

Analisis Kapasitas Spesifik Simetris dan Asimetris *Coin Cell* Superkapasitor menggunakan Reduksi Graphene Oksida dan Doping Boron Graphene

Nurlia Pramita Sari^{1✉}, Muhammad Fakhruddin², Mochamad Muzaki³, Hangga Wicaksono⁴, Andita N.F Ganda⁵, Yanuar Rohmat Aji Pradana⁶

^{1,2,3,4} Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

⁵ Teknik Mesin D4, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

⁶ Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 24-02-2023

Direvisi : 08-03-2023

Diterima : 13-03-2023

Kata Kunci:

Superkapasitor, Coin Cell, Doping Boron, Reduksi Graphene Oksida

Keywords :

Supercapacitor, Coin Cell, Boron-Doped, Reduction Graphene Oxide

ABSTRAK

Superkapasitor banyak diteliti karena kepadatan dayanya yang tinggi, siklus hidup yang panjang, dan fungsinya yang memiliki output daya tinggi dan yang memiliki penyimpanan energi tinggi. Graphene memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan konduktifitas elektrik yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai elektroda pada coin cell superkapasitor. Boron dinilai sebagai unsur kimia yang baik sebagai bahan dopan. Artikel ini bertujuan untuk menganalisa penggunaan reduksi graphene oksida dan doping boron graphene oksida sebagai bahan elektroda dari asimetris dan simetris *coin cell* superkapasitor. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan reduksi graphene oksida dan doping boron graphene yang digunakan sebagai katoda dan anoda coin cell superkapasitor. Pereduksian dilakukan dengan proses pirolisis dalam atmosfer argon dan hidrogen pada temperatur tinggi. Hasilnya menunjukkan graphene dapat didoping menggunakan boron dan dapat digunakan sebagai elektroda (katoda dan anoda) pada coin cell simetris dan asimetris. Nilai kapasitas coin cell asimetris merupakan nilai pertengahan dari coin cell simetris dari bahan katoda dan anodanya.

ABSTRACT

Supercapacitors are extensively researched due to their high power density, long cycle life, and their high output power and high energy storage functions. Graphene has a large specific surface area and high electrical conductivity, making it good for use as electrodes in coin cell supercapacitors. Boron is considered a good chemical element as a dopant material. This article aims to analyze the use of reduced graphene oxide and doped graphene oxide boron as electrode materials for asymmetric and symmetric coin cell supercapacitors. The method used is experimental with the reduction of graphene oxide and doped graphene boron which is used as the cathode and anode coin cell supercapacitor. The reduction is carried out by a pyrolysis process in an atmosphere of argon and hydrogen at high temperatures. The results show that graphene can be doped with boron and can be used as electrodes (cathode and anode) in symmetric and asymmetric coin cells. The capacity value of the asymmetric coin cell is the median value of the symmetrical coin cell of the cathode and anode materials.

Corresponding Author :

Nurlia Pramita Sari

Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

JL Soekarno Hatta No 9 Malang

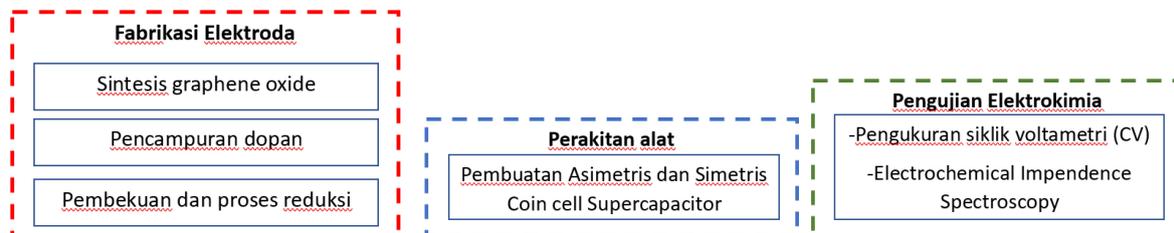
PENDAHULUAN

Kelangkaan energi yang bersumber dari minyak bumi, menyebabkan pentingnya energi alternatif. Banyak dilakukan penelitian mengenai energi alternatif tersebut. Di banyak area aplikasi, beberapa yang paling efektif dan teknologi praktis untuk konversi energi elektrokimia dan penyimpanan adalah baterai, sel bahan bakar, dan superkapasitor. Beberapa tahun belakangan, superkapasitor banyak menarik perhatian yang signifikan, terutama karena kepadatan dayanya yang tinggi, siklus hidup yang panjang, dan fungsinya yang menjembatani untuk kesenjangan daya/energi antara kapasitor dielektrik tradisional (yang memiliki output daya tinggi) dan baterai/sel bahan bakar (yang memiliki penyimpanan energi tinggi)(Chmiola et al., 2010).

Karena sifatnya yang amat menarik, yaitu luas permukaan spesifik yang besar (SSA-specific surface area) dan konduktifitas elektrik yang tinggi, yang mana merupakan syarat dalam meningkatkan kinerja superkapasitor, graphene banyak digunakan. Kinerja graphene sebagai bahan electrode dari superkapasitor banyak diteliti. (Zhang et al., 2013)(N. P. Sari et al., 2017). Pembuatan celah pita pada graphene sangat berguna. Hal ini dapat dilakukan menggunakan penambahan unsur kima (doping) dari graphene. Selanjutnya, doping kimia dari unsur-unsur seperti boron dan nitrogen dalam graphene menimbulkan sifat yang berguna bagi pengaplikasian graphene untuk superkapasitor. (Rao et al., 2014). Untuk meningkatkan kinerja superkapsitor berbasis graphene, beberapa dopan telah diteliti, hasilnya boron dinilai sebagai unsur kimia yang baik sebagai bahan dopan (N. Sari et al., 2017) dan dimanfaatkan untuk elektroda dari superkapasitor simetris (N. Sari & Ganda, 2020). Artikel ini bertujuan untuk menganalisa penggunaan reduksi graphene oksida dan doping boron graphene oksida sebagai bahan elektroda dari asimetris dan simetris *coin cell* superkapasitor.

METODE PENELITIAN

Pada *coin cell* superkapasitor terdapat dua buah elektroda yang digunakan sebagai anoda dan katoda. Penelitian ini dilakukan secara secara ekperimental dengan menggunakan variabel bebas jenis katoda dan anoda yang digunakan, yaitu boric acid dan boron oksida. Proses penelitian akan dijabarkan kedalam skema pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Proses Penelitian

Fabrikasi elektroda dilakukan dengan mensintesis graphene oksida menggunakan metode Hummer's termodifikasi (Marcano et al., n.d.). H_2SO_4 (69 mL) ditambahkan ke campuran grafit (3,0 g) dan NaNO_3 (1,5 g), dan campuran didinginkan menggunakan penangas es hingga 0°C . KMnO_4 (9,0 g) ditambahkan sedikit demi sedikit untuk menjaga suhu reaksi di bawah 20°C . Reaksi dihangatkan sampai 35°C dan diaduk selama 7 jam. Tambahan KMnO_4 (9,0 g) dan reaksi diaduk selama 12 jam pada suhu 35°C . Campuran reaksi didinginkan hingga suhu kamar dengan bantuan media pendingin es (400 mL) dengan 30% H_2O_2 (3mL). Campuran tersebut kemudian dimurnikan yaitu dengan pengayakan, penyaringan, sentrifugasi, penuangan dengan beberapa pencucian menghasilkan produk GO. Penggunaan metode ini dinilai lebih efektif dan mudah serta menghasilkan graphene oksida dengan kuantitas dan kualitas yang baik. Selanjutnya dilakukan pencampuran dopan boron menggunakan boric acid (H_3BO_3) 500mg dalam larutan GO 50mL untuk selanjutnya disebut sampel BA dan menggunakan Boron Oksida (B_2O_3) 500mg kedalam larutan GO 50mL untuk selanjutnya disebut sampel BO. Graphene oksida serta campuran graphene oksida kemudian dibekukan dan direduksi dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi

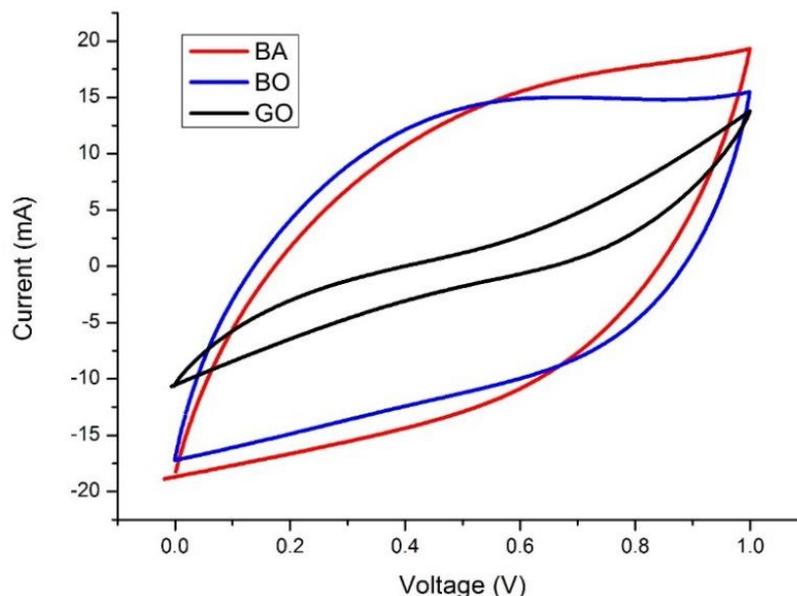
(900°C) pada dapur bertekanan rendah yang dialiri campuran gas H_2/Ar (20/80 sccm). Hasil reduksi graphene oksida tanpa campuran selanjutnya akan disebut sebagai rGO.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan atau perakitan simetris menggunakan katoda dan anoda sama yaitu BA-BA dan BO-BO dan asimetris coin cell menggunakan katoda dan anoda yang berbeda; rGO-BA dan rGO-BO. Elektrolit yang digunakan pada coin cell ini adalah 6M KOH.

Pengujian elektrokimia dilakukan dengan standar pengaturan 2-elektroda dengan mesin biologic; SP-150. Pengujian elektrokimia dilakukan dengan pengujian siklik voltametri (CV) yang dilakukan pada rentang 5, 10, 50, 100, 200, mV/s dengan potensial dalam rentang dari 0-1 V. Dan pengukuran spektrum impedansi elektrokimia (EIS) menggunakan biologic; VSP-300 dengan amplitudo 10 mV dari 1 MHz sampai 0.1 Hz.

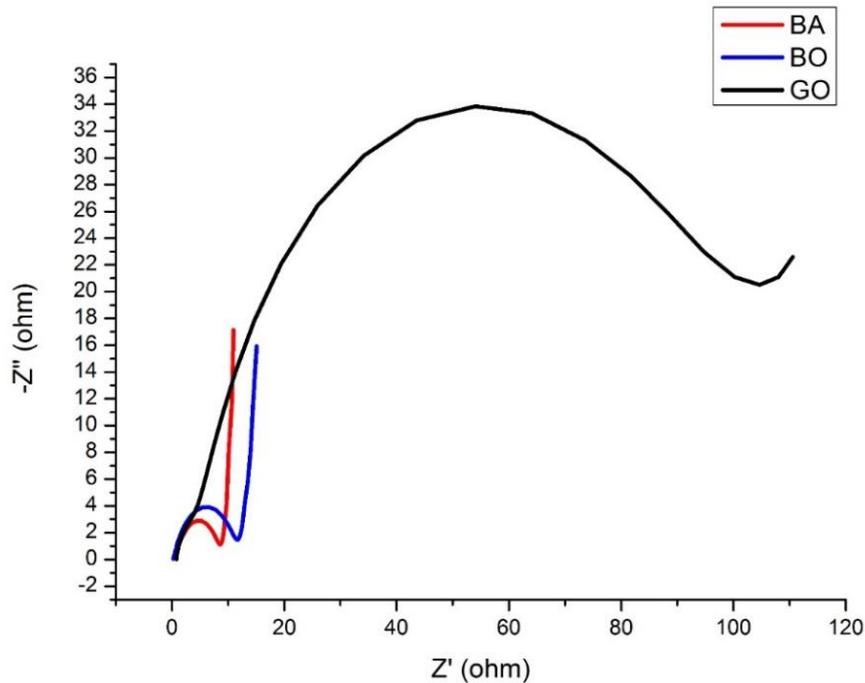
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian elektrokimia siklik voltametri disajikan dalam bentuk grafik potensial terhadap current pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik CV simetris coin cell

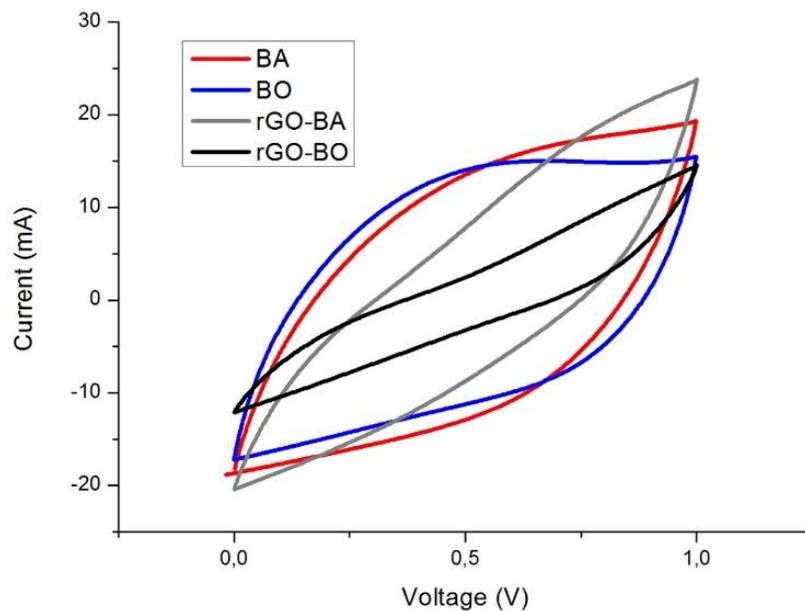
Pada gambar 2 adalah grafik siklik voltametri (CV) pada simetris coin cell rGO-rGO, BA-BA, dan BO-BO pada scan rate 200mV/s. Pada grafik CV dapat diketahui sifat double-layer supercapacitor (DLC). Semakin persegi grafik CVnya maka sifatnya semakin mendekati sifat DLC. Sifat DLC dimanfaatkan di setiap kapasitor elektrokimia untuk menyimpan energi listrik. Sehingga bila sifat DLC nya semakin baik maka semakin baik dalam menyimpan energi listrik. Selain itu semakin luas penampang dari persegi tersebut dapat mengidentifikasi semakin besar nilai kapasitasnya. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa sampel BA-BA dan BO-BO memiliki bentuk mendekati persegi dari pada sampel rGO-rGO. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan boron menyebabkan sifatnya semakin mendekati DLC, yang artinya adsorpsi ion reversible pada antarmuka elektroda dengan elektrolit lebih baik, sehingga menyebabkan nilai kapasitas spesifiknya semakin besar. Apabila kapasitas spesifiknya semakin besar maka kemampuan untuk menyimpan energi dari superkapasitor tersebut semakin baik.



Gambar 3. Grafik EIS simetris coin cell

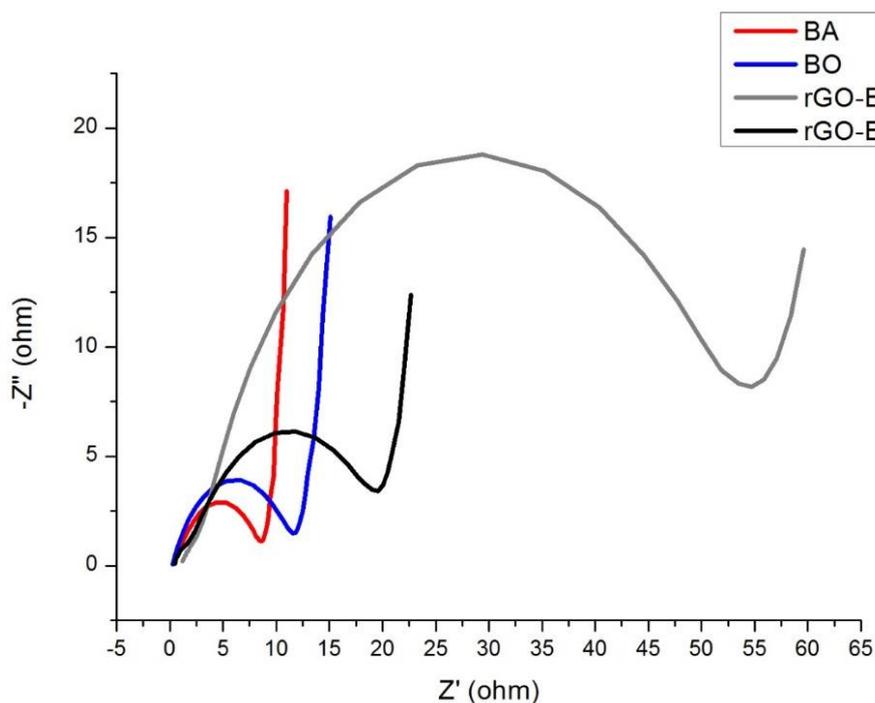
Pada gambar 3 adalah grafik electrochemical impedance spectroscopy (EIS) pada sampel uji simetris coin cell rGO-rGO, BO-BO, dan BA-BA. Pengujian EIS digunakan untuk menyelidiki difusi ion pada sampel. Grafik setengah lingkaran mengidentifikasi hambatan yang terjadi pada sampel uji. Apabila sampel memiliki hambatan yang besar maka grafik setengah lingkaran akan semakin besar, yang artinya adsorpsi ion antar muka antara elektrode dengan elektrolite semakin sukar. Pada gambar 3 menguatkan hasil yang didapat pada gambar 2, pada sampel rGO-rGO grafik setengah lingkaran paling besar diikuti oleh BO dan paling kecil BA. Hal ini berarti dengan penambahan boron menyebabkan adsorpsi ion antar muka antara elektroda dan elektrolite pada sampel semakin mudah. Sehingga kemampuan untuk menyimpan energi dari superkapasitor tersebut semakin baik.

Juga pada gambar 3, dengan penambahan boron muncul grafik lurus (ekor) pada sampel BA dan BO, sedangkan sampel GO tidak terdapat ekor. Grafik lurus (ekor) setelah setengah lingkaran terdapat garis yang hampir lurus mengidentifikasi perilaku kapasitas yang murni dari superkapasitor. Ini biasanya disebut daerah Warburg. Semakin tegak (mendekati 90°) daerah Warburg maka dapat diyakini bahwa elektrolit meresap jauh ke dalam elektroda. Dari gambar 3 tidak terdapat daerah Warburg (ekor) pada sampel rGO-rGO. Sehingga dapat disimpulkan bahwa elektrolit tidak meresap ke dalam elektroda pada sampel uji. Setelah penambahan boron/ doping boron pada grafik EIS muncul daerah Warburg, maka dengan penambahan boron elektrolit lebih meresap ke dalam elektroda.



Gambar 4. Grafik CV asimetris coin cell

Gambar 4 merupakan grafik siklik voltametri (CV) simetris coin cell (BA-BA dan BO-BO) dan asimetris coin cell (rGO-BA, rGO-BA) pada scan rate 200mV/s. Dapat dilihat bahwa sampel BA-BA dan BO-BO memiliki bentuk mendekati persegi diikuti rGO-BA dan rGO-BO. Ini mengidentifikasi penggunaan asimetris coin cell kuranglah efektif dari pada penggunaan simetris coin cell. Dikarenakan nilai sampel asimetris coin cell dipengaruhi oleh sampel GO sehingga sifatnya mempengaruhi hasil yang didapat. Akan tetapi dengan penggunaan GO dapat mereduksi biaya pembuatan coin cell.



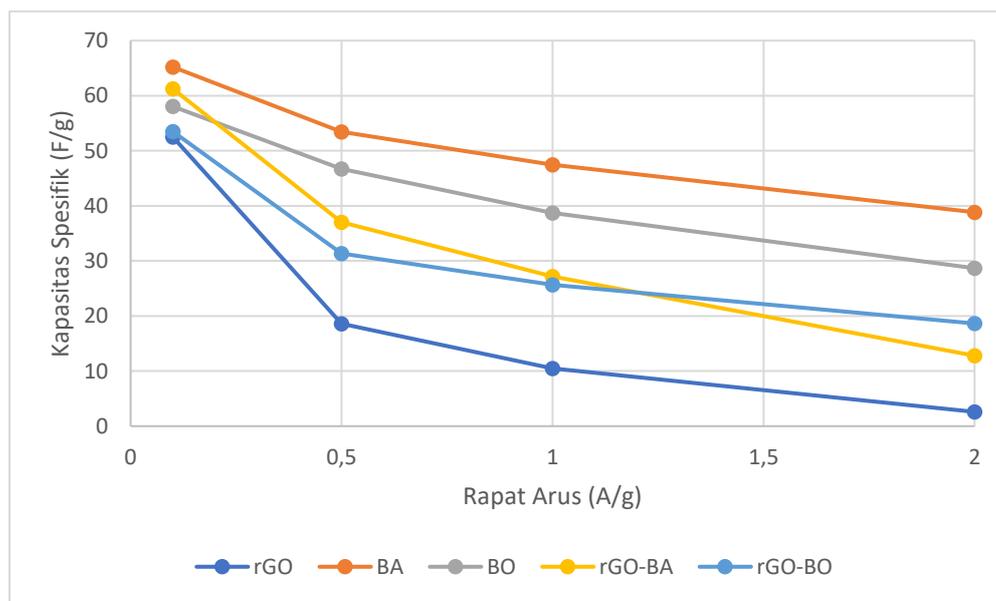
Gambar 5. Grafik EIS asimetris coin cell

Pada gambar 5 merupakan grafik electrochemical impedance spectroscopy (EIS) pada sampel uji simetris coin cell (BO-BO, BA-BA) dan (rGO-BA, rGO-BO). Pada sampel rGO-BA grafik setengah lingkaran paling besar diikuti oleh rGO-BO, kemudian BO-BO dan paling kecil BA-BA. Hal ini berarti pada simetris coin cell adsorpsi ion antar muka antara elektroda dan elektrolit semakin besar dibandingkan dengan asimetris coin cell. Ini menguatkan bahwa penggunaan asimetris coin cell kurangnya efektif daripada penggunaan simetris coin cell. Dikarenakan nilai sampel asimetris coin cell dipengaruhi oleh sampel GO sehingga sifatnya mempengaruhi hasil yang didapat. Akan tetapi dengan penggunaan GO dapat mereduksi biaya pembuatan coin cell.

Setelah dilakukan perhitungan, maka kapasitas spesifik dari coin cell dipaparkan pada tabel 1 dan digambarkan pada gambar 6.

Tabel 1. Nilai Kapasitas Spesifik pada masing-masing sampel

Rapat Arus (A/g)	Kapasitas Spesifik (F/g)				
	rGO	BA	BO	rGO-BA	rGO-BO
0.1	52.5	65.205	58.04	61.254	53.49
0.5	18.573	53.453	46.7	37.01	31.367
1	10.483	47.4667	38.7	27.18	25.685
2	2.6	38.84	28.68	12.8	18.64



Gambar 6. Grafik perbandingan Nilai Kapasitas Spesifik terhadap rapat arus pada masing-masing sampel

Dari grafik gambar 6 dan tabel 1 didapatkan kapasitas spesifik dari tiap sampel pada current density yang berbeda. Hasilnya adalah semakin rendah rapat arus maka kapasitas spesifiknya semakin besar. Ini terjadi karena adsorpsi ion yang terjadi pada antar muka antara elektroda dan elektrolit membutuhkan waktu. Sehingga bila rapat arusnya rendah, arus yang mengalir pelan, sehingga ion dapat teradsorpsi lebih baik. Elektrode superkapasitor diklasifikasikan menjadi double-layer kapasitor (DLC) dan pseudokapasitor (PCs). Biasanya, elektroda berbasis karbon dengan luas permukaan tinggi menjadi bahan elektroda kapasitor yang memiliki kapasitansi double layer di mana energi disimpan melalui adsorpsi ion reversibel pada antar muka elektroda/elektrolit. Di sisi lain, PCs bekerja melalui reaksi redoks reversibel yang terjadi di dekat permukaan elektroda. Kombinasi DLC dan PCs dapat menyimpan dan melepaskan energi listrik dengan pemisahan muatan nanoscopic pada antarmuka antara elektroda dan elektrolit.

Sementara penambahan boron sebagai bahan doping dapat menambahkan kapasitas spesifik dari sampel. Hal ini terjadi karena boron memiliki 3 cabang pada atomnya. Sehingga ada satu cabang dari rantai karbon yang tidak terisi. Hal ini menyebabkan keelektronegatifan dari elektroda menjadi lebih besar sehingga ion-ion dapat bergerak lebih leluasa dan lebih efektif mengisi kekosongan cabang yang dapat meningkatkan sifat elektrokimianya.

Asimetris coin cell menggabungkan dua buah elektroda yang berbeda sehingga nilai kapasitas spesifiknya terletak diantara kedua elektroda sejenis. Untuk meningkatkan nilai kapasitas spesifiknya, lebih baik menggunakan simetris coin cell dengan elektroda doping boron graphene.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Graphene dapat didoping menggunakan boron dan dapat digunakan sebagai elektroda (katoda dan anoda) pada coin cell simetris dan asimetris
2. Nilai kapasitas coin cell asimetris merupakan nilai pertengahan dari coin cell simetris dari bahan katoda dan anodanya.

Saran

1. Penggunaan asimetris coin cell dapat digunakan untuk menekan biaya produksi, namun ingin memiliki nilai kapasitas yang baik. Hal ini dilakukan karena proses pembuatan doping yang lebih mahal.
2. Penelitian selanjutnya baiknya berfokus untuk mencari bahan anoda dan katoda lainya yang nilai kapasitasnya tinggi.

REFERENSI

- Chmiola, J., Largeot, C., Taberna, P.-L., Simon, P., & Gogotsi, Y. (2010). Monolithic carbide-derived carbon films for micro-supercapacitors. *Science (New York, N.Y.)*, 328(5977), 480–483. <https://doi.org/10.1126/science.1184126>
- Marcano, D. C., Kosynkin, D. V, Berlin, J. M., Sinitzkii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W., & Tour, J. M. (n.d.). *Synthesis Improve graphene oxide*. 4(8). <https://doi.org/10.1021/nn1006368>
- Rao, C. N. R., Gopalakrishnan, K., & Govindaraj, A. (2014). Synthesis, properties and applications of graphene doped with boron, nitrogen and other elements. *Nano Today*, 9(3), 324–343. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2014.04.010>
- Sari, N., & Ganda, A. (2020). Doping Graphene Oksida Menggunakan Boric Acid (H₂Bo₃) Untuk Meningkatkan Kinerja Coin Cell Superkapasitor. *Otopro*, 16(1), 7. <https://doi.org/10.26740/otopro.v16n1.p7-11>
- Sari, N. P., Dutta, D., Jamaluddin, A., Chang, J.-K., & Su, C.-Y. (2017). Controlled multimodal hierarchically porous electrode self-assembly of electrochemically exfoliated graphene for fully solid-state flexible supercapacitor. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(45). <https://doi.org/10.1039/c7cp05799g>
- Sari, N., Sonief, A., & Ching, Y. S. (2017). Boron Doped Graphene 3-Dimensi untuk Superkapasitor Kapasitas Tinggi. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(2), 53–57. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2017.008.02.1>
- Zhang, L., Zhang, F., Yang, X., Long, G., Wu, Y., Zhang, T., Leng, K., Huang, Y., Ma, Y., Yu, A., & Chen, Y. (2013). Porous 3D graphene-based bulk materials with exceptional high surface area and excellent conductivity for supercapacitors. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep01408>