

Analisis Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan *Graphene*

Diah Ayu Safitri, Diah Susanti, Haniffudin Nurdiansyah.

Jurusan Teknik Material & Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: santiche@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Kebutuhan manusia akan barang elektronik semakin meningkat, sehingga meningkat pula kebutuhan akan media penyimpan listrik. Salah satu media penyimpan energi yaitu kapasitor. *Electric Double Layer Capacitor (EDLC)* merupakan superkapasitor yang memiliki waktu hidup yang lebih lama, rapat daya dan kecepatan charging-discharging tinggi. *Graphene* telah banyak dieksplorasi sebagai material untuk EDLC, salah satunya yaitu dengan pendopongan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh doping nitrogen terhadap struktur dan morfologi serta pengaruh doping nitrogen terhadap sifat kapasitif dari elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*. Sintesis *graphene* diawali dari grafit yang dioksidasi menjadi grafit oksida dengan metode Hummer. Grafit oksida lalu direduksi dengan metode hidrotermal menjadi *graphene*. Penelitian ini memvariasikan doping nitrogen dengan penambahan NH_4OH 0.1 ml, 0.3 ml dan 1 ml. Material yang disintesis ini dikarakterisasi menggunakan XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscopy), EDS (Energy Dispersive X-Ray analysis), FPP (Four Point Probe), dan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Dari hasil karakterisasi menunjukkan bahwa material yang disintesis adalah *graphene*. Sifat kapasitif Elektroda diukur dengan melakukan uji Cyclic Voltametry (CV) dengan rentang scan rate 5, 10, 50 dan 100 mV/s. Dari hasil penelitian didapatkan doping nitrogen pada *graphene* yang paling optimal adalah dengan penambahan NH_4OH 0.3 ml yaitu 5.2%at dengan nilai kapasitansi sebesar 208.47 F/g.

Kata kunci : *Graphene*, kapasitansi, superkapasitor, doping, nitrogen.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN manusia akan barang elektronik semakin meningkat, sehingga meningkat pula kebutuhan akan media penyimpan listrik. Superkapasitor merupakan terobosan baru di dunia piranti penyimpan energi yang memiliki rapat daya yang besar, kapasitas penyimpanan muatan yang sangat besar, proses pengisian-pengosongan muatan yang cepat dan tahan lama jika dibandingkan dengan kapasitor biasa. Keunggulan tersebut menyebabkan superkapasitor telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang seperti bidang teknologi digital, mesin listrik dan peralatan militer dan luar angkasa. Beberapa contoh material yang digunakan sebagai pengisi elektroda adalah karbon aktif, metal oksida, dan lain-lain.

Belakangan ini, *graphene* yang merupakan salah satu material karbon dengan ketebalan satu atom dalam struktur 2 dimensi, telah dikenal sebagai material yang ideal untuk penyimpan energi kimia. Hal ini disebabkan karena keunikan sifatnya antara lain memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi, luas permukaan dan kesetimbangan kimia yang bagus [1]. Sifat selalu berhubungan dengan struktur dari material. Beberapa peneliti telah melakukan modifikasi sifat elektic dari *graphene* dengan mengontrol strukturnya,

termasuk penyiapan carbon sheet dengan layer yang berbeda dan *graphene* dengan atau tanpa defek akibat dari metode sintesisnya [2].

Pada penelitian yang dilakukan Suresh B. Pada tahun 2016 [3], ditemukan bahwa ketika material *Graphene* dan Nitrogen dikombinasikan melalui proses pendopongan, maka akan menaikkan nilai kapasitansi dari superkapasitor. Penelitian Suresh dengan metode via supercritical fluid ini memiliki nilai kapasitansi sebesar 286 F/gram. Melihat nilai kapasitansi yang bagus ketika kedua *Graphene* dan nitrogen dikombinasikan, oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan tentang kombinasi *Graphene* dengan Nitrogen. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan doping nitrogen ke dalam *Graphene* untuk meningkatkan sifat kapasitif dan nilai kapasitansinya sebagai superkapasitor.

II. METODE PENELITIAN

A. Sintesis *Graphene* dan N-*Graphene*

Graphene disintesis dengan menggunakan metode hummer. Proses sintesis diawali dengan mengoksidasi grafit menjadi grafit oksida dengan menggunakan, H_2SO_4 , NaNO_3 , dan KMnO_4 . Proses dilanjutkan dengan *stirring* larutan selama 1 jam dan menambahkan H_2O_2 untuk menghilangkan kandungan KMnO_4 sisa dalam larutan. Selanjutnya dilakukan proses pencucian menggunakan HCl 5% (0.01 M) untuk menghilangkan ion-ion logam yang tersisa apabila pH telah netral dan tidak terdapat endapan saat titrasi BaCl_2 maka dilanjutkan proses *drying* pada temperatur 110°C selama 12 jam untuk memperoleh grafit oksida [4].

Grafit oksida disintesis dengan cara direduksi agar didapatkan *Graphene*. Pembuatan dimulai dengan cara melarutkan grafit oksida dengan aquades dan proses ultrasonikasi selama 90 menit agar didapatkan larutan yang homogen. Selanjutnya dilakukan proses *hydrothermal* untuk mendapatkan *Graphene*. Untuk pembuatan N-*Graphene* larutan grafit oksida ditambah NH_4OH dengan variasi 0.1 ml, 0.3 ml dan 1 ml setelah diultrasonikasi kemudian *disting* selama 1 jam. Lembaran atau serbuk hasil *hydrothermal* dilakukan pencucian menggunakan aquades beberapa kali kemudian *didrying* dengan temperatur 80 °C selama 12 jam.

B. Pembuatan Elektroda

Graphene dan aquades dicampur dengan perbandingan 1 mg : 1ml. Kemudian diaduk menggunakan mesin stirer dengan kecepatan 300 rpm selama 1 jam sampai terlihat larutan telah berwarna hitam dan material di dalamnya telah hancur. Kemudian larutan yang telah berisi *Graphene* digunakan untuk didepositkan ke dalam elektroda Nickel Foam dengan menggunakan ultrasonikasi selama 30 menit.

Baik *Nickel Foam* dan *Graphene* setelah proses ultrasonikasi mengalami proses pengeringan, dengan proses drying di dalam *muffle furnace* pada $T=110^{\circ}\text{C}$ selama 12 jam. Setelah kering, spesimen di kompresi agar material yang didepositkan tidak rontok. Sedangkan, Nickel foam lalu ditimbang sekali lagi untuk mengetahui massa *Graphene* yang terdeposit kedalam pori-pori nickel foam.

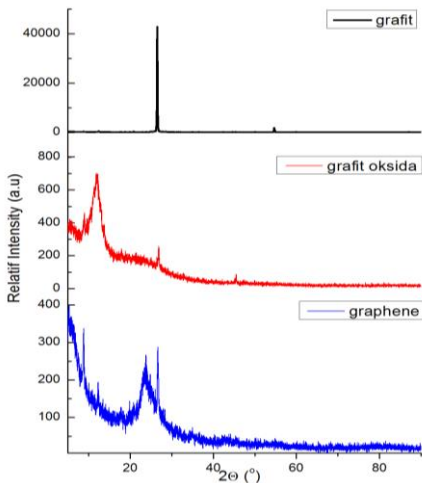
C. Karakterisasi Material

Pengamatan struktur grafit, grafit oksida, rGO dan N-rGO dilakukan menggunakan XRD. Sampel grafit oksida berbentuk lembaran sedangkan *Graphene* berbentuk serbuk. Pengamatan difraksi sinar x dilakukan pada sudut $2\theta = 5^{\circ}-90^{\circ}$ dengan $\lambda \text{ Cu-K}\alpha = 1.54060 \text{ \AA}$. Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan instrumen SEM *Inspect S50* dan pengamatan gugus fungsi menggunakan FTIR. Sedangkan untuk menentukan konduktivitas listrik *Graphene* dilakukan pengujian FPP. Pengujian untuk mengetahui nilai kapasitansi juga dilakukan dengan menggunakan instrumen AUTOLAB PG STAT 302 METHROM.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian XRD

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan posisi puncak pada sampel grafit, grafit oksida, dan *graphene*. Pada sampel grafit terdapat puncak (002) pada posisi $2\theta = 26.53^{\circ}$ dengan nilai dari d_{spacing} sebesar 3.36 \AA dengan bentuk puncak yang tajam dan intensitas yang tinggi. Hasil XRD pada grafit tersebut menunjukkan bahwa sifat kristalinitas grafit sangat baik. Setelah proses oksidasi pada grafit maka grafit berubah menjadi grafit oksida. Puncak dari grafit oksida berbeda dengan grafit yaitu berubah menjadi puncak (001) pada posisi $2\theta = 12.21^{\circ}$ dengan nilai d_{spacing} yang lebih besar menjadi 7.33 \AA dan intensitas yang lebih rendah.



Gambar 1. Pola XRD pada grafit, grafit oksida, dan *Graphene*

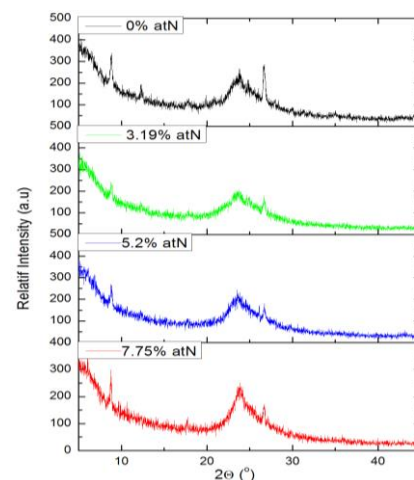
Perubahan posisi puncak, nilai d_{spacing} dan intensitas dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsional oksigen yang diakibatkan oleh proses oksidasi dalam material grafit dimana gugus-gugus oksigen membentuk lapisan atom hidrofilik yang menjadikan grafit oksida mudah larut dalam air [5]. Pada hasil XRD grafit oksida masih terdapat grafit pada posisi $2\theta = 26.9^{\circ}$. *Graphene* mempunyai profil peak yang lebar pada posisi $\sim 23-24^{\circ}$. Adapun hasil XRD dari *graphene* berada pada puncak (002) posisi $2\theta = 23.89^{\circ}$ dengan nilai $d_{\text{spacing}} = 3.72 \text{ \AA}$. Nilai d_{spacing} yang menjadi

lebih kecil menunjukkan bahwa grafit oksida telah tereduksi menjadi *Graphene*, selain itu nilai d_{spacing} *Graphene* yang lebih besar daripada grafit mengindikasikan bahwa telah terjadi pengelupasan lapisan grafit menjadi *single layer Graphene* [6].

Tabel 1. Nilai d-spacing grafit, grafit oksida, *Graphene*

Sampel	2θ ($^{\circ}$)	d_{spacing} (\AA)
Grafit	26.53	3.36
Grafit oksida	12.21	7.33
<i>Graphene</i>	23.89	3.72

Pengujian XRD juga dilakukan terhadap N-*Graphene*, hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur pada *Graphene* dengan didoping nitrogen.



Gambar 2. Pola XRD pada *Graphene/N-Graphene*

Dari tabel 2, dapat dilihat terdapat pergeseran puncak untuk masing-masing nilai doping. Pada ketiga peak secara umum pergeseran terjadi ke derajat yang lebih rendah saat terjadi nilai doping. Berdasarkan persamaan Bragg d_{spacing} dari N-*graphen* menjadi lebih besar dengan ditambahkan doping atom nitrogen, d_{spacing} yang bertambah besar dikarenakan keberadaan atom nitrogen pada *graphene* memiliki jari-jari atom yang lebih besar dari carbon sehingga atom nitrogen telah berhasil didoping pada *graphene*[7].

Tabel 2. Nilai d-spacing dan D *Graphene/N-Graphene*

%at N	2θ ($^{\circ}$)	d_{spacing} (\AA)	FWHM (rad)	D(nm)
0	23.89	3.72	0.0035	404.69
3.19	23.72	3.73	0.0046	303.44
5.2	23.77	3.74	0.0046	303.47
7.75	23.79	3.75	0.0069	203.06

Pada grafik juga terlihat adanya perubahan FWHM (broadening) pada *graphene* akibat dari penambahan nilai doping. Peak broadening ini dapat disebabkan oleh beberapa indikasi seperti perubahan kristal size. Untuk itu dilakukan analisis nilai kristal size rata-rata (D) pada *graphene* dan N-*graphene* dengan menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan 1 berikut. [7]

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Dimana:

D : Ukura Kristal

λ : Panjang gelombang Cu-K α (1.54060 Å)

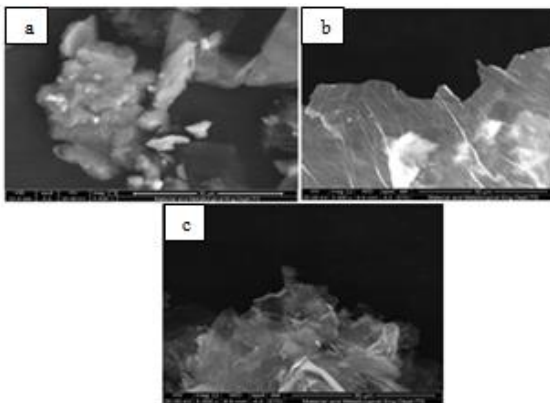
B : FWHM (rad)

K : konstanta Scherrer dengan nilai 0.9

Nilai crystal size tertinggi terdapat pada *graphene* yang tidak diberikan doping dengan nilai 404.69 nm, sementara yang terendah adalah *graphene* dengan doping 7.75% yaitu 203.06 nm. Dari tabel tersebut, semakin banyak komposisi doping maka nilai crystal size akan semakin turun, penurunan crystal size ini dapat disebabkan oleh adanya defect akibat doping nitrogen. [9]

B. Hasil Pengujian SEM

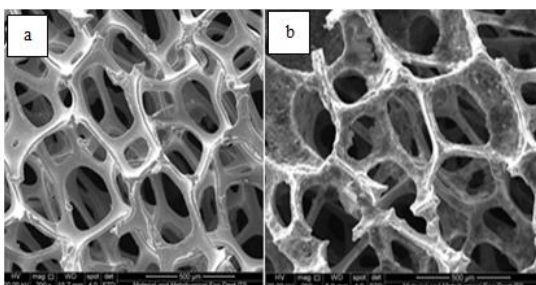
Pengujian SEM dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, *graphene*, dan elektroda *nickel foam-graphene* (*N-graphene*) dengan variasi penambahan NH₄OH 0.1 ml, 0.3 ml dan 1 ml untuk membentuk *N-graphene*. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM yaitu INSPECT S50.



Gambar 3. Hasil SEM 5.000x (a) grafit, (b) grafit oksida, (c) *Graphene* tanpa doping

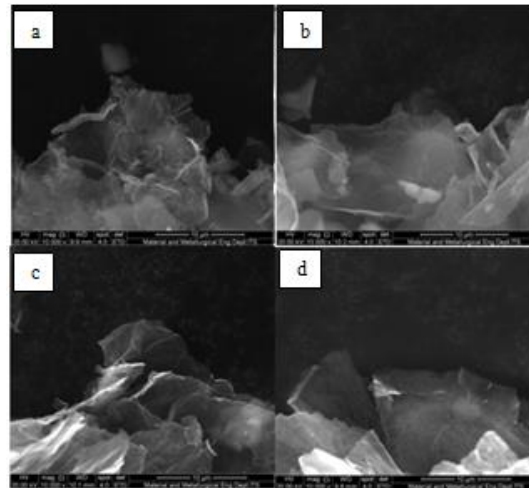
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari sampel-sampel tersebut. Pada Gambar 3 ditunjukkan perbedaan permukaan morfologi dari sampel grafit, grafit oksida, dan *graphene*.

Berdasarkan Gambar 3a terlihat bahwa grafit memiliki morfologi dengan bentuk serupa serpihan atau flakes yang ukurannya kecil, menyebar, dan tidak beraturan. Setelah grafit mengalami oksidasi menjadi grafit oksida, maka morfologi yang terjadi menjadi lembaran-lembaran berlapis sehingga terlihat tebal seperti yang ditunjukkan Gambar 3b Kemudian grafit oksida mengalami reduksi menjadi *graphene*. Pada Gambar 3c terlihat lembaran-lembaran sangat tipis dari *graphene* yang terbentuk akibat pelupasan (*chemical exfoliation*) grafit oksida.



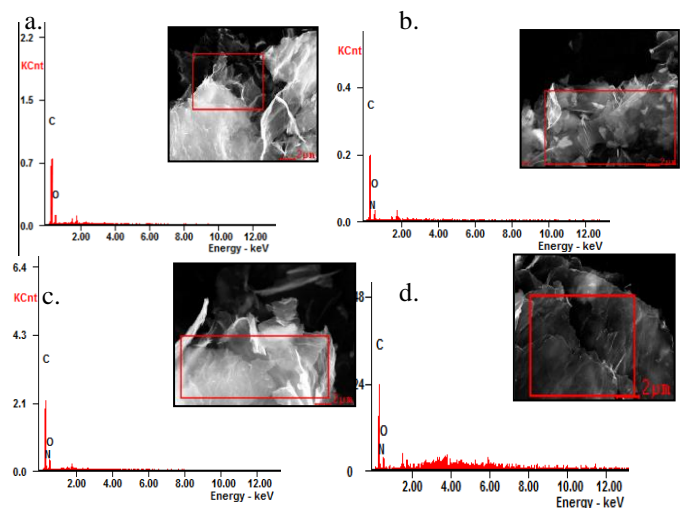
Gambar 4. Hasil SEM perbesaran 200x a) *nickel foam* b) *nickel foam* terdeposit *graphene*

Gambar 4a menunjukkan SEM *image* dari *Nickel Foam* polos dengan bentuk seperti *network* atau *sponge*. Dengan bentuk seperti jaring, *Nickel Foam* yang berfungsi sebagai pengumpul arus akan memberikan akses yang lebih mudah bagi elektrolit serta meningkatkan luas area kontak akibat strukturnya yang berupa *porous*. Pada Gambar 4b nampak bahwa *Graphene* telah berhasil di depositkan. Terlihat pula bahwa *Graphene* yang berupa lembaran-lembaran tipis mengisi atau menutupi lubang yang ada di *Nickel Foam*.



Gambar 5. Hasil SEM perbesaran 10.000x a) *Graphene* tanpa doping; N-*Graphene* dengan penambahan NH₄OH b) 0.1 ml c) 0.3 ml d) 1 ml

Gambar 5 menunjukkan morfologi *graphene* hasil doping Nitrogen dengan penambahan NH₄OH 0.1 ml, 0.3 ml dan 1 ml. Dari semua hasil tersebut, dapat kita lihat bahwa sampel *graphene* mempunyai bentuk morfologi yang hampir sama, yaitu berupa lembaran transparan tipis, yang terdiri dari beberapa layer *graphene* yang menumpuk sehingga terlihat lebih tebal, kadang juga terlihat adanya *single layer*. Pengamatan morfologi untuk *graphene* dengan doping nitrogen terlihat sama dan sulit untuk dibedakan [9].



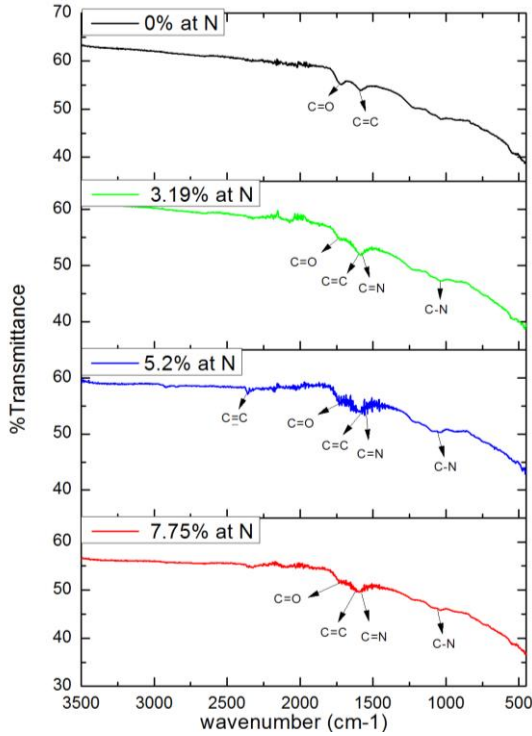
Gambar 6. Hasil EDS a) *Graphene* tanpa doping; N-*Graphene* dengan penambahan NH₄OH b) 0.1 ml c) 0.3 ml d) 1 ml

Dari hasil pengujian EDS, dapat diketahuui bahwa *graphene* doping nitrogen dengan penambahan NH₄OH 0.1 ml mengandung atom nitrogen sebanyak 3.19% , penambahan NH₄OH 0.3 ml mengandung atom nitrogen

sebanyak 5.2%, dan penambahan NH₄OH 1 ml mengandung atom nitrogen sebanyak 7.75%

C. Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan terhadap *graphene* dan *N-graphene*, untuk mengetahui jenis ikatan apa saja yang ada di dalamnya, dan juga untuk membedakan antara *graphene* dan *N-Graphene*.



Gambar 7. Pola FTIR graphene, graphene dengan penambahan NH₄OH 0.1 ml, 0.3 ml dan 1 ml.

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada *graphene* terdapat gugus C=C(1587.34 cm⁻¹) dan C=O(1717.15 cm⁻¹). Untuk *graphene* dengan penambahan NH₄OH 0.1 ml awalnya yang hanya terdapat gugus C=C dan C=O bertambah dengan adanya gugus C=N (2356.73 cm⁻¹) dan C-N (1083.25 cm⁻¹). Pada *graphene* dengan penambahan NH₄OH 0.3 ml terdapat gugus fungsi C=C, C-N, C=N dan C=O. *Graphene* dengan penambahan NH₄OH 1ml memiliki gugus fungsi yang sama dengan *graphene* yang ditambahkan NH₄OH yang lain yaitu terdapat gugus C=C, C-N, C=N, dan C=O. Adanya gugus C=N pada setiap *graphene* yang ditambahkan NH₄OH menunjukkan bahwa *graphene* telah berhasil didoping dengan atom nitrogen [10].

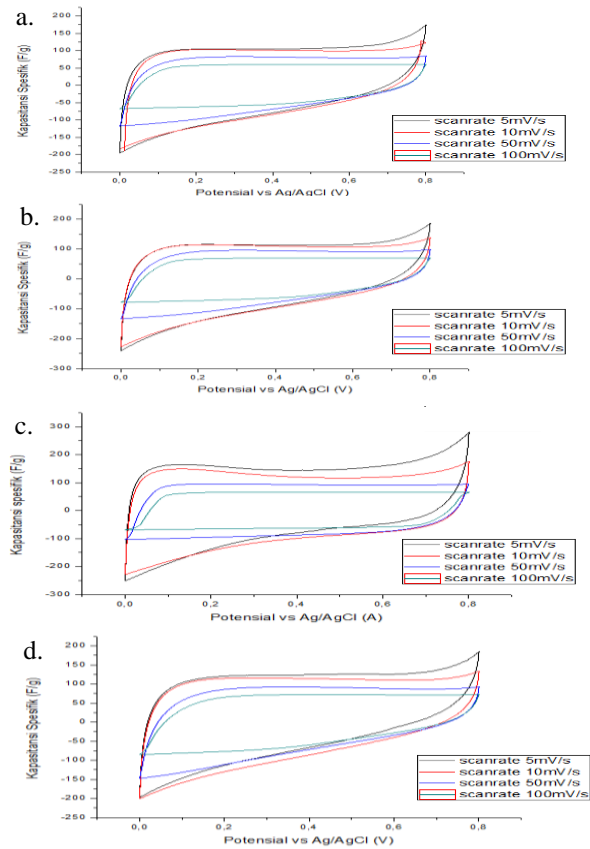
D. Hasil Pengujian FPP

Berdasarkan tabel, dapat diketahui perbandingan konduktivitas *graphene* dan *N-graphene*. Dapat dilihat bahwa dengan penambahan doping nitrogen dapat meningkatkan konduktivitas tetapi untuk *graphene* dengan 7.75% at N memiliki nilai konduktivitas yang lebih kecil dibanding dengan yang lainnya hal ini dikarenakan keheteroatoman yang besar, jumlah atom nitrogen yang terlalu banyak pada *graphene* dapat mengurangi efisiensi transpor elektronnya yang mengakibatkan nilai konduktivitas listrik menurun.[12]

Tabel 3. Hasil perhitungan uji FPP

Sampel	Tebal (cm)	Hambatan (Ω)	Resistivitas (Ω cm)	Konduktivitas Listrik (S/cm)
<i>Graphene</i>	0.015	4.3x10 ³	294.18	0.0034
<i>N-Graphene</i> 3.19%	0.015	4.1x10 ³	256.41	0.0039
<i>N-Graphene</i> 5.2%	0.015	4.12x10 ³	243.90	0.0041
<i>N-Graphene</i> 7.75%	0.015	3.94.4x10 ³	312.50	0.0035

E. Hasil Pengujian Cyclic Voltametry



Gambar 8. Perbandingan hasil uji CV grafik Kapasitansi Spesifik vs E sampel elektroda a) Ni-G, Ni-G dengan penambahan NH₄OH b) 0.1 ml, c) 0.3 ml dan d) 1 ml.

Penggunaan elektrolit netral dari Na₂SO₄ pada potensial kerja 0-0.8 V tidak menghasilkan gundukan (hump) seperti yang terlihat pada Gambar 8. Adapun gundukan (hump) merupakan indikator terjadinya reaksi redoks atau efek pseudocapacitance. Adapun yang terjadi dalam pengujian yaitu pembentukan double capacitor. karena diagram CV yang terbentuk menyerupai persegi panjang. Untuk menghitung kapasitansi spesifik digunakan persamaan:

$$C = \frac{\int i dv}{2 w y \Delta E} \tag{3.1}$$

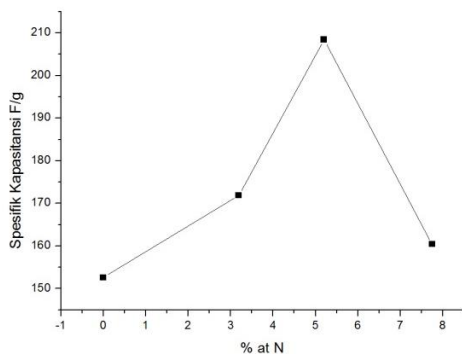
Dimana :

- C : Kapasitansi spesifik (Farad/gr)
- I : Arus (Ampere)
- w : Massa Elektroda Grafena (gr)
- γ : Scan Rate (mV/s)
- ΔE : Potential Window (Volt)

Tabel 4.
Perbandingan hasil kapasitansi spesifik terhadap scan rate dan jumlah doping atom nitrogen

Sampel	At %N	Scan Rate (V/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	0	0.005	152,59
		0.01	148,42
		0.05	112,03
		0.1	82,00
2	3.19	0.005	171,87
		0.01	165,73
		0.05	129,90
		0.1	94,82
3	5.2	0.005	208,47
		0.01	205,62
		0.05	136,47
		0.1	96,41
4	7.75	0.005	160,43
		0.01	158,51
		0.05	125,09
		0.1	94,21

Nilai kapasitansi spesifik elektroda nickel foam-N *Graphen* dengan variasi doping nitrogen mengalami peningkatan nilai kapasitansi hampir di semua scan rate dibanding nilai kapasitansi spesifik *Graphene* tanpa didoping nitrogen.

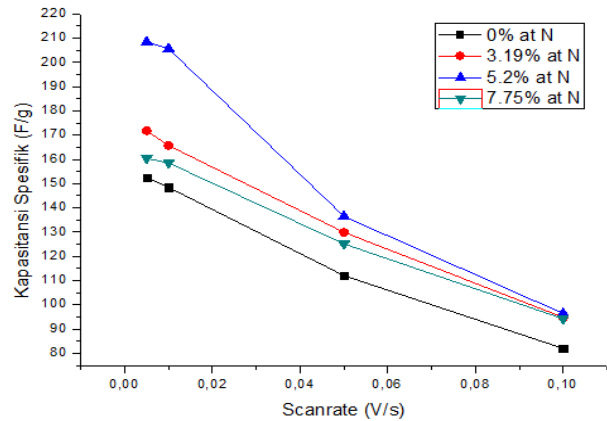


Gambar 9. Perbandingan jumlah doping atom nitrogen terhadap nilai kapasitansi spesifik (scan rate 5 mV/s).

Adapun nilai kapasitansi yang dihasilkan dari sampel elektroda *nickel foam* tersebut dipengaruhi oleh doping nitrogen terhadap *graphene*. Nilai kapasitansi paling besar terdapat pada *graphene* dengan penambahan NH_4OH 0.3 ml sebesar 208.47 F/g (scan rate 5 mV/s). Jumlah atom yang terdoping yaitu sebesar 5%. Dengan penambahan NH_4OH sebesar 1 ml menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 160.437 F/g. Adapun atom nitrogen yang terdoping yaitu sebesar 7.75%. Sedangkan dengan penambahan NH_4OH 0.1 ml menghasilkan 171.87 F/g. atom nitrogen yang terdoping sebesar 3.12%.

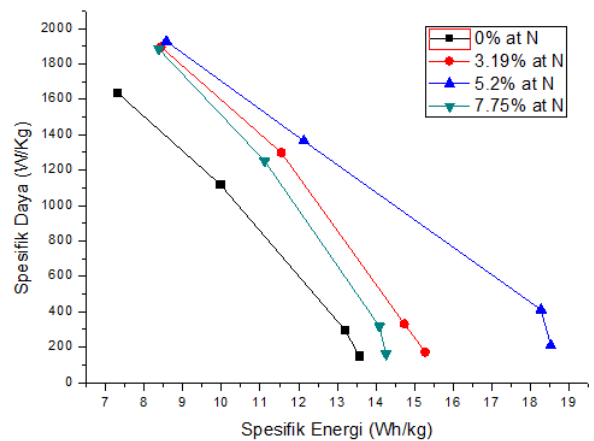
Graphene dengan doping nitrogen memiliki kapasitansi yang lebih besar [10] hal ini dikarenakan doping nitrogen menyebabkan mikro porous pada *graphene* meningkatkan *wettability* pada elektroda/ elektrolit dan dengan doping nitrogen pada *graphen* dapat meningkatkan binding energy, yang menyebabkan banyak pergerakan ion pada luas permukaan elektroda dan menunjukkan kapasitansi yang lebih tinggi. Tetapi pada penambahan doping nitrogen sebesar 7.75% kapasitansi spesifiknya menurun hal ini dapat disebabkan oleh konduktifitas listriknya yang menurun berdasarkan gambar 10. dengan penambahan nitrogen pada *graphen* dapat meningkatkan konduktifitas dimana

mempercepat mobilitas elektron pada permukaan elektroda tetapi apabila keheteroatomnya besar jumlah atom nitrogen pada *graphen* dapat mengurangi efisiensi transpor elektronnya yang mengakibatkan nilai konduktifitas listrik menurun. Penambahan atom nitrogen yang terlalu banyak dapat membuka band gap yang akan menurunkan sifat elektriknya.[11]



Gambar 10. Grafik Kapasitansi spesifik terhadap scan rate dan Jumlah Doping Nitrogen

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa scan rate semakin tinggi maka nilai kapasitansinya menurun. Hal ini terjadi karena scan rate mempengaruhi laju aliran ion-ion dari elektrolit menuju ke dalam elektroda *Ni-graphene*. Dengan scan rate yang tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, akibatnya waktu yang lebih singkat bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-graphene* sehingga membentuk double layer sedikit. Sedangkan pada scan rate yang rendah, laju aliran tegangan menjadi lambat, akibatnya waktu bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-graphene* lebih lama dan membentuk double layer lebih banyak sehingga nilai kapasitansi *Ni-graphene* dipengaruhi oleh waktu difusi ion-ion elektrolit [8].



Gambar 11. Grafik perbandingan nilai spesifik daya dan spesifik energi

Nilai kapasitansi hasil dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5 Hasil Tabel perhitungan spesifik energi dan spesifik daya ditunjukkan oleh Tabel 5 dan Gambar 11. Adapun nilai spesifik energi dan spesifik daya yang paling besar pada scan rate 100 mV/s dan menurun dengan turunnya nilai scan rate.

Tabel 5.

Perbandingan hasil Energi spesifik dan daya spesifik terhadap scan rate dan Jumlah Doping Nitrogen

Sampel	%at N	Scan Rate (V/s)	Spesifik Energi (Wh/kg)	Spesifik Daya (W/kg)
1	0	0.005	13.56	152.60
		0.01	13.19	296.85
		0.05	9.95	1119.86
2	3.19	0.1	7.28	1639.41
		0.005	15.27	171.87
		0.01	14.73	331.46
3	5.2	0.05	11.54	1298.51
		0.1	8.42	1895.81
		0.005	18.53	208.47
4	7.75	0.01	18.27	411.25
		0.05	12.13	1364.23
		0.1	8.57	1927.45
		0.005	14.26	160.43
		0.01	14.09	317.03
		0.05	11.11	1250.43
		0.1	8.37	1883.62

Pada gambar 11 menunjukkan tren dari pengaruh jumlah atom nitrogen terhadap nilai kapasitansi spesifik pada elektroda Ni-graphene. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh pada doping nitrogen 5.2%at kemudian menurun pada doping nitrogen 3.19%at dan doping nitrogen 7.75%at. Penambahan doping nitrogen dapat meningkatkan spesifik kapasitansi seperti pada Tabel 5 tetapi pada penambahan nitrogen 7.75 % spesifik kapasitansinya turun hal ini dapat disebabkan oleh reduksi dari konduktifitas elektrik yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Saat atom nitrogen yang memiliki elektron valensi 5 didopingkan ke atom C yang memiliki elektron valensi 4 akan terjadi aliran elektron dalam sistem akibat adanya elektron yang terdelokalisasi. Aliran elektron akibat doping akan mempengaruhi struktur yang dapat dilihat dari analisis pengujian XRD semakin bertambahnya atom nitrogen dalam graphene kristal sizenya akan semakin menurun dan kapasitansi spesifik yang dapat dilihat pada analisis pengujian CV. Sehingga penambahan doping nitrogen berperan penting dalam menentukan sifat kapasitif dari N-graphene[9]. Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energy spesifik pada Tabel 5 nampak bahwa doping nitrogen pada graphene memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena daya spesifik (W/Kg) berada pada rentang 10^1 hingga 10^6 sedangkan energy spesifik berada pada rentang 10^1 hingga 20

IV. KESIMPULAN

Penambahan doping nitrogen dari NH_4OH menunjukkan adanya perbedaan struktur terhadap graphene yang didoping dan tidak didoping yaitu pada kristal size pada pengujian XRD, dengan adanya doping maka kristal sizenya menurun. Adanya penambahan doping hidrogen berpengaruh terhadap kapasitansi spesifik graphene dan penambahan nitrogen 5.2%at merupakan yang paling optimal, karena didapatkan nilai kapasitansi yang paling tinggi sebesar 208.47 F/g.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak bisa berjalan lancar tanpa adanya bantuan dari Ibu Diah Susanti dan Bapak Hanifudin Nurdiansyah selaku dosen pembimbing peneliti yang selalu memberi masukan bagi peneliti dalam menjalankan

penelitiannya. Juga bantuan dana dari pemerintah bagi peneliti untuk bisa menjalankan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. 2011. "Graphene based materials: past, present and future". *Progress in materials science*, 56(8), 1178-1271.
- [2] Panchakarla, L. S., Subrahmanyam, K. S., Saha, S. K., Govindaraj, A., Krishnamurthy, H. R., Waghmare, U. V., & Rao, C. N. R. 2009. "Synthesis, structure and properties of boron and nitrogen doped graphene". *arXiv preprint arXiv:0902.3077*.
- [3] Suresh, B. S., Elavarasan, A., & Sathish, M. 2016. "High performance supercapacitor using N-doped graphene prepared via supercritical fluid processing with an oxime nitrogen source". *Electrochimica Acta*, 200, 37-45
- [4] Nurdiansyah, H. dan Susanti, D. 2014. "Pengaruh Variasi Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari material grafena". *Thesis S2 Teknik Material dan Metalurgi ITS*.
- [5] Ting, L. T., Lai, W. H., Lü, Q. F., & Yu, Y. 2015. "Porous nitrogen-doped graphene/carbon nanotubes composite with an enhanced supercapacitor performance". *Electrochimica Acta*, 178, 517-524.
- [6] Ilhami, M., Susanti, D. 2014. "Pengaruh massa Zn dan temperatur hidrotermal terhadap struktur dan sifat elektrik material Graphene". *JURNAL TEKNIK POMITS* Vol. 3, No. 2, (2014) ISSN: 2337-3539.
- [7] Yu, F., Lo, S. T., Lin, J. C., Zhang, W., Lu, J. Y., Liu, F. H., & Li, L. J. 2013. "Nitrogen-doped graphene sheets grown by chemical vapor deposition: Synthesis and influence of nitrogen impurities on carrier transport". *ACS nano*, 7(8), 6522-6532.
- [8] Conway, B.E. 1999. *Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York, U.S.A: Kluwer Academics/Plenum Publishers.
- [9] Geng, D., Yang, S., Zhang, Y., Yang, J., Liu, J., Li, R., & Knights, S. 2011. "Nitrogen doping effects on the structure of graphene". *Applied Surface Science*, 257(21), 9193-9198.
- [10] Gong, Y., Li, D., Fu, Q., & Pan, C. 2015. "Influence of graphene microstructures on electrochemical performance for supercapacitors". *Progress in Natural Science: Materials International*, 25(5), 379-385.
- [11] Mei, X., Xiuqing, M., Fengmin Wu. 2015. "Hydrothermal method for the production of reduced Graphene oxide". *Physica E* 68: 81-86.
- [12] Zhang, X. W., Yang, G. W. 2009. "Novel Band Structures and Transport Properties from Graphene Nanoribbons with Armchair Edges". *J. Phys. Chem. C* 113, 4662-4668.