaatan FABA digunakan sebagai campuran katoda dan anoda pada baterai logam udara. Salah satu pilihan alternatif penyimpan energi yang paling aman, mudah dan dapat di daur ulang adalah baterai. Baterai logam udara memiliki energi spesifik yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan baterai lithium dan sejenisnya. Umumnya anoda yang digunakan pada jenis baterai logam udara berupa Li, Ca, Mg, Al, Fe dan Zn, sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah udara [26]. Untuk menyerap udara tersebut, dibutuhkan media berupa karbon aktif. Beberapa bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai media penyerap udara adalah limbah biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan sekam padi. Pada penelitian ini, katoda udara dibuat dari material abu batubara *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA). Material FABA nantinya akan diolah menjadi bahan pencampuran katoda dan anoda pada sebuah baterai udara.

Secara skematis dasar struktur baterai udara, yang terdiri dari logam anoda, katoda udara, dan elektrolit yang sesuai. Media elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, maupun garam [26]. Elektrolit biasanya terdiri dari natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH) atau natrium klorida (NaCl) [27]. Baterai logam udara pada penelitian ini disusun dengan elektrolit berupa air laut. Air laut memiliki kandungan magnesium sebesar 0,1292% sehingga sangat aman bagi lingkungan. Akan tetapi kandungan garam yang tinggi pada air laut bersifat agresif terhadap bahan lain sehingga mudah menyebabkan korosi [16]. Oleh karena itu, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian terhadap variasi elektrolit yang akan digunakan untuk menghasilkan konduktivitas yang paling optimal.

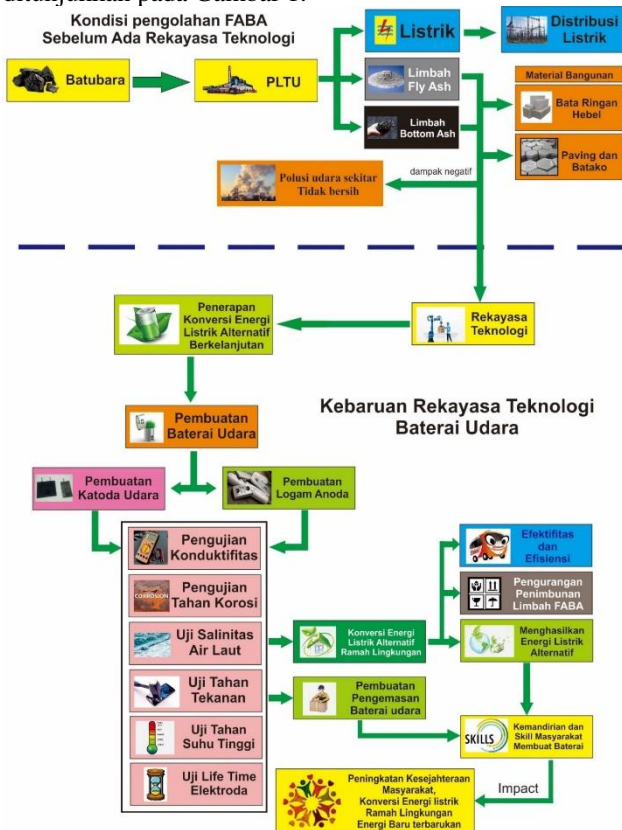
Pembuatan baterai udara ini membutuhkan penelitian lebih lanjut terkait bagaimana pengolahan limbah FABA menjadi katoda udara untuk memisahkan ion. Baterai udara memiliki energi skala besar untuk masa depan karena biaya rendah dengan nilai kapasitas spesifik teoritis tinggi dengan nilai tertinggi kedua setelah baterai *lithium* serta jauh lebih tinggi daripada magnesium dan seng [27]. Selain itu, material bahan FABA mudah didapat, serta berlimpah dan termasuk material dengan daur ulang tinggi. Pemanfaatan limbah *bottom ash* sebagai adsorben logam Mangan (Mn). Pada penelitian ini, dilakukan variasi pada aktivator yang digunakan yaitu HCl 0,5 M dan NaOH 0,5 M serta variasi waktu untuk proses penyerapan yaitu 20 menit, 40 menit, 60 menit dan 80 menit. larutan KMnO<sub>4</sub> sebagai artifisial dengan berbagai konsentrasi yaitu 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivator NaOH yang paling baik karena dapat menurunkan kadar logam mangan (Mn) lebih besar dibanding HCl [28].

Upaya konservasi lahan penimbunan limbah batubara FABA merupakan salah satu *input* produksi baterai udara yang sangat berpengaruh terhadap konversi energi listrik alternatif yang dihasilkan. *Research GAP* atau kesenjangan penelitian ini mengusung konsep konversi energi listrik alternatif yang cerdas dan ramah lingkungan. Pembuatan baterai udara secara mandiri dengan memanfaatkan limbah batubara FABA dapat menekan biaya pengadaan *input*

produksi baterai udara. Oleh karena itu penelitian ini akan menerapkan baterai udara untuk mewujudkan konversi energi listrik alternatif yang berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisa konduktivitas dari limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) sebagai pengganti karbon aktif pada baterai udara. Penelitian ini dapat menjadi salah satu rujukan dalam pengelolaan limbah FABA batubara menjadi sumber energi listrik alternatif. Penelitian FABA menjadi baterai udara ini sebagai energi listrik alternatif dengan elektrolit air laut, yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat pesisir pantai untuk menggunakan hasil listrik tersebut sebagai sumber energi listrik untuk kebutuhan penerangan.

Kebaruan dari penelitian ini adalah penggunaan rekayasa teknologi baterai udara pada pengelolaan abu batubara selama ini hanya digunakan sebagai material bahan bangunan saja, maka saat ini dapat diolah menjadi baterai yang ramah lingkungan. Selain itu kebaruan penelitian ini adalah mengurangi penimbunan abu batubara FABA dapat diproduksi oleh masyarakat sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi baterai sendiri, konsep kebaruan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



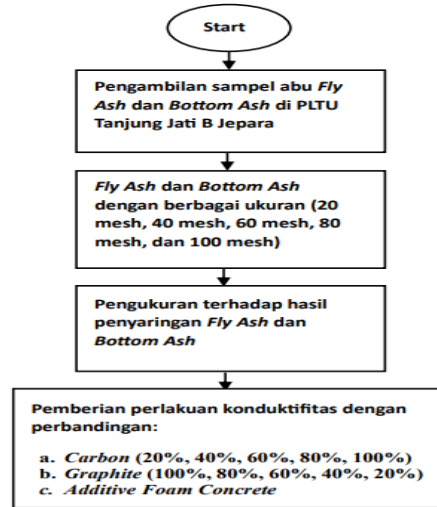
Gambar 1. Konsep Kebaruan Penelitian

## II. METODE

Penelitian ini merupakan riset terapan dengan menggunakan pendekatan penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai penelitian yang dilakukan guna mengetahui akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang sengaja diberikan oleh peneliti. Tindakan dalam eksperimen disebut dengan *treatment* yaitu segala pemberian variasi untuk dinilai pengaruhnya [29].

Penelitian dilakukan pada Bulan Oktober 2023, di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Semarang

menggunakan FABA yang diperoleh dari PLTU Tanjung Jati B. Pembuatan elektroda baterai logam udara yang memanfaatkan abu Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) dilakukan dengan tahap-tahap pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Hasil pengujian konduktivitas dari material limbah FABA yang cocok digunakan sebagai katalisator baterai udara dianalisis dengan melihat besar tegangan yang dihasilkan ketika katalisator ditambahkan Grafit atau Karbon dengan perbandingan yang ditentukan. Setelah itu, katalisator dengan tegangan terbesar diuji konduktivitasnya dengan penambahan elektrolit. Tegangan tertinggi yang dihasilkan katalisator dengan elektrolit tertentu akan digunakan menjadi katoda pada baterai udara sebagai pengganti karbon aktif

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian terhadap cairan perekat dengan Variasi perbandingan Carbon dan Grafit

Sebelum melakukan pengujian konduktivitas dari cairan perekat, maka dilakukan penyaringan limbah Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) dengan ukuran 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, dan 100 mesh.



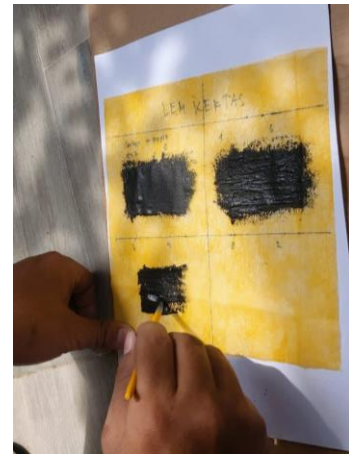
Gambar 3. Penyaringan Limbah FABA

Setelah penyaringan, masuk pada tahap pengujian konduktivitas dari cairan perekat. Pengujian ini dilakukan

untuk mengetahui besarnya nilai hambatan yang dihasilkan oleh cairan perekat yang terdiri dari berbagai macam jenis. Pengujian nilai hambatan dilakukan dengan membandingkan besarnya hambatan ketika cairan perekat sebelum diberikan air dan hambatan setelah cairan perekat sesudah diberikan tambahan air. Penambahan air ini dilakukan dengan tujuan agar cairan perekat lebih encer.



Gambar 4. Contoh Perekat Sebelum diberikan Air dan Perlakuan



Gambar 5. Contoh Perekat setelah diberi Air dan Perlakuan

Pengujian terhadap besar nilai hambatan dari cairan perekat dengan perbandingan karbon dan grafit pada jarak 1 cm hingga 3 cm hasilnya dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Besar Hambatan Cairan Perekat

Cairan Perekat	Jarak (cm)	Besar Hambatan (kOhm) Cairan Perekat Sebelum dan Sesudah diberi Air							
		1 : 4		2 : 3		3 : 2		4 : 1	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Cat Poster	1	5.420	1.200	-	6.000	-	1.500	-	1.100
	2	5.300	1.500	-	4.000	-	660	-	10.000
	3	7.650	1.200	-	5.000	-	700	-	13.000
Lem Sterofoam	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Lem Fox Putih	1	26	300	-	540	-	500	-	2.500
	2	29	700	-	548	-	400	-	6.700
	3	45	560	-	550	-	460	-	18.000
Cat Acrylic	1	9	130	22,2	320	-	770	-	850.000
	2	9,5	147	15,4	737	-	830	-	730.000
	3	10,3	160	12,5	164	-	1.000	-	870.000
Lem Kertas	1	0,5	150	5	58	35	120	16.000	260
	2	1,15	40	11,2	67	35	130	18.000	230
	3	1,95	38	6,68	100	50	160	8.600	180
Resin Lycal	1	250	16	-	1.600	-	6.500	-	3.000
	2	350	15	-	2.000	-	9.000	-	2.500
	3	400	18	-	1.500	-	6.000	-	2.700
Getah Karet	1	-	105	1.000	42	7.000	10	8.000	28
	2	-	400	3.000	46	8.000	7	5.000	43
	3	-	69	6.000	47	9.000	7	6.000	35
Resin Rubber	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Clay	1	5.000	65	5.000	70	2.000	60	5.000	54
	2	3.000	67	6.000	105	5.000	42	10.000	57
	3	-	40	12.000	131	17.000	60	13.000	68



Berdasarkan Tabel 1. nilai hambatan pada cairan perekat sebelum diberikan air dan sesudah diberikan tambahan air dengan perbandingan karbon dan grafit yang telah ditentukan diketahui bahwa nilai hambatan yang dihasilkan mengalami perubahan, baik nilai hambatan menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil, kecuali pada lem sterofom dan resin rubber yang tidak menghasilkan hambatan sama sekali (bernilai 0). Hal ini menunjukkan bahwa kedua cairan perekat tersebut tidak bersifat konduktor atau tidak dapat menghantarkan listrik. Hasil nilai hambatan terbaik pada cairan perekat berdasarkan Tabel 1 adalah pada

cairan perekat lem kertas. Hal ini didasarkan terhadap dua hal, yaitu dengan semua variasi perbandingan karbon dan grafit menghasilkan hambatan dan hambatan yang dihasilkan meskipun mengalami lonjakan perubahan tetapi masih dalam nilai yang kecil. Sedangkan apabila dilihat dari perbandingan karbon dan grafit, maka lem kertas dengan perbandingan karbon dan grafit 1:4 memiliki nilai hambatan terbaik. Setelah diketahui besar nilai hambatan cairan perekat yang diuji, maka karakteristik dari masing-masing cairan perekat tersebut dijelaskan pada Tabel 2.

TABLE 2. KARAKTERISTIK DAN SIFAT KONDUKTOR CAIRAN PEREKAT

No	Cairan Perekat	Karakteristik				Sifat
		Tekstur	Daya Serap	Daya Luntur	Warna	
1.	Car Poster	Kaku dan Kasar	Mudah Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
2.	Lem Sterofoam	Kaku dan Halus	Lama Kering	Tidak Luntur	Doff	Tidak dapat menghantarkan listrik
3.	Lem Fox	Kaku dan Kasar	Cepat Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
4.	Cat Akrilik	Kaku dan Kasar	Cepat kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
5.	Lem Kertas	Kaku dan Halus	Cepat Kering	Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
6.	Resin Lycal	Kaku dan Halus	Lama Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
7.	Getah Karet	Lentur dan Halus	Cepat Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik
8.	Resin Rubber	Kaku dan Halus	Lama Kering	Tidak Luntur	Doff	Tidak dapat menghantarkan listrik
9.	Clay	Kaku dan Mudah Hancur	Cepat Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat menghantarkan listrik

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, dengan mempertimbangkan karakteristik dan nilai hambatan yang dihasilkan dari masing-masing cairan perekat diatas, maka cairan perekat terbaik yaitu lem kertas dan komposisi karbon dan grafit sebelum diberi air dengan perbandingan terbaik yaitu 1: 4. Pengujian terhadap tegangan yang dihasilkan oleh baterai listrik dengan katalisator FABA (Fly ash dan Bottom ash). Setelah didapatkan cairan perekat untuk pembuatan katoda baterai udara, langkah selanjutnya menguji tegangan baterai listrik. Katalisator yang digunakan berasal dari limbah batubara, yaitu fly ash dan bottom ash.

TABLE 3. HASIL UJI TEGANGAN BATERAI KATALISATOR FABA

Katalisator	Perbandingan	Hambatan (kOhm)	Tegangan (V)
Fly ash : Carbon : Grafit	4 : 1 : 4	4,2	2,56
Bottom Ash : Grafit	1 : 4	1,2	2,35
Fly Ash : Grafit	1 : 4	0,175	2,58
Bottom Ash : Carbon	4 : 1	22.000	2,52
Fly ash : Carbon	4 : 1	∞	2,53
Tanpa Katalisator	-	-	2, 54



Gambar 6. Pengujian Tegangan Katalisator FABA

Hasil pengujian didapatkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Menurut hasil pengujian terhadap tegangan baterai listrik pada Tabel 3, ditemukan beberapa hal diantaranya: Baterai listrik dengan katalisator Fly Ash : Carbon : Grafit dapat menghidupkan lampu LED 5 watt selama 3 hari. Baterai listrik dengan katalisator Bottom Ash : Grafit dapat menghidupkan lampu LED 5 watt dalam waktu yang singkat, setelah itu lampu akan meredup dan mati. Baterai listrik dengan katalisator Fly Ash : Grafit dapat menghidupkan lampu LED 5 watt selama 4 hari. Baterai listrik dengan katalisator Bottom Ash : Carbon dapat menghidupkan lampu LED selama 2 hari. Baterai listrik dengan katalisator Fly Ash : Carbon dapat menghidupkan lampu LED 5 watt selama 2 hari.

Fly Ash dapat digunakan sebagai katalisator karena memiliki kadar silika yang tinggi [30]. Sifat fisik dan kimia dari abu Fly Ash akan mempengaruhi potensi pemanfaatan

abu tersebut. Fly Ash tersusun dari beberapa komponen salah satunya adalah Sumber Rare Earth Element and Yttrium (REY) yang biasanya digunakan dalam pembuatan fuel cells, perangkat untuk green energy, baterai dengan kapasitas tinggi dan magnet dalam pembangkit tenaga angin. Selain itu Fly Ash juga mengandung unburned carbon (UC) yang biasanya digunakan sebagai bahan karbon aktif, bahan bakar tambahan dan pembuatan grafit karena Fly Ash bersifat konduktor [31]. Konsentrasi REY total dalam Fly Ash berkisar 123,14 hingga 260,38 ppm dengan rata-rata 207,07 ppm, sedangkan konsentrasi REY dalam Bottom Ash berkisar 121,04 hingga 261,18 ppm dengan rata-rata 171,21 [32]. Hal ini berarti bahwa Fly Ash memiliki konduktivitas yang lebih baik dibandingkan Bottom Ash.

Grafit merupakan satu inti karbon yang memiliki sifat konduktor, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material elektroda pada lampu listrik. Keuntungan penggunaan grafit sebagai elektroda karena harganya relatif murah [33]. Carbon dan Grafit merupakan dua bahan yang sama-sama bersifat konduktor, akan tetapi masing-masing bahan tersebut memiliki tingkat konduktivitas yang berbeda.

Menurut [34] fly ash dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan 28% COD dan logam berat seperti Cu, Mn, Pb, Zn, dan Cd dari lindi stabil yang diolah dengan tawas. Penambahan karbon aktif granular pada proses elektrokoagulasi meningkatkan efisiensi sistem elektrolitik dan mengurangi waktu reaksi dibandingkan dengan adsorpsi dan proses elektrokoagulasi, sehingga menurunkan biaya operasi secara signifikan. Berdasarkan hasil temuan pengujian pada Tabel 3, maka disimpulkan bahwa campuran dari katalisator Fly Ash dengan Grafit menjadi campuran katalisator terbaik dengan hasil nilai hambatan 175 Ohm dan tegangan 2,58 V. Besarnya nilai hambatan dan tegangan yang dihasilkan, maka baterai listrik dengan katalisator tersebut mampu menghidupkan lampu LED 5 watt selama 4 hari.

### B. Pengujian Nilai Hambatan dan Tegangan pada Katalisator Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) dan Bahan Lainnya.

Setelah dilakukan pengujian terhadap tegangan baterai listrik dengan katalisator FABA, dan didapatkan bahwa campuran dari katalisator Fly Ash dan Grafit merupakan katalisator terbaik, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap tegangan baterai listrik dengan kombinasi dari katalisator Fly Ash, Grafit yang di tambahkan elektrolit berupa cairan di tunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 2. Hasil Uji Hambatan dan Tegangan Katalisator Fly Ash yang diberi Elektrolit

Katalisator	Perbandingan	Hambatan (kOhm)		Tegangan (Volt)
		1cm	2 cm	
Fly Ash Murni	-	∞	∞	2,55
Red Lead Murni	-	∞	∞	2,56
Grafit : Fly ash : Cuka	4 : 1 : 2	13	22	2,60
Grafit : Fly ash : NaOH	4 : 1 : 2	100	150	2,50
Grafit : Fly ash : NaCl	4 : 1 : 2	80	150	1,50
Grafit Murni	4	1	1,5	2,56

Katalisator	Perbandingan	Hambatan (kOhm)		Tegangan (Volt)
		1cm	2 cm	
Grafit : Fly Ash : KOH	4 : 1 : 2	190	205	2,50
Grafit : Fly Ash : Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4 : 1 : 2	1,7	2,5	2,76



Gambar7. Contoh Katalisator yang diberikan Elektrolit



Gambar 8. Nyala Lampu berdasarkan Katalisator

Berdasarkan Tabel 4, dapat dijelaskan bahwa dengan perbandingan Grafit, Fly Ash, dan larutan elektrolit yang sama menghasilkan hambatan dan tegangan yang berbeda beda. Apabila dilihat besar hambatan dan tegangan yang dihasilkan, didapatkan bahwa kombinasi Grafit, Fly Ash, dan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 2,76 V.

Larutan yang bersifat asam kuat, garam maupun basa memiliki sifat konduktor. Hal ini disebabkan karena larutan tersebut dapat terionisasi secara sempurna apabila dibandingkan dengan larutan yang bersifat asam lemah maupun basa lemah yang hanya mampu terionisasi sebagian saja. Larutan yang terionisasi sempurna, ion-ionnya akan bergerak aktif sehingga dapat menghantarkan arus listrik dengan baik [35]. Beberapa larutan elektrolit yang akan diuji konduktivitasnya terdiri dari Cuka, NaOH, NaCl, KOH, dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Berdasarkan sifat larutan tersebut, cuka termasuk elektrolit lemah, sehingga tidak dapat terionisasi secara sempurna, sedangkan larutan NaOH, NaCl, KOH dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> merupakan larutan elektrolit kuat yang dapat terionisasi sempurna.

Uji konduktivitas dari larutan elektrolit kuat (NaOH, NaCl, KOH dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dilakukan pada baterai yang tersusun dari Grafit (anoda), Fly Ash (katoda udara), dan larutan elektrolit dengan perbandingan yang sama yaitu 4 : 1 : 2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa penambahan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai elektroda menyebabkan tegangan yang dihasilkan oleh baterai udara menjadi semakin tinggi. Semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, maka semakin baik konduktivitasnya.

#### IV. KESIMPULAN

Pengolahan limbah batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash* sebagai sumber tenaga listrik alternatif dapat menjadi alternatif pilihan untuk mengurangi jumlah limbah abu batubara yang sudah menumpuk di PLTU Tanjung Jati B. Baterai udara tersebut tersusun dari elektroda yang berasal dari katalisator *fly ash* dan grafit dengan perbandingan 1:4. Kombinasi dari katalisator *fly ash* dan grafit terbukti mampu untuk menghidupkan lampu LED selama 96 jam (4 hari). Guna meningkatkan tegangan tiap sel sebesar 2,50 V dari baterai tersebut ditambahkan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:4:2. Bahan-bahan tersebut direkatkan dengan cairan perekat berupa lem kertas. Jadi, pembuatan katoda udara yang memanfaatkan abu batubara agar mampu menghantarkan listrik disusun dari bahan Grafit sebagai anoda, *Fly Ash* sebagai katoda udara, dan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai larutan elektrolit pada baterai logam udara untuk menghasilkan nilai konduktivitas yang paling optimal.

#### REFERENSI

- [1] C. Nugraha and Rolliyah, *Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash untuk Pengelolaan Batuan dan Air Asam Di Tambang Batubara*. Jakarta Timur: Direktorat Penilaian Kinerja Pengelolaan Limbah B3 dan Limbah Non B3 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021.
- [2] H. Pratama and A. Rauf, "Penerapan Waste Hierarchy Pada Limbah B3 Abu Batubara PT. AMNT," in *PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II)*, Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), Jul. 2020, pp. 273–276. [Online]. Available: <http://tvrisumbar.co.id>
- [3] A. K. Ram and S. Mohanty, "State of the art review on physiochemical and engineering characteristics of fly ash and its applications," *International Journal of Coal Science and Technology*, vol. 9, no. 1. Springer International Publishing, Dec. 01, 2022. doi: 10.1007/s40789-022-00472-6.
- [4] J. C. Hower *et al.*, "Generation and nature of coal fly ash and bottom ash," in *Coal Combustion Products (CCPs): Characteristics, Utilization and Beneficiation*, Elsevier, 2017, pp. 21–65. doi: 10.1016/B978-0-08-100945-1.00002-2.
- [5] I. P. Yulistiowarno and M. Anwar, "Pengaruh Korona Listrik Terhadap Proses Particle Charging dalam Sistem Electrostatic Precipitator," *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 37–41, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/index>
- [6] C. D. Tsadilas and E. Evangelou, "Coal Fly Ash Utilization for Boron Management in Soils, Plants, and Waters," in *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention*, Elsevier Inc., 2016, pp. 647–663. doi: 10.1016/B978-0-12-803837-6.00025-1.
- [7] H. Yulinawati, S. Zulaiha, R. Prostanty, and L. Siami, "Kontribusi Metropolitan terhadap Polutan Udara Berbahaya Timbal dan Merkuri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Batu Bara)," in *Seminar Nasional Pembangunan Wilayah dan Kota Berkelanjutan*, 2019, pp. 21–30.
- [8] F. Anggara, H. T. B. M. Petrus, D. A. A. Besari, H. Manurung, and F. Y. A. Saputra, "Tinjauan Pustaka Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA)," *Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 16, no. 1, pp. 53–70, 2021.
- [9] A. D. Cahyono and T. Agung R, "Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Penyisihan COD dari Limbah Cair Domestik Rumah Susun Wonorejo Surabaya," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2012.
- [10] C. Wang, G. Xu, X. Gu, Y. Gao, and P. Zhao, "High value-added applications of coal fly ash in the form of porous materials: A review," *Ceramics International*, vol. 47, no. 16. Elsevier Ltd, pp. 22302–22315, Aug. 15, 2021. doi: 10.1016/j.ceramint.2021.05.070.
- [11] P. Cong and Y. Cheng, "Advances in geopolymer materials: A comprehensive review," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8, no. 3. Chang'an University, pp. 283–314, Jun. 01, 2021. doi: 10.1016/j.jtte.2021.03.004.
- [12] R. K. Majhi and A. N. Nayak, "Properties of Concrete Incorporating Coal Fly Ash and Coal Bottom Ash," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 100, no. 3, pp. 459–469, Sep. 2019, doi: 10.1007/s40030-019-00374-y.
- [13] J. Ayala and B. Fernández, "A case study of landfill leachate using coal bottom ash for the removal of Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>+</sup> and Ni<sup>2+</sup>," *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 12, Dec. 2016, doi: 10.3390/met6120300.
- [14] E. Khaksar Najafi, R. Jamshidi Chenari, and M. Arabani, "The Potential use of Clay-Fly Ash Geopolymer in the Design of Active-Passive Liners: a Review," *Clays Clay Miner*, vol. 68, no. 4, pp. 296–308, Aug. 2020, doi: 10.1007/s42860-020-00074-w.
- [15] V. Gadore and M. Ahmaruzzaman, "Tailored fly ash materials: A recent progress of their properties and applications for remediation of organic and inorganic contaminants from water," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 41. Elsevier Ltd, Jun. 01, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101910.
- [16] K. Yodyawira, R. S., and A. Wibowo, "Pengaruh Campuran Kadar Bottom Ash dan Lama Perendaman Air Laut Terhadap Kuat Geser Pada Balok," *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, vol. 1, no. 2, pp. 1–16, 2014.
- [17] F. F. Hanum, A. Rahayu, U. M. Sutopo, and Z. Mufrodi, "Coal Fly Ash Characterization from

- Cement Industry ‘X’ as an Initial Study in Its Utilization,” *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, vol. 7, no. 1, pp. 57–62, Jun. 2020, doi: 10.26555/chemica.v7i1.16715.
- [18] E. Wardhani, M. Sutisna, and A. H. Dewi, “Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Campuran Media Tanam pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*),” *Jurnal Itenas Rekayasa*, vol. 1, no. XVI, pp. 44–56, 2012.
- [19] M. Munir, “Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) Untuk Hollow Block Yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan,” Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [20] T. S. Indriyati, A. Malik, and Y. Alwinda, “Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan,” *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 112–119, 2019.
- [21] Y. Lu *et al.*, “Physical and chemical properties, pretreatment, and recycling of municipal solid waste incineration fly ash and bottom ash for highway engineering: A literature review,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020. Hindawi Limited, 2020. doi: 10.1155/2020/8886134.
- [22] Y. K. Hong, J. W. Kim, H. S. Kim, S. P. Lee, J. E. Yang, and S. C. Kim, “Bottom ash modification via sintering process for its use as a potential heavy metal adsorbent: Sorption kinetics and mechanism,” *Materials*, vol. 14, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/ma14113060.
- [23] M. Rafieizonooz, J. Mirza, M. R. Salim, M. W. Hussin, and E. Khankhaje, “Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement,” *Constr Build Mater*, vol. 116, pp. 15–24, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.080.
- [24] P. Morla, R. Gupta, P. Azarsa, and A. Sharma, “Corrosion evaluation of geopolymer concrete made with fly ash and bottom ash,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, pp. 1–16, Jan. 2021, doi: 10.3390/su13010398.
- [25] M. E. Kalaw, A. Culaba, H. Hinode, W. Kurniawan, S. Gallardo, and M. A. Promentilla, “Optimizing and characterizing geopolymers from ternary blend of philippine coal fly ash, coal bottom ash and rice hull ash,” *Materials*, vol. 9, no. 7, 2016, doi: 10.3390/MA9070580.
- [26] P. Takarani, Yeheskel, D. Kalapadang, and Mardiah, “Pembuatan Baterai Seng Udara dan Uji Performansi dengan Perangkat Arduino,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, Samarinda: Fakultas Teknik - Universitas Mulawarman, Oct. 2019, pp. 165–172.
- [27] R. Andrian, R. L. Ningrum, and Mardiah, “Pembuatan Silika Dari Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Katoda Udara Pada Baterai Logam Udara,” *Jurnal Chemurgy*, vol. 04, no. 2, pp. 24–29, 2020.
- [28] F. Muzdalifah, “Pemanfaatan Bottom Ash Batubara Sebagai Adsorben dalam Penyerapan Logam Mangan (Mn) dari Larutan Artifisial KMnO<sub>4</sub>,” Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2017.
- [29] I. P. A. A. Payadnya and I. G. A. N. T. Jayantika, *Panduan Penelitian Eksperimen Beserta Analisis Statistik dengan SPSS*, Cetakan Pertama. Sleman: PENERBIT DEEPUBLISH, 2018.
- [30] T. Defi, Z. Helwani, and Khairat, “Pemanfaatan Fly Ash Sawit Sebagai Katalis Asam dalam Proses Eksterifikasi Gliserol Sebagai Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin,” *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2016.
- [31] F. Anggara, H. T. B. M. Petrus, D. A. A. Besari, H. Manurung, and F. Y. A. Saputra, “Tinjauan Pustaka Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA),” *Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 16, no. 1, pp. 53–70, 2021.
- [32] D. A. A. Besari, F. Anggara, W. Rosita, and H. T. B. M. Petrus, “Characterization and mode of occurrence of rare earth elements and yttrium in fly and bottom ash from coal-fired power plants in Java, Indonesia,” *Int J Coal Sci Technol*, vol. 9, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1007/s40789-022-00476-2.
- [33] A. Artadi, Sudaryo, and Aryadi, “Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi,” *JFN*, vol. 1, no. 2, pp. 105–120, 2007.
- [34] R. Gandhimathi, A. Babu, P. V. Nidheesh, S. T. Ramesh, and T. S. Anantha Singh, “Laboratory Study on Leachate Treatment by Electrocoagulation Using Fly Ash and Bottom Ash as Supporting Electrolytes,” *J Hazard Toxic Radioact Waste*, vol. 19, no. 3, Jul. 2015, doi: 10.1061/(asce)jhz.2153-5515.0000240.
- [35] R. A. Rahman, N. Latifah, and Mardiah, “Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Biomassa sebagai Bahan Baku Katoda Udara,” *Jurnal Chemurgy*, vol. 03, no. 01, pp. 22–26, 2019.