

## Deskripsi

### METODA PEMBUATAN KAPASITOR ELEKTROKIMIA DARI KARBON AKTIF BALOK KAYU

5

#### **Bidang Teknik Invensi**

Invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan kapasitor elektrokimia, secara khusus kapasitor elektrokimia dari karbon akti balok kayu yang tidak menggunakan pengikat (*binder*), yaitu pengumpul arus berupa pelat tipis logam penghantar listrik, pemisah berupa kain PTFE (*Polytetrafluoroethylene*) - gelas, keramik, plastik atau kertas dan elektroda yang terbuat dari karbon aktif balok kayu.

15

#### **Latar Belakang Invensi**

Istilah kapasitor elektrokimia merujuk kepada dua sisi elektroda dan pemisah yang dapat membentuk dua lapisan listrik atau disebut dengan lapis ganda listrik bila dialiri listrik. Lapisan ganda listrik tersebut tidak hanya terjadi pada permukaan fisik elektroda tetapi juga bagian ruah elektroda, sehingga lapis ganda listrik elektroda yang terbentuk jauh lebih besar dari pada ukuran fisiknya. Namun demikian prosesnya tertahan pada potensial listrik rendah karena fase ruah pada elektroda tidak memiliki kemampuan untuk mengalirkan elektron secara baik. Oleh karena itu, pada prakteknya untuk menghasilkan potensial yang lebih tinggi beberapa kapasitor elektrokimia harus dirangkai secara seri, seperti rangkaian seri pada baterai.

30

Dalam kapasitor konvensional, energi dapat disimpan akibat perpindahan pembawa muatan, yaitu elektron dan ion, yang bergerak dari satu sisi elektroda ke elektroda pada sisi

sebaliknya. Sehubungan dengan perpindahan elektron selalu menghasilkan lubang atomik yang bermuatan positif pada sisi elektroda yang ditinggalkan, maka akan terjadi pemisahan muatan. Lebih lanjut, pemisahan muatan membangkitkan potensial antara dua lempeng yang dapat selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik pada sirkuit eksternal. Total energi yang tersimpan melalui cara ini adalah sebanding dengan jumlah muatan disimpan dan potensial antara pelat. Jumlah muatan yang disimpan per unit tegangan pada dasarnya merupakan fungsi dari ukuran, jarak, dan sifat material elektroda dan material pemisah (material yang ditempatkan di antara dua elektroda).

Material pemisah merupakan faktor penting dalam mendukung kinerja dari kapasitor pada umumnya. Pemilihan material pemisah yang tepat akan menghasilkan kepadatan energi yang dapat disimpan relatif lebih tinggi. Selain itu, karena setiap material memiliki konstanta dielektrik yang berbeda, maka penggunaan material pemisah menghasilkan tegangan listrik yang berbeda.

Berdasarkan mekanisme penyimpanan muatan, kapasitor elektrokimia atau disebut juga dengan kapasitor lapis ganda elektrokimia atau superkapasitor atau ultrakapasitor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu kapasitor lapis ganda listrik (KLGL) yang melibatkan lapisan-ganda pada antarmuka elektroda-elektrolit dan kapasitor-semu (*pseudocapacitor*) yaitu melibatkan reaksi redoks spesi permukaan. Kapasitansi KLGL berkisar antara  $10-40 \text{ Fcm}^{-2}$  dimana luas permukaan yang digunakan berdasarkan hasil pengukuran adsorpsi isothermal. *Pseudocapacitor* memiliki nilai kapasitansi 10-100 kali lebih besar. KLGL menggunakan material karbon sebagai bahan dasarnya, sedangkan *pseudocapacitor* menggunakan polikristalin oksida logam atau campuran oksida logam atau komposit oksida logam/karbon.

Densitas penyimpanan listrik kapasitor elektrokimia dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan bahan berpori sebagai material dasar elektroda. Bahan berpori yang umum dikenal adalah karbon aktif. Karbon aktif dibuat menjadi partikel 5 bubuk yang sangat kecil dimana pada bagian ruahnya terbentuk massa berdensitas rendah dengan lubang-lubang, menyerupai spons. Luas permukaan keseluruhan bahkan lapisan tipis dari material jauh lebih besar dari lempeng logam yang digunakan pada kapasitor konvensional sehingga memungkinkan terbentuknya 10 lebih banyak pembawa muatan, yaitu elektron. Karena jumlah muatan listrik berbanding lurus dengan energi yang disimpan dalam kapasitor elektrokimia, maka energi yang dapat disimpan dalam kapasitor elektrokimia juga akan jauh lebih besar.

Komponen kapasitor elektrokimia terdiri dari elektroda, 15 bahan pemisah (separator) yang mencegah terjadinya kontak listrik antara kedua elektroda tetapi ion-permeable sehingga memungkinkan hanya ion yang berpindah diantara kedua lempeng elektroda dan dua keping pelat logam sebagai pengumpul arus. Ion yang membawa muatan listrik dihasilkan dari ionisasi 20 senyawa elektrolit yang ditambahkan ke dalam kapasitor elektrokimia. Umumnya, susunan komponen kapasitor elektrokimia adalah pengumpul arus - elektroda - separator - elektroda - pengumpul arus.

Berkaitan dengan komponen - komponen kapasitor 25 elektrokimia, pada invensi yang dikemukakan dalam paten US 2008/ 0100990, US 2009/0305138, US 2011/0026189 disebutkan bahwa elektroda kapasitor elektrokimia, masing - masing dapat dibuat dari serbuk karbon aktif yang disolidifikasi dengan menggunakan bahan pengikat (*binder*), yaitu PTFE, komposit 30 karbon dan karbon *nanotube*. Penggunaan bahan - bahan tersebut sebagai dasar pembuatan elektroda memiliki kelemahan karena menggunakan tidak dapat diperbaharui dan biaya produksi yang relatif lebih tinggi. Pada paten US 2012/0087060 disebutkan

tentang kapasitor elektrokimia yang menggunakan bahan pemisah berupa kain tenun (*woven fabric*). Selanjutnya, pada paten US 2008/0232028 disebutkan penggunaan polyester, polyolefin, serat gelas (*fiberglass*), dan atau bahan selulosa sebagai pemisah.

5           Sehubungan dengan permasalahan - permasalahan tersebut di atas, maka inventor mengusulkan suatu invensi yang baru dengan menggunakan monolitik elektroda karbon aktif kayu tanpa menggunakan bahan pengikat (*binder*). Untuk mendapatkan kinerja terbaik dari kapasitor elektrokimia dapat digunakan bahan  
10           elektrolit berbasis air, yaitu larutan  $H_2SO_4$  atau KOH; serta menggunakan pemisah (separator) yaitu kain PTFE gelas. Penggunaan karbon aktif kayu memiliki kelebihan karena bahan dasarnya mudah ditemukan dan dapat menekan biaya produksi. Penggunaan pemisah PTFE gelas memiliki kelebihan ketahanan  
15           bahan yang lebih baik sehingga kapasitor lapis ganda yang dihasilkan dapat bertahan lebih lama.

Oleh karenanya, invensi baru ini diharapkan akan menjadi suatu solusi yang baik terhadap permasalahan yang disebutkan di atas.

20

#### **Uraian Singkat Invensi**

          Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan kapasitor elektrokimia, secara khusus kapasitor elektrokimia dari karbon  
25           akti balok kayu yang tidak menggunakan pengikat (*binder*), yaitu pengumpul arus berupa pelat tipis logam penghantar listrik, pemisah berupa kain PTFE (*Polytetrafluoroethylene*) - gelas, keramik, plastik atau kertas dan elektroda yang terbuat dari karbon aktif balok kayu.

30           Suatu metoda pembuatan kapasitor elektrokimia yang meliputi tahapan - tahapan sebagai berikut:

          Menyiapkan kayu gelam, pelawan atau sejenisnya sebagai bahan baku karbon aktif dalam bentuk potongan ukuran tertentu;

Membersihkan, mencuci, merendam dalam air panas kurang lebih satu hari;

Mengeringkan kayu yang selesai direndam sampai kadar air 15 - 50%;

5 Selanjutnya mempirolisis potongan - potongan kayu yang telah kering dengan temperatur 900 - 1100 °C;

Mendinginkan potongan - potongan kayu yang telah dipirolisis sampai mencapai temperatur ruangan dengan penyiraman pasir secara cepat;

10 Mengoksidasi permukaan karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat pekat dan atau uap air tekanan tinggi.

Invensi ini meliputi pembuatan kapasitor lapis ganda elektrokimia yang terdiri dari elektroda karbon aktif dan pemisah (separator) PTFE gelas. Elektroda karbon aktif yang dibuat dari kayu. Proses pembuatan karbon aktif yang dilakukan secara pirolisis bertahap - tahap yang melibatkan tahapan - tahapan berupa pencucian dan perendaman dalam air panas.

20 Selanjutnya mempirolisis potongan - potongan kayu yang telah kering dengan temperatur 900 - 1100 °C. Mendinginkan potongan - potongan kayu yang telah dipirolisis sampai mencapai temperatur ruangan dengan penyiraman pasir secara cepat. Dilanjutkan dengan langkah oksidasi permukaan karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat pekat dan atau uap air tekanan tinggi.

25 Untuk aplikasi kapasitor elektrokimia, karbon aktif yang telah dipreparasi memiliki ketebalan 3 - 5 mm. Elektroda karbon aktif pada kapasitor ini memiliki kapasitansi spesifik berkisar 28 Farad per gram. Kapasitor yang menggunakan susunan yang dijelaskan sebelumnya dapat menghasilkan kapasitansi 0,01 - 0,23 Farad.

### Uraian Lengkap Invensi

Invensi ini dimulai dengan menyiapkan elektroda dari karbon aktif dengan bahan kayu. Kayu yang sesuai untuk karbon aktif ini adalah kayu yang mengandung kadar air 15-50% dengan struktur serat spiral atau bertaut, misal kayu gelam, kayu sengon. Pembuatan karbon aktif dilakukan secara pirolisis berulang melalui tahapan - tahapan berupa pencucian dan perendaman kayu dalam air panas (80-100°C) selama 5 menit.

Pada tahap persiapan, kayu dikering anginkan selama semalam, dan selanjutnya diberlakukan pirolisis.

Suatu metoda pembuatan kapasitor elektrokimia yang meliputi tahapan - tahapan sebagai berikut:

Menyiapkan kayu gelam, pelawan atau sejenisnya sebagai bahan baku karbon aktif dalam bentuk potongan ukuran tertentu;

Membersihkan, mencuci, merendam dalam air panas kurang lebih satu hari;

Mengeringkan kayu yang selesai direndam sampai kadar air 15 - 50%;

Selanjutnya mempirolisis potongan - potongan kayu yang telah kering dengan temperatur 900 - 1100 °C;

Mendinginkan potongan - potongan kayu yang telah dipirolisis sampai mencapai temperatur ruangan dengan penyiraman pasir secara cepat;

Mengoksidasi permukaan karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat pekat dan atau uap air tekanan tinggi.

Pirolisis tahap pertama dilakukan pada temperatur 900 - 1100 °C (kecepatan pemanasan 3°C per menit) selama 5 - 9 jam dalam atmosfer N<sub>2</sub> dengan kecepatan alir 1 mLdetik<sup>-1</sup>. Kayu kemudian didinginkan sampai mencapai suhu ruang dengan kecepatan pendinginan 3°C per menit. Kayu selanjutnya dilakukan pirolisis tahap ke dua dengan prosedur seperti pirolisis

pertama yaitu pemanasan pada temperatur 500 sampai 700 °C (kecepatan pemanasan 3°C per menit) selama 5 - 9 jam tanpa atmosfer N<sub>2</sub>. Kayu kemudian didinginkan sampai mencapai suhu ruang dengan kecepatan pendinginan 3°C per menit. Dilanjutkan dengan langkah oksidasi permukaan karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat pekat (35%) atau uap air tekanan tinggi. Pengoksidasian karbon aktif dengan asam nitrat pekat dilakukan dengan cara di reflux selama 1-2 jam pada 60°C. Apabila pengoksidasian dilakukan dengan uap air tekanan tinggi maka karbon aktif diletakkan dalam reaktor hidrotermal selama 24 jam pada suhu 200-250°C dengan tekanan 30 bar. Karbon aktif yang telah dioksidasi selanjutnya dikeringkan ddalam oven hingga mencapai kadar air tidak melebihi 10%. Karbon aktif yang dihasilkan ini memiliki karakteristik, yaitu resistivitas berkisar 0,03 - 8,14 Ω, mengandung sedikit banyak partikel mikrokristalit dengan pori mikro dan pori meso. Karakter-karakter tersebut diturunkan dari tekstur kayu cukup halus dan rata dengan butir-butir memanjang yang mengunci satu sama lain serta densitas kayu yang relatif tinggi. Pada saat pirolisis berlangsung, terjadi transformasi dari serat kayu menjadi struktur berlapis karbon. Lapisan-lapisan karbon menjadi lebih rapat satu sama lain bila kecepatan pirolisis berlangsung lambat.

Berdasarkan pengukuran voltammetri siklik, perlakuan oksidatif mengakibatkan proses elektrokimia lebih cenderung menjalankan proses Faraday. Namun perlakuan oksidasi uap air masih menyisakan sedikit proses non-faraday. Perlakuan oksidatif dengan HNO<sub>3</sub> menghilangkan keberadaan proses terbentuknya lapis ganda pada elektroda. Karbon aktif memberikan perbedaan kepada perilaku elektrokimia elektroda karbon aktif yang dioksidasi dengan asam kuat maupun uap air. Respon masing-masing karbon aktif terhadap konsentrasi asam juga mengalami perubahan. Bila elektroda berada pada lingkungan

elektrolit pada konsentrasi tinggi, dan pada potensial listrik yang sama, arus listrik akan dihasilkan akan mengalami peningkatan. Kondisi ini dikarenakan tersedianya pembawa muatan berupa ion, sebagaimana yang diperlihatkan oleh karbon aktif yang dioksidasi dengan asam nitrat.

Namun kondisi sebaliknya ditunjukkan oleh karbon tanpa perlakuan oksidasi dan karbon aktif yang dioksidasi dengan uap air. Kedua elektroda karbon mengalami penurunan arus listrik. Semua elektroda, baik sebelum dan sesudah oksidasi memperlihatkan peningkatan arus saat dikenakan potensial listrik. Berbeda dengan respon elektroda yang berada dalam lingkungan asam, pada lingkungan basa ke-dapat-terbalikan elektrokimia masing-masing berubah drastis. Selain itu, semua elektroda mengalami penurunan arus sesaat yang terjadi pada potensial rendah, yang diakibatkan reaksi oksidasi air yang dimediasi oleh komponen yang membentuk pori karbon aktif. Dengan demikian elektroda yang dioksidasi dengan asam nitrat akan memiliki nilai kapasitansi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda yang belum dioksidasi dan elektroda yang dioksidasi dengan uap air. Pengukuran kapasitansi ketiga elektroda dilakukan dengan menggunakan metoda voltametri siklik

Penyusunan komponen-komponen dalam kapasitor terdiri dari dua potong monolitik karbon sebagai elektroda; plat pengumpul arus yang dapat dibuat dari titanium atau aluminium, grafit lempeng, *stainless* dan *alloy*; bahan separator yang terbuat dari kain PTFE - gelas atau lembaran PTFE dengan ketebalan minimum mungkin, aplikator yang terbuat dari batang *stainless steel* serta rangka rumah-rumahan kapasitor yang dibuat dari silinder PTFE, *polyethylene*, atau resin akrilik. Konstruksi yang dibuat dengan mengapit bahan pemisah dengan elektroda karbon pada kedua sisinya. Elektroda dan separator kemudian diapit oleh plat pengumpul arus. Pengisian larutan elektrolit dilakukan

melalui bagian samping silinder dengan menggunakan jarum suntik setelah konstruksi ditutup rapat dalam rumah-rumahnya. Aplikator dipasang menembus kedua bagian (atas dan bawah) rumah-rumahan dan terhubung dengan pengumpul arus yang berada  
5 pada bagian dalam konstruksi.

Untuk aplikasi kapasitor elektrokimia, karbon aktif yang telah dipreparasi, terlebih dahulu dibentuk menjadi monolitik dengan dalam bentuk lingkaran atau persegi dengan ketebalan 3 - 5 mm. Proses pembuatan dilakukan dengan menggunakan gergaji  
10 listrik sirkular mini. Permukaan elektroda perlu diratakan dan dihaluskan dengan kertas silikon karbida (kertas amplas) P200 dan P2000 sebelum digunakan pada kapasitor. Elektroda karbon aktif pada kapasitor ini memiliki kapasitansi spesifik berkisar  
15 28 Farad per gram. Kapasitor yang menggunakan susunan yang dijelaskan sebelumnya dapat menghasilkan kapasitansi 0,01 - 0,23 Farad.

**Klaim**

1. Suatu metoda pembuatan kapasitor elektrokimia yang meliputi tahapan - tahapan sebagai berikut:
  - 5 menyiapkan kayu gelam, pelawan atau sejenisnya sebagai bahan baku karbon aktif dalam bentuk potongan ukuran tertentu;  
membersihkan, mencuci, merendam dalam air panas kurang lebih satu hari;
  - 10 mengeringkan kayu yang selesai direndam sampai kadar air 15 - 50%;  
selanjutnya mempirolisis potongan - potongan kayu yang telah kering dengan temperatur 900 - 1100 °C;  
mendinginkan potongan - potongan kayu yang telah
  - 15 dipirolisis sampai mencapai temperatur ruangan dengan penyiraman pasir secara cepat;  
mengoksidasi permukaan karbon aktif dengan menggunakan asam nitrat pekat dan atau uap air tekanan tinggi.
- 20 2. Metoda pembuatan kapasitor elektrokimia, sesuai dengan klaim 1 dimana monolitik elektroda karbon untuk kapasitor elektrokimia yang tidak mengandung bahan pengikat apapun.
3. Metoda pembuatan kapasitor elektrokimia, sesuai dengan klaim  
25 1 diman monolitik elektroda karbon sebagaimana disebutkan pada klaim 1 merupakan karbon aktif dari kayu yang mengandung kadar air 15 - 50% dan berstruktur serat spiral atau berpaut (*interlock*).
- 30 4. Metoda pembuatan kapasitor elektrokimia, sesuai dengan klaim 1, dimana metoda pembuatan karbon sebagaimana disebutkan pada klaim 2 terdiri dari tahap - tahap
  - a. Pemanasan awal (*pre-heat*);

- b. Pirolisis tahap pertama;
- c. Pendinginan;
- d. Pirolisis tahap ke dua; dan
- e. Oksidasi.

5

5. Metoda pembuatan kapasitor elektrokimia, sesuai dengan klaim 1, dimana kapasitor elektrokimia yang terdiri dari elektroda karbon aktif kayu dan separator kain PTFE (*Polytetrafluoroethylene*) - gelas, keramik, plastik atau kertas dengan kapasitansi 0,01 - 0,23 Farad.

10

15

**Abstrak**METODA PEMBUATAN KAPASITOR ELEKTROKIMIA DARI  
KARBON AKTIF BALOK KAYU

5

Invensi ini berhubungan dengan kapasitor lapis ganda elektrokimia yang terdiri dari elektroda karbon aktif kayu tanpa binder, pengumpul arus dan pemisah PTFE - gelas. Karbon aktif dibuat dari kayu yang mengandung kadar air 15 - 50% dengan struktur serat kayu spiral atau berpaut yang diproses secara pirolisis bertahap yang terdiri dari tahap - tahap pemanasan awal (*preheat*), pirolisis pertama, pendinginan, pirolisis kedua dan oksidasi. Pemanasan awal pada temperatur 230 - 260 °C, pirolisis dilakukan dengan kecepatan 3 °C menit dengan aliran gas nitrogen dengan temperatur puncak 700 °C, pendingin dengan kecepatan pendinginan 3 C menit<sup>-1</sup> serta dioksidasi asam nitrat pekat (35%) dengan cara direflux selama 1 - 2 jam, pada temperatur 60 °C atau dioksidasi dalam reaktor hidrotermal selama 24 jam pada temperatur 200 - 250 °C dan tekanan 30 bar. Elektroda karbon aktif pada kapasitor ini memiliki kapasitansi spesifik berkisar 28 Farad per gram. Kapasitor yang menggunakan susunan yang dijelaskan sebelumnya dapat menghasilkan kapasitansi 0,01 - 0,23 Farad.

25