



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS PENGARUH DOPING NITROGEN BERBASIS
UREA PADA KARBON BIOMASSA CANGKANG
KELAPA SAWIT DENGAN KATALIS K_2FeO_4 -KOH
UNTUK ANODA BATERAI ION LITIUM**

SKRIPSI

Oleh:

Arum Kusumawati
NIM. 2202431032

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS PENGARUH DOPING NITROGEN BERBASIS
UREA PADA KARBON BIOMASSA CANGKANG
KELAPA SAWIT DENGAN KATALIS K_2FeO_4 -KOH
UNTUK ANODA BATERAI ION LITIUM**

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Oleh:
Arum Kusumawati
NIM. 2202431032

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Atas riuhnya isi kepala, runyamnya pemikiran, malam-malam yang panjang, dan langkah yang tetap berjalan, terima kasih karena sudah bertahan. Maka Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri, kedua orang tua tercinta dan adik tersayang yang telah menjadi bagian dari perjalanan saya. Untuk setiap doa, cinta, dan dukungan yang tak pernah putus, semuanya bermuara pada satu kata: terima kasih”





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH DOPING NITROGEN BERBASIS UREA PADA
KARBON BIOMASSA CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN
KATALIS K_2FeO_4 -KOH UNTUK ANODA BATERAI ION LITUM**

Oleh:

Arum Kusumawati

NIM. 2202431032

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T.

NIP. 199306062019032030

Pembimbing 2

Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T.

NIP. 199403092019031013

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.

NIP. 199107212018032001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH DOPING NITROGEN BERBASIS UREA PADA
KARBON BIOMASSA CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN
KATALIS K_2FeO_4 -KOH UNTUK ANODA BATERAI ION LITUM**

Oleh:

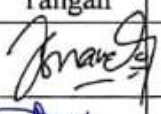
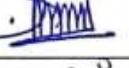
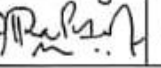
Arum Kusumawati

NIM. 2202431032

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 30 Juni 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T. NIP. 199306062019032030	Ketua		30 Juni 2026
2.	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP. 199107212018032001	Anggota		30 Juni 2026
3.	Tia Rahmiati, S.T., M.T. NIP. 198001252006042001	Anggota		30 Juni 2026

Depok, 30 Juni 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arum Kusumawati
NIM : 2202431032
Program Studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang ditulis di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi ini telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 30 Juni 2026



Arum Kusumawati

NIM. 2202431032



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISIS PENGARUH DOPING NITROGEN BERBASIS UREA PADA KARBON BIOMASSA CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN KATALIS K_2FeO_4 -KOH UNTUK ANODA BATERAI ION LITIU

Arum Kusumawati¹⁾, Isnanda Nuriskasari¹⁾, Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra¹⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: arum.kusumawati.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Baterai ion litium merupakan salah satu perangkat penyimpanan energi yang banyak digunakan karena memiliki densitas energi tinggi dan umur siklus yang panjang. Karbon grafit masih menjadi material anoda yang umum digunakan, namun sumbernya yang tidak terbarukan mendorong pengembangan material karbon alternatif berbasis biomassa. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur, sifat fisikokimia, dan kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai material anoda baterai ion litium. Karbon grafitik disintesis melalui karbonisasi, grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 -KOH pada suhu 800°C dengan variasi massa urea 0; 0,3; 0,5; dan 0,7 g. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction*, *Raman Spectroscopy*, dan *Brunauer-Emmett-Teller*, sedangkan kinerja elektrokimianya diuji menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, *Cyclic Voltammetry*, dan *Charge-Discharge*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi doping nitrogen memengaruhi karakteristik dan performa karbon grafitik yang dihasilkan. Sampel dengan penambahan urea 0,5 g menunjukkan kinerja optimum dengan derajat sebesar 84,37%, rasio IG/ID sebesar 2,41, resistansi transfer muatan (Rct) terendah sebesar 27,55 Ω , serta kapasitas spesifik tertinggi sebesar 302,07 mAh/g pada laju arus 0,1 C. Sementara itu, sampel dengan doping nitrogen berbasis urea sebanyak 0,7 g memiliki luas permukaan spesifik tertinggi sebesar 867,346 m²/g, namun menunjukkan penurunan performa elektrokimia akibat meningkatnya cacat struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan urea 0,5 g memberikan keseimbangan terbaik antara keteraturan struktur, porositas, dan kemampuan penyimpanan ion litium.

Kata kunci: karbon grafitik; cangkang kelapa sawit; doping nitrogen; grafitisasi katalitik; anoda baterai ion litium.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

INFLUENCE OF UREA BASED NITROGEN DOPING ON K_2FeO_4 -KOH CATALYZED PALM KERNEL SHELL DERIVED GRAPHITIC CARBON FOR LITHIUM-ION BATTERY ANODES

Arum Kusumawati¹⁾, Isnanda Nuriskasari¹⁾, Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra¹⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: arum.kusumawati.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

Lithium-ion batteries are one of the most widely used energy storage devices due to their high energy density and long cycle life. Graphite carbon remains a commonly used anode material, however its non-renewable source has driven the development of alternative biomass-based carbon materials. This study aims to analyze the effect of varying urea-based nitrogen doping concentrations on the structural characteristics, physicochemical properties, and electrochemical performance of graphitic carbon derived from oil palm shells as an anode material for lithium-ion batteries. Graphitic carbon was synthesized via carbonization and catalytic graphitization using K_2FeO_4 -KOH at 800°C with varying urea masses of 0; 0,3; 0,5; and 0,7 g. Characterization was performed using X-Ray diffraction, Raman spectroscopy, and the Brunauer–Emmett–Teller method, while electrochemical performance was tested using electrochemical impedance spectroscopy, cyclic voltammetry, and charge–discharge testing. The results showed that variations in nitrogen doping affected the characteristics and performance of the resulting graphitic carbon. The sample with 0,5 g of urea added exhibited optimal performance with a degree of 84,37%, an IG/ID ratio of 2,41, the lowest charge transfer resistance (R_{ct}) of 27,55 Ω , and the highest specific capacity of 302,07 mAh/g at a current rate of 0,1 C. Meanwhile, the sample doped with 0,7 g of urea-based nitrogen had the highest specific surface area of 867,346 m²/g but exhibited a decline in electrochemical performance due to increased structural defects. The result indicate that adding 0,5 g of urea provides the best balance between structural regularity, porosity, and lithium-ion storage capacity.

Keywords: Graphitic Carbon; Palm Kernel Shell; Nitrogen Doping; Catalytic Graphitization; Lithium-Ion Battery



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Doping Nitrogen Berbasis Urea pada Karbon Biomassa Cangkang Kelapa Sawit dengan Katalis K_2FeO_4 -KOH untuk Anoda Baterai Ion Litium”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi doping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur, sifat fisikokimia, dan kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai material anoda baterai ion litium.

Dalam proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Syamsurizal, S.E., M.M., selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
4. Ibu Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan juga materi dalam memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, dan masukan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
6. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Baterai di Gedung *Manufacturing Research Center* (MRC) Universitas Indonesia yang telah memberikan kesempatan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Terima kasih kepada Bapak Sakim Suberanto, selaku ayah dari penulis yang senantiasa menjadi sosok penuh keteguhan, tidak pernah lelah berjuang, memberikan kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta mengiringi setiap langkah penulis dengan doa yang tulus. Terima kasih telah menjadi tempat pulang, sumber kekuatan, dan sosok yang mengajarkan bahwa setiap perjuangan akan selalu menemukan jalannya.
8. Terima kasih kepada Ibu Muntaslimah, selaku ibu dari penulis yang dengan cinta dan ketulusan senantiasa mengiringi setiap langkah penulis melalui doa-doa terbaiknya serta menjadi rumah paling nyaman bagi penulis. Terima kasih atas kasih sayang, kesabaran, pengorbanan, dan dukungan tanpa henti yang telah menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk bangkit, bertahan, dan menyelesaikan setiap proses hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Seluruh anggota Laboratorium Baterai MRC Universitas Indonesia, khususnya Mas Adit dan Mbak Fiona, yang telah memberikan bimbingan, bantuan, serta berbagi ilmu dan pengalaman selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
10. Fitroh Al Marsitoh selaku rekan penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
11. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh staf akademik Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, dan pengalaman yang berharga selama penulis menempuh pendidikan.
12. Teman-teman Energi B angkatan 2022 yang menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan penulis serta memberikan kebersamaan, dukungan dan semangat menempuh pendidikan.
13. Secara khusus kepada Alfina Anjarwati yang telah menjadi teman satu bangku penulis sejak awal perkuliahan, serta Tyas Rahmawati, Salsya Mika Lova dan Carelita Maulidi Agnia yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan semangat kepada penulis.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

14. Terima kasih kepada Arin Dwi Kusuma, selaku adik penulis yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis. Meski sering diwarnai perbedaan pendapat dan canda yang tiada habisnya.
15. Anisa Fajriah Antoro selaku teman penulis yang menemani perjalanan penulis selama masa perkuliahan dan Aulia Nur Fauzia yang telah menjadi rekan berbagi pengalaman dan kebersamaan selama menjalani program magang.
16. Kelompok Studi Mahasiswa Mobil Listrik PNJ, yang memberikan pengalaman dan lingkungan yang mendorong penulis untuk terus berkembang.
17. Terima kasih kepada adik sepupu penulis, Indah Hafshoh, Febriana Rahayu, Andini Sofia, Ataya Indira, Mu'ammam, dan Khanza Noviana yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan bantuan serta semangat kepada penulis.
18. Terima kasih kepada diri penulis sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena telah terus berusaha melewati berbagai tantangan, keraguan, dan kelelahan, serta tetap memilih untuk bangkit dan melangkah hingga akhirnya mampu menyelesaikan skripsi ini. Semoga setiap usaha yang telah dilakukan menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik di masa mendatang.
19. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta doa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan penelitian di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang material teknologi penyimpanan energi, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Depok, 30 Juni 2026

Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	19
1.1 Latar Belakang Penelitian	19
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	23
1.3 Pertanyaan Penelitian	23
1.4 Tujuan Penelitian	23
1.5 Manfaat Penelitian	24
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	24
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	27
2.1 Landasan Teori	27
2.1.1 Baterai Ion Litium	27
2.1.2 Material Anoda Karbon Grafit	28
2.1.3 Karbon berbasis Biomassa	29



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.4	Biomassa Cangkang Kelapa Sawit	30
2.1.5	Grafitisasi Katalitik Karbon	31
2.1.6	Doping Nitrogen pada Karbon	33
2.1.7	Urea sebagai Sumber Nitrogen	34
2.1.8	Karakterisasi X-Ray Diffraction.....	35
2.1.9	Karakterisasi Raman Spectroscopy	37
2.1.10	Karakterisasi Brunauer-Emmett-Teller	38
2.1.11	Karakterisasi Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	39
2.1.12	Karakterisasi Cyclic Voltammetry	41
2.1.13	Karakterisasi Charge-discharge	41
2.2	Kajian Literatur.....	42
2.3	Kerangka Pemikiran	54
2.4	Hipotesis	55
BAB III METODE PENELITIAN		56
3.1.	Jenis Penelitian.....	56
3.2.	Objek Penelitian.....	56
3.2.1.	Bahan Penelitian	57
3.2.2.	Alat Penelitian	58
3.3.	Metode Pengambilan Sampel.....	58
3.4.	Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	60
3.5.	Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	60
3.6.	Metode Analisis Data.....	62
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		63
4.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Terdoping nitrogen Berbasis Urea terhadap Struktur dan Sifat Fisikokimia Karbon Grafitik		63
4.1.1	Analisis X-Ray Diffraction	64
4.1.2	Analisis Raman Spectroscopy	67
4.1.3	Analisis Brunauer-Emmett-Teller	69



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Terdoping nitrogen terhadap Kinerja Elektrokimia Karbon Grafitik sebagai Anoda Baterai Ion Litium.....	72
4.2.1 Analisis <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>	72
4.2.2 Analisis <i>Cyclic Voltammetry</i>	75
4.2.3 Analisis <i>Charge-discharge</i>	76
BAB V PENUTUP	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	82
DAFTAR LAMPIRAN	88

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 <i>Ultimate Analysis</i> Cangkang Kelapa Sawit	21
Tabel 1.2 Komposisi Lignoselulosa Biomassa Kelapa Sawit.....	21
Tabel 2.1 Kajian Literatur Penelitian Terdahulu.....	43
Tabel 3.1 Bahan Penelitian	57
Tabel 4.1 Parameter struktural XRD grafitik karbon dari CKS katalis K_2FeO_4 -KOH dengan variasi nitrogen berbasis urea dan karbon tanpa katalis	66
Tabel 4.2 Parameter BET karbon grafitik berbasis CKS menggunakan katalis K_2FeO_4 -KOH dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea	71
Tabel 4.3 Rct pada masing-masing sampel.....	74

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sumber Limbah Biomassa dari kayu, makanan, dan pertanian	20
Gambar 1.2 Peta 10 Provinsi persebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia ..	20
Gambar 2.1 Baterai Ion Litium	27
Gambar 2.2 Mekanisme kerja anoda – katoda	28
Gambar 2.3 Grafit untuk anoda baterai ion litium	29
Gambar 2.4 Karbon Berbasis Biomassa.....	30
Gambar 2.5 Biomassa Cangkang Kelapa Sawit.....	31
Gambar 2.6 Ilustrasi grafitisasi katalitik karbon.....	32
Gambar 2.7 Ilustrasi partikel katalis dalam matriks karbon amorfus di bawah.....	32
Gambar 2.8 Konfigurasi nitrogen pada yang terdiri atas <i>pyridinic-N</i> , <i>pyrrolic-N</i> , dan <i>graphitic-N</i>	33
Gambar 2.9 Produk urea sebagai sumber N pada karbon biomassa CKS	34
Gambar 2.10 Prinsip kerja XRD	35
Gambar 2.11 Prinsip kerja Raman <i>Spectroscopy</i>	37
Gambar 2.12 Alat pengujian karakterisasi Brunauer-Emmett-Teller	38
Gambar 2.13 Alat karakterisasi EIS.....	39
Gambar 2.14 Alat pengujian <i>Cyclic Voltammetry</i>	41
Gambar 2.15 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	54
Gambar 3.1 Skematik Diagram Proses Sintesis Grafitik Karbon CKS terdoping N sebagai Anoda Baterai Ion Litium	59
Gambar 3.2 Diagram Alir Grafitisasi Cangkang Kelapa Sawit dengan katalis K_2FeO_4 -KOH terdoping Nitrogen.....	61
Gambar 4.1 Pola XRD karbon grafitik dari CKS dengan sistem katalis K_2FeO_4 -KOH terdoping nitrogen berbasis urea dan Pola XRD CKS tanpa sistem katalis ..	64



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.2 Spektrum Raman grafitik karbon CKS dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea	68
Gambar 4.3 Kurva adsorpsi-desorpsi isoterm nitrogen dan luas permukaan pada karbon grafitik dari CKS sistem katalis K_2FeO_4 -KOH dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea	69
Gambar 4.4 Distribusi ukuran pori karbon grafitik berbasis CKS menggunakan katalis K_2FeO_4 -KOH dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea	70
Gambar 4.5 Kurva Nyquist hasil pengukuran EIS serta <i>fitting equivalent circuit</i> karbon grafitik CKS dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea dengan katalis K_2FeO_4 -KOH suhu $800^{\circ}C$	73
Gambar 4.6 Perbandingan kurva Nyquist karbon grafitik berbasis CKS dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea hasil sintesis menggunakan katalis K_2FeO_4 -KOH pada suhu $800^{\circ}C$	74
Gambar 4.7 Profil CV karbon grafitik berbasis CKS dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea pada siklus ke-1 hingga siklus ke-3	75
Gambar 4.8 Kurva <i>charge-discharge</i> karbon grafitik berbasis CKS dengan variasi terdoping nitrogen berbasis urea pada siklus ke-1 hingga siklus ke-3.....	77
Gambar 4.9 Kinerja siklus pada karbon grafitik cangkang kelapa sawit dengan terdoping nitrogen berbasis urea pada pengujian 0,1 C	78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Proses Penelitian	88
Lampiran 2 Karakteristik Raman <i>Spectroscopy</i> pada sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0 urea_800	90
Lampiran 3 Karakteristik Raman <i>Spectroscopy</i> pada sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.3 urea_800	91
Lampiran 4 Karakteristik Raman <i>Spectroscopy</i> pada sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.5 urea_800	92
Lampiran 5 Karakteristik Raman <i>Spectroscopy</i> pada sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.7 urea_800	93
Lampiran 6 Karakteristik multipoint BET sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0 urea_800.....	94
Lampiran 7 Karakteristik multipoint BET sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.3 urea_800.....	95
Lampiran 8 Karakteristik multipoint BET sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.5 urea_800.....	96
Lampiran 9 Karakteristik multipoint BET sampel C_K ₂ FeO ₄ (0.11)_KOH_0.7 urea_800.....	97

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang penelitian, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi terkait pengembangan material karbon grafitik berbasis biomassa untuk aplikasi penyimpanan energi.

1.1 Latar Belakang Penelitian

Kebutuhan energi yang terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan mobilitas mendorong pengembangan sistem penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan [1]. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah baterai ion litium karena memiliki densitas energi (*energy density*) yang tinggi sekitar 150-300 Wh/kg dibandingkan baterai *lead-acid* yang hanya sekitar 30-59 Wh/kg, serta umur siklus yang panjang, efisiensi pengisian yang tinggi dan bobot yang ringan [2]. Kinerja baterai ion litium sangat dipengaruhi oleh material anoda yang berperan dalam menentukan kapasitas, stabilitas, dan performa elektrokimia [3]. Hingga saat ini, karbon grafit masih menjadi material anoda utama karena memiliki konduktivitas listrik tinggi, stabilitas termal dan kimia yang baik, serta mampu menginterkalasikan ion litium secara reversibel [4][5][6]. Namun, grafit komersial umumnya berasal dari sumber tidak terbarukan dengan biaya produksi yang relatif tinggi [7].

Oleh karena itu, berbagai limbah biomassa mulai dikembangkan sebagai sumber karbon alternatif yang lebih berkelanjutan. Biomassa seperti sabut kelapa, tongkol jagung, sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit, serbuk gergaji, bambu, dan kulit kacang telah banyak diteliti sebagai prekursor karbon karena memiliki kandungan karbon tinggi dan strukturnya yang dapat dimodifikasi melalui proses karbonisasi dan aktivasi [8][9][10]. Pemanfaatan limbah biomassa tersebut tidak hanya berpotensi menghasilkan material karbon bernilai tambah, tetapi juga dapat membantu mengurangi permasalahan lingkungan akibat akumulasi limbah organik [11].



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1.1 Sumber Limbah Biomassa dari kayu, makanan, dan pertanian
Sumber: Danu et al. Discover Nano (2026) 21:29-Springer Nature

Diantara berbagai biomassa tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 tersebut, cangkang kelapa sawit menjadi salah satu kandidat yang potensial karena Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Luas perkebunan mencapai sekitar 15,34 juta ha pada tahun 2022 [12][13]. Persebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Peta 10 Provinsi persebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia
Sumber: goodstats.id



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Besarnya industri kelapa sawit menghasilkan limbah cangkang kelapa sawit (CKS) dalam jumlah melimpah. Berdasarkan hasil *ultimate analysis* oleh Wen-Tien Tsai (2019) [14], CKS mengandung karbon sekitar 50 wt.%, serta nitrogen alami sebesar 0,53-0,65 wt.%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.1 [14]. Kandungan karbon yang tinggi tersebut menjadikan CKS berpotensi sebagai prekursor karbon untuk material anoda baterai ion litium. Selain melimpah dan bernilai ekonomis rendah, pemanfaatannya juga mendukung konsep ekonomi sirkular dan pengurangan limbah industri kelapa sawit [15][16].

Tabel 1.1 *Ultimate Analysis* Cangkang Kelapa Sawit

Properti	Nilai (Uji 1)	Nilai (Uji 2)
Kadar Air (wt. %)	11,89	12,20
Kadar Abu (wt. %)	3,87	2,98
Bahan Bakar (wt. %)	85,76	84,82
Karbon (wt. %)	50,83	50,81
Hidrogen (wt. %)	5,81	5,71
Oksigen (wt. %)	41,54	41,28
Nitrogen (wt. %)	0,65	0,53
Sulfur (wt. %)	0,00	0,00
Nilai Kalor (MJ/kg)	20,89	20,43

Sumber: Wen-Tien Tsai. 2019

Selain kandungan unsur, potensi cangkang kelapa sawit juga didukung oleh komposisi lignoselulosanya yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.2. Ketiga komponen tersebut merupakan penyusun utama biomassa yang berperan dalam pembentukan karbon selama proses karbonisasi sehingga CKS berpotensi untuk dikonversi menjadi karbon grafitik.

Tabel 1.2 Komposisi Lignoselulosa Biomassa Kelapa Sawit

Lignocellulose Composition	Value (%)	
	Tandan Kosong Kelapa Sawit	Cangkang Kelapa Sawit
Selulosa	33,25	26,6
Hemiselulosa	23,25	27,7
Lignin	25,83	29,4
Kadar Air	8,56	8
Zat ekstraktif	4,19	4,2

Sumber: Ni'mah et al.2026. Chemical Engineering, Lambung Mangkurat University



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Namun, karbon hasil karbonisasi biomassa umumnya masih didominasi oleh struktur amorfus dengan derajat kristalinitas rendah sehingga memiliki konduktivitas listrik dan kemampuan difusi ion yang belum optimal untuk aplikasi anoda baterai ion litium [17][18]. Oleh karena itu, diperlukan proses grafitisasi untuk meningkatkan keteraturan struktur karbon sehingga diperoleh karbon grafitik dengan konduktivitas listrik dan stabilitas yang lebih baik [17][19]. Salah satu metode yang efektif adalah grafitisasi katalitik menggunakan kombinasi senyawa K_2FeO_4 dan KOH . K_2FeO_4 berperan dalam mempercepat pembentukan domain grafitik melalui *catalytic graphitization*, sedangkan KOH sebagai aktivator yang membentuk struktur berpori dan meningkatkan luas permukaan sehingga menghasilkan karbon grafitik yang lebih teratur pada suhu lebih rendah dibandingkan metode konvensional [18][19].

Meskipun demikian, karbon grafitik hasil grafitisasi masih memerlukan modifikasi untuk meningkatkan performanya sebagai material anoda baterai ion litium. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah doping nitrogen karena mampu meningkatkan konduktivitas listrik, jumlah situs aktif, serta memodifikasi cacat struktur (*defect*) pada karbon [20][21]. Di antara berbagai prekursor nitrogen, seperti melamin, dan thiourea. Urea dipilih karena memiliki kandungan nitrogen yang tinggi, mudah diperoleh, berbiaya relatif rendah, serta mudah terdekomposisi selama proses pemanasan sehingga atom nitrogen dapat terinkorporasi ke dalam struktur karbon secara efektif tanpa memerlukan suhu yang terlalu tinggi [22][23]. Nitrogen yang terinkorporasi dalam bentuk *graphitic-N*, *pyridinic-N*, dan *pyrrolic-N* diketahui berkontribusi terhadap peningkatan konduktivitas listrik, kapasitas penyimpanan, dan kinerja elektrokimia material [11][24][25]. Namun, kajian yang mengombinasikan grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 - KOH dengan variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur, sifat fisikokimia, dan kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit masih sangat terbatas.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan penulis sebagai berikut:

1. Variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea memengaruhi karakteristik struktur dan sifat fisikokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit hasil grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 -KOH pada suhu $800^{\circ}C$.
2. Variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea memengaruhi kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai anoda baterai ion litium.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur dan sifat fisikokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit hasil grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 -KOH pada suhu $800^{\circ}C$?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea terhadap kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai anoda baterai ion litium?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur dan sifat fisikokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit hasil grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 -KOH pada suhu $800^{\circ}C$.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea terhadap kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai anoda baterai ion litium.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis:

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material karbon berbasis biomassa, khususnya mengenai pengaruh variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea terhadap karakteristik struktur, sifat fisikokimia, dan kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai material anoda baterai ion litium.

2. Manfaat Praktis:

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan referensi mengenai potensi pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku karbon grafitik terdoping nitrogen untuk aplikasi anoda baterai ion litium. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan material penyimpanan energi berbasis biomassa yang lebih efisien, bernilai tambah dan berkelanjutan bagi peneliti maupun pihak terkait.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran umum mengenai isi penelitian yang dilakukan. Skripsi ini terdiri dari lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

a. Bagian Awal

1. Halaman Sampul
2. Halaman Judul
3. Halaman Persembahan
4. Halaman Persetujuan
5. Halaman Pengesahan
6. Halaman pernyataan Orisinalitas



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Abstrak dalam Bahasa Indonesia
8. Abstrak dalam Bahasa Inggris
9. Kata Pengantar
10. Daftar Isi
11. Daftar Tabel
12. Daftar Gambar
13. Daftar Lampiran

b. Bagian Isi

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1. Latar Belakang Penelitian
- 1.2. Rumusan Masalah Penelitian
- 1.3. Pertanyaan Penelitian
- 1.4. Tujuan Penelitian
- 1.5. Manfaat Penelitian
- 1.6. Sistematika Penulisan Skripsi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1 Landasan Teori
- 2.2 Kajian Literatur
- 2.3 Kerangka Pemikiran

BAB III METODE PENELITIAN

- 3.1. Jenis Penelitian
- 3.2. Objek Penelitian
- 3.3. Metode Pengambilan Sampel
- 3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian
- 3.5. Metode Pengumpulan Data
- 3.6. Metode Analisa Data

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

- 4.1 Hasil Penelitian
- 4.2 Pembahasan



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

5.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea terhadap karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit hasil grafitisasi katalitik menggunakan K_2FeO_4 -KOH pada suhu $800^\circ C$ sebagai material anoda baterai ion litium, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi konsentrasi terdoping nitrogen berbasis urea berpengaruh terhadap karakteristik struktur dan sifat fisikokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit. Penambahan urea sebesar 0,5 g menghasilkan karakteristik optimum yang ditunjukkan oleh derajat grafitisasi tertinggi sebesar 84,37%, rasio IG/ID tertinggi sebesar 2,41, serta karakteristik pori yang mendukung difusi ion litium. Sebaliknya, penambahan urea hingga 0,7 g menghasilkan luas permukaan spesifik tertinggi sebesar, namun menyebabkan peningkatan cacat struktur yang ditunjukkan oleh penurunan keteraturan grafitik.
2. Variasi konsentrasi doping nitrogen berbasis urea berpengaruh terhadap kinerja elektrokimia karbon grafitik berbasis cangkang kelapa sawit sebagai material anoda baterai ion litium. Penambahan urea sebesar 0,5 g memberikan performa elektrokimia terbaik yang ditunjukkan oleh nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) terendah sebesar $27,55 \Omega$, koefisien difusi ion litium tertinggi, serta kapasitas spesifik tertinggi sebesar 302,07 mAh/g, sehingga merupakan konsentrasi doping nitrogen berbasis urea yang optimum pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi massa urea dengan interval yang lebih kecil seperti, 0,1; 0,2 g; dan 0,45 g urea, disekitar konsentrasi optimum agar diperoleh



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

batas konsentrasi doping nitrogen berbasis urea yang lebih akurat. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat membandingkan penggunaan sumber nitrogen lain selain urea untuk mengevaluasi pengaruh jenis prekursor terhadap karakteristik struktur dan kinerja elektrokimia karbon grafitik. Karakterisasi lanjutan, seperti SEM-EDX, TEM-HRTEM, dan XPS (*X-Ray Photoelectron Spectroscopy*), juga disarankan untuk mengamati morfologi, struktur mikro, serta jenis ikatan nitrogen yang terbentuk pada material karbon grafitik hasil doping.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. E. Putra, S. A. Ferdianto, F. Qunefi, and J. Adelyadi, "Perbandingan Material Superkapasitor Berbasis Karbon dan Oksida Logam untuk Optimalisasi Penyimpanan Energi dalam Aplikasi Sistem Energi Terbarukan: Systematic Literature Review," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 3, pp. 60–74, Nov. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.24858.
- [2] A. Satriady, W. Alamsyah, H. I. Saad, and S. Hidayat, "PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO₄," 2021.
- [3] D. A. Ningsih, Z. Arifin, and I. Supardi, "COATING SODIUM CARBONATE PADA ANODA REDUCED GRAPHENE OXIDE (rGO) UNTUK BATERAI LITHIUM-ION," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 06, pp. 123–127, 2021.
- [4] Y. Nakayasu, Y. Goto, Y. Katsuyama, T. Itoh, and M. Watanabe, "Highly crystalline graphite-like carbon from wood via low-temperature catalytic graphitization," *Carbon Trends*, vol. 8, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.cartre.2022.100190.
- [5] T. Stankulov, W. Obretenov, B. Banov, A. Momchilov, and A. Trifonova, "SILICON/GRAPHITE NANO-STRUCTURED COMPOSITES FOR A HIGH EFFICIENCY LITHIUM-ION BATTERIES ANODE," 2019.
- [6] I. Farida Antika and S. Hidayat, "KARAKTERISTIK ANODA BATERAI LITHIUM-ION YANG DIBUAT DENGAN METODE SPRAYING BERBASIS BINDER CMC," 2022.
- [7] C. Latif, M. Fahmi, I. Yogiarto, I. Hafidz, and A. Fauzan Adziimaa, "Sustainable Lithium Battery Development in Indonesia: The Role of Natural Materials and Recycling Processes in Future Challenges," Aug. 2025. [Online]. Available: <https://jemit.fmipa.unila.ac.id/>
- [8] R. Maniarasu, S. K. Rathore, and S. Murugan, "Biomass-based activated carbon for CO₂ adsorption—A review," Aug. 01, 2023, *SAGE Publications Inc.* doi: 10.1177/0958305X221093465.
- [9] R. Y. Arundina *et al.*, "Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass: Oil Palm Empty Fruit Bunches and Mahogany Sawdust," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 10, no. 2, pp. 81–88, Dec. 2021, doi: 10.15294/jbat.v10i2.33488.
- [10] W. ur Rehman *et al.*, "Biomass-derived carbon materials for batteries: Navigating challenges, structural diversities, and future perspective," Apr. 01, 2025, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.nxmte.2024.100450.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [11] Springer Nature, "Nitrogen-Doped Carbon Materials for Lithium-Ion Battery Anodes," *Nanochemistry Nitrogen-Doped Carbon Materials for Lithium-Ion Battery Anodes*, 2023.
- [12] BPS Indonesia, "Statistik Indonesia 2023," in *BPS Statistics Indonesia*, Jakarta, 2023.
- [13] J. Supriatna, D. Djumarno, A. B. Saluy, and D. Kurniawan, "Sustainability Analysis of Smallholder Oil Palm Plantations in Several Provinces in Indonesia," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 11, Jun. 2024, doi: 10.3390/su16114383.
- [14] W. T. Tsai, "Benefit analysis and regulatory actions for imported palm kernel shell as an environment-friendly energy source in Taiwan," *Resources*, vol. 8, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.3390/resources8010008.
- [15] S. Nasir, M. Z. Hussein, Z. Zainal, N. A. Yusof, and S. A. M. Zobir, "Electrochemical energy storage potentials of waste biomass: Oil palm leaf-And palm kernel shell-derived activated carbons," *Energies (Basel)*, vol. 11, no. 12, Dec. 2018, doi: 10.3390/en11123410.
- [16] L. Ni'Mah, M. F. Setiawan, and S. P. Prabowo, "Utilization of Waste Palm Kernel Shells and Empty Palm Oil Bunches as Raw Material Production of Liquid Smoke," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/366/1/012032.
- [17] I. Nuriskasari *et al.*, "Synthesis of graphitic carbon from empty palm oil fruit bunches through single-step graphitization process using K₂FeO₄-KOH catalyst as lithium ion battery anode," *Results in Engineering*, vol. 24, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103273.
- [18] S. C. Dey *et al.*, "Catalytic graphitization of pyrolysis oil for anode application in lithium-ion batteries," *Green Chemistry*, vol. 26, no. 15, pp. 8840–8853, Jul. 2024, doi: 10.1039/d4gc01647e.
- [19] Y. Zhao and X. Zhang, "In situ activation graphitization to fabricate hierarchical porous graphitic carbon for supercapacitor," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-85661-0.
- [20] S. Hidayat, S. Mudaim, and O. Nurhilal, "STUDY OF CHEMICAL STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES OF NITROGEN-DOPED ACTIVATED CARBON FROM CANDLENUT SHELL (ALEURITES MOLUCCANA)," Sumedang, 2022.
- [21] A. Vesel, R. Zaplotnik, G. Primc, and M. Mozetič, "A review of strategies for the synthesis of n-doped graphene-like materials," Nov. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/nano10112286.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [22] L. Yan, J. Yu, J. Houston, N. Flores, and H. Luo, "Biomass derived porous nitrogen doped carbon for electrochemical devices," Apr. 01, 2019, *KeAi Publishing Communications Ltd.* doi: 10.1016/j.gee.2017.03.002.
- [23] D. Ding *et al.*, "Porous Carbon Material Derived from Steam-Exploded Poplar for Supercapacitor: Insights into Synergistic Effect of KOH and Urea on the Structure and Electrochemical Properties," *Materials*, vol. 15, no. 8, Apr. 2022, doi: 10.3390/ma15082741.
- [24] Z. Nie *et al.*, "Nitrogen-doped Carbon with Modulated Surface Chemistry and Porous Structure by a Stepwise Biomass Activation Process towards Enhanced Electrochemical Lithium-Ion Storage," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-50330-w.
- [25] O. Nurhilal, S. Hidayat, D. Sumiarsa, and R. Risdiana, "Modifikasi Karbon Berpori Eceng Gondok Doping Nitrogen Untuk Matrik Katoda Baterai Litium Sulfur Dengan Kapasitas Tinggi," *Chimica et Natura Acta*, vol. 11, no. 2, pp. 52–58, 2023, doi: 10.24198/cna.v11.n2.46078.
- [26] J. Triwibowo, T. Lestariningsih, S. Priyono, R. Ibrahim Purawiardi, and L. Daulay, "STUDI PENGARUH KETEBALAN LEMBAR KATHODA LiFePO₄ PADA PERFORMA BATERAI SEKUNDER ION LITHIUM," 2018.
- [27] V. A. Sethuraman, L. J. Hardwick, V. Srinivasan, and R. Kostecki, "Surface Structural Disordering in Graphite upon Lithium Intercalation/Deintercalation," 2020.
- [28] T. E. P. S. Rahayu, M. Nurhilal, and R. Dwityaningsih, "Analisis Porositas, Tekstur, dan Morfologi Karbon Tempurung Nipah Hasil Pirolisis Suhu Tinggi Untuk Anoda Baterai Sekunder," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 1, pp. 119–129, Jan. 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i1.1666.
- [29] Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), "Apa Itu Cangkang Sawit (Palm Kernel Shell)? Mengenal Cangkang Kelapa Sawit?," GAPKI.
- [30] H. Aziz, O. Norita Tetra, A. Alif, S. dan Yola Azli Perdana Jurusan Kimia, and U. Andalas Padang, "PERFORMANCE KARBON AKTIF DARI LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR PERFORMANCE OF ACTIVATED CARBON FROM WASTE OF PALM OIL CANGCANG AS SUPPLEMENTARY SUPERACAPAPITOR," *Jurnal Zarah*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [31] J. Li, Y. Qin, Y. Chen, and J. Shen, "Microstructural Characteristics of Graphite Microcrystals in Graphitized Coal: Insights from Petrology, Mineralogy and Spectroscopy," *Minerals*, vol. 12, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.3390/min12101189.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [32] L. Zhifei, C. Daiyong, C. Gaojian, C. Qingtong, and B. Zhongwei, "High-temperature graphitization characteristics of vitrinite and inertinite," *Front. Earth Sci. (Lausanne)*, vol. 11, 2023, doi: 10.3389/feart.2023.1235457.
- [33] H. Shang *et al.*, "Solanaceous Crops-Derived Nitrogen-Doped Biomass Carbon Material as Anode for Lithium-Ion Battery," *Nanomaterials*, vol. 15, no. 17, Sep. 2025, doi: 10.3390/nano15171357.
- [34] B. D. Cullity, "ELEMENTS OF X-RAY DIFFRACTION," Indiana, Amerika Serikat.
- [35] Y. Jiang *et al.*, "Supporting Information Reuse of Spent Industrial Graphite in Batteries by Green Recycling and Interphase Functionalization," 2024.
- [36] T. Qiu, J. G. Yang, X. J. Bai, and Y. L. Wang, "The preparation of synthetic graphite materials with hierarchical pores from lignite by one-step impregnation and their characterization as dye absorbents," *RSC Adv.*, vol. 9, no. 22, pp. 12737–12746, 2019, doi: 10.1039/c9ra00343f.
- [37] N. Suryana, O. Nurhilal, and S. Hidayat, "KAJIAN PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP PENINGKATAN DERAJAT KRISTALINITAS KARBON DARI LIMBAH KULIT KEMIRI," 2021.
- [38] L. Shen and Q. Zeng, "Investigation of the kinetics of spontaneous combustion of the major coal seam in Dahuangshan mining area of the Southern Junggar coalfield, Xinjiang, China," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-020-79223-z.
- [39] E. Arriola-Villaseñor *et al.*, "Graphene Recovery in Both Dispersed and Decanted Fractions from Lithium-Ion Battery Graphite via Sonication," *Recycling*, vol. 10, no. 3, Jun. 2025, doi: 10.3390/recycling10030119.
- [40] Y. Sha *et al.*, "Laser induced graphitization of PAN-based carbon fibers," *RSC Adv.*, vol. 8, no. 21, pp. 11543–11550, 2018, doi: 10.1039/c8ra00497h.
- [41] J. Q. Zhang *et al.*, "Nitrogen-rich porous carbon derived from biomass as high performance electrode materials for supercapacitors," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 13, no. 6, pp. 5204–5218, Jun. 2018, doi: 10.20964/2018.06.09.
- [42] M. Thommes *et al.*, "Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report)," *Pure and Applied Chemistry*, vol. 87, no. 9–10, pp. 1051–1069, Oct. 2018, doi: 10.1515/pac-2014-1117.
- [43] S. Sutarsis, D. M. Abyan, F. A. F. Kussuma, Y. Pradesar, and A. Purniawan, "ELECTROCHEMICAL PERFORMANCES OF NITROGEN-DOPED CARBON/MNO₂ COMPOSITE SUPERCAPACITOR ELECTRODE IN KI-ADDED NA₂SO₄ ELECTROLYTE," *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, Oct. 2024, doi: 10.21831/dinamika.v9i2.77816.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [44] F. P. Bouxin, J. Fan, V. L. Budarin, and J. H. Clark, "Electrical conductivity of beech sawdust using graphite catalytic coating: unlocking the microwave-assisted thermolysis efficiency of lignocellulosic biomass," *Sustain. Energy Fuels*, vol. 5, no. 15, pp. 3895–3905, Aug. 2021, doi: 10.1039/d1se00610j.
- [45] A. P. Nowak, P. Rutecki, M. Szkoda, and K. Trzciński, "Determination of Sodium Ion Diffusion Coefficient in Tin Sulfide@Carbon Anode Material Using GITT and EIS Techniques," *Energies*, vol. 17, no. 13, Jul. 2024, doi: 10.3390/en17133233.
- [46] A. Dwika Hardi, R. Joni, H. Aziz, L. Kimia Fisika, J. Kimia, and H. Artikel, "Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor," *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, vol. 9, no. 4, pp. 479–486, 2022, doi: 10.25077/jfu.9.4.479-486-.2020.
- [47] I. Wulandari, N. Susanto Gultom, B. Adiperdana, and A. Bahtiar, "SINTESIS KARBON BERPORI DARI BIOMASSA BATANG JAGUNG YANG DIDOPING NITROGEN DAN KARAKTERISASINYA UNTUK APLIKASI PENANGKAP KARBON DIOKSIDA," Sumedang, Aug. 2024.
- [48] F. Mahmudah,) Diah, H. Kusumawati, and F. Destyorini, "PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS NIKEL TERHADAP HOMOGENITAS FASA DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK KARBON DARI SERABUT KELAPA," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, pp. 119–124, 2022.
- [49] O. N. Tetra *et al.*, "SINTESIS BIOKARBON BATANG JAGUNG YANG DIDOPING NITROGEN SEBAGAI ELEKTRODA KAPASITOR ELEKTROKIMIA SYNTHESIS OF N-DOPED CORN STALK BIOCARBON AS AN ELECTROCHEMICAL CAPACITOR ELECTRODE," 2024.
- [50] Y. Wang, H. Feng, C. Zhang, Q. Liu, J. Tan, and C. Ye, "Interlayer Nanoarchitecture Modification of Layered Materials in Rechargeable Metal-Ion Batteries," Dec. 01, 2025, *Springer*. doi: 10.1007/s41918-025-00253-0.
- [51] D. Versaci *et al.*, "New eco-friendly low-cost binders for Li-ion anodes," *Journal of Solid State Electrochemistry*, vol. 21, no. 12, pp. 3429–3435, Nov. 2018, doi: 10.1007/s10008-017-3665-5.
- [52] J. Xing, S. Bliznakov, L. Bonville, M. Oljaca, and R. Maric, "A Review of Nonaqueous Electrolytes, Binders, and Separators for Lithium-Ion Batteries," Dec. 01, 2022, *Springer*. doi: 10.1007/s41918-022-00131-z.
- [53] D. O. Usino, T. Sar, P. Ylittervo, and T. Richards, "Effect of Acid Pretreatment on the Primary Products of Biomass Fast Pyrolysis," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/en16052377.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [54] Universitas Padjajaran, “Electrochemical Impedance Spectroscopy,” <https://www.finder.ac.id/product/electrochemical-impedance-spectroscopy->
- [55] F. Audis Paramundhita,) Munasir, and E. Suaebah, “SINTESIS DAN KARAKTERISASI GRAPHENE OXIDE (GO) YANG DIMODIFIKASI DENGAN NANOPARTIKEL SILIKA BERBASIS LIMBAH CANGKANG SAWIT,” *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 14, pp. 369–376, 2025.
- [56] G. Chen, D. Cao, F. Liao, H. He, A. Wang, and S. Peng, “Preparation and characterization of coal-based graphite from Huyan mountain anthracite by high-temperature simulation,” *PLoS One*, vol. 20, no. 5 May, May 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0322558.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Proses Penelitian

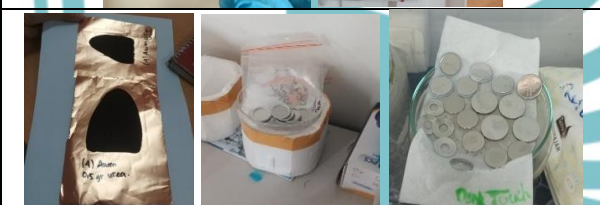
Dokumentasi	Keterangan
	Biomassa Cangkang Kelapa Sawit sebelum dan sesudah proses karbonisasi
	Karbon grafit amorfus setelah proses <i>ball mill</i>
	Proses <i>pre-treatment</i> karbon grafitik CKS menggunakan HCl 2 M selama 6 jam pada suhu 60°C
	Proses filtrasi setelah pencucian menggunakan HCl 2 M hingga pH netral kemudian di oven suhu 60°C selama 1 jam
	Proses impregnasi katalis dengan suhu 80°C dengan putaran 500rpm hingga menjadi padatan kering
	Proses penumbakan karbon padat setelah impregnasi katalis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	Proses pirolisis sampel dengan suhu 800°C
	Proses pencucian menggunakan HCl 2 M, dan filtrasi kemudian pengeringan menggunakan oven setelah pirolisis
	Proses penumbukan karbon grafitik CKS menggunakan mortar
	Lembaran <i>slurry</i> anoda dan cangkang <i>half cell</i>

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

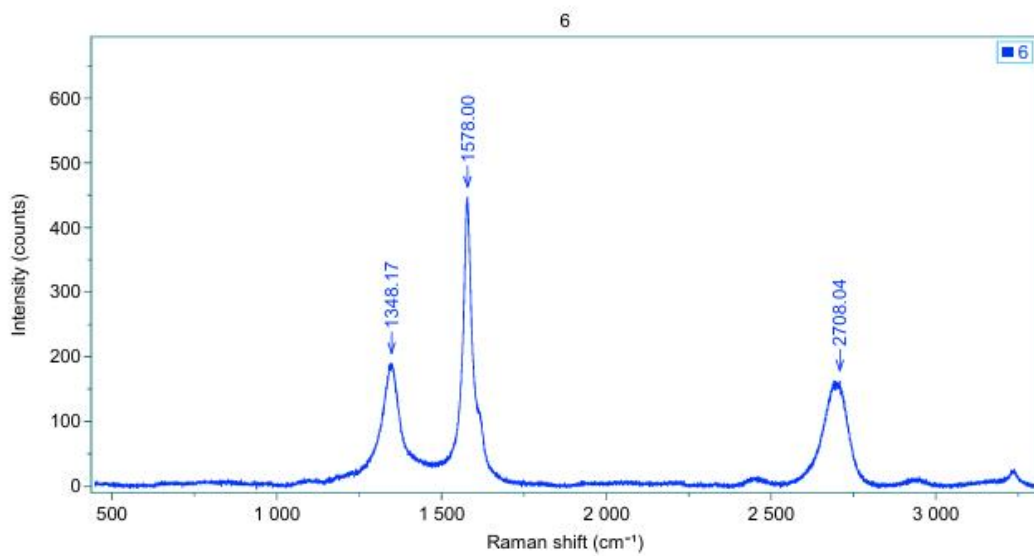
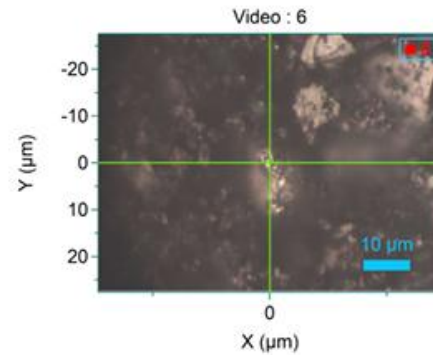
Lampiran 2 Karakteristik Raman *Spectroscopy* pada sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0 urea_800

04.05.2026 10:06

1/1



Powered by
LabSpec 6



Instrument	LabRAM HR Evol	Acq. time (s)	11	Accumulations	13
Laser	532nm_Edge	Hole	499.984	Grating	1800 (450-850nm)
ND Filter	10%	Objective	x100_VIS	Range (cm⁻¹)	448...3300

04.05.2026 10:06

1/1



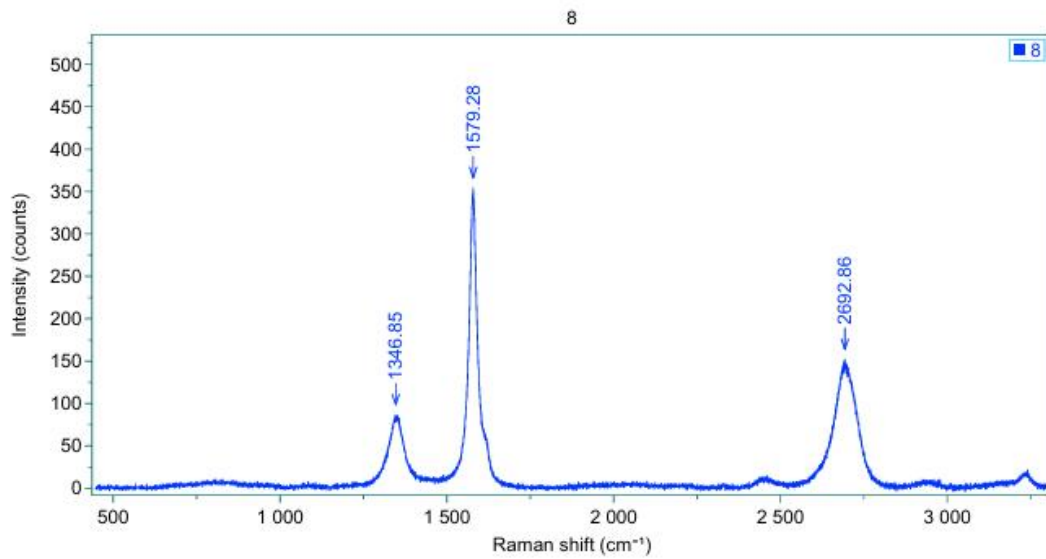
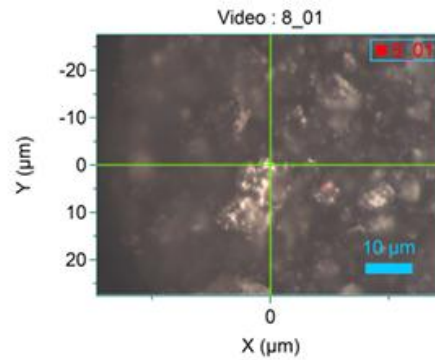
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Karakteristik Raman *Spectroscopy* pada sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.3 urea_800
04.05.2026 10:48 1/1



Powered by
LabSpec 6



Instrument	LabRAM HR Evol	Acq. time (s)	11	Accumulations	13
Laser	532nm_Edge	Hole	499.984	Grating	1800 (450-850nm)
ND Filter	10%	Objective	x100_VIS	Range (cm⁻¹)	448...3300



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

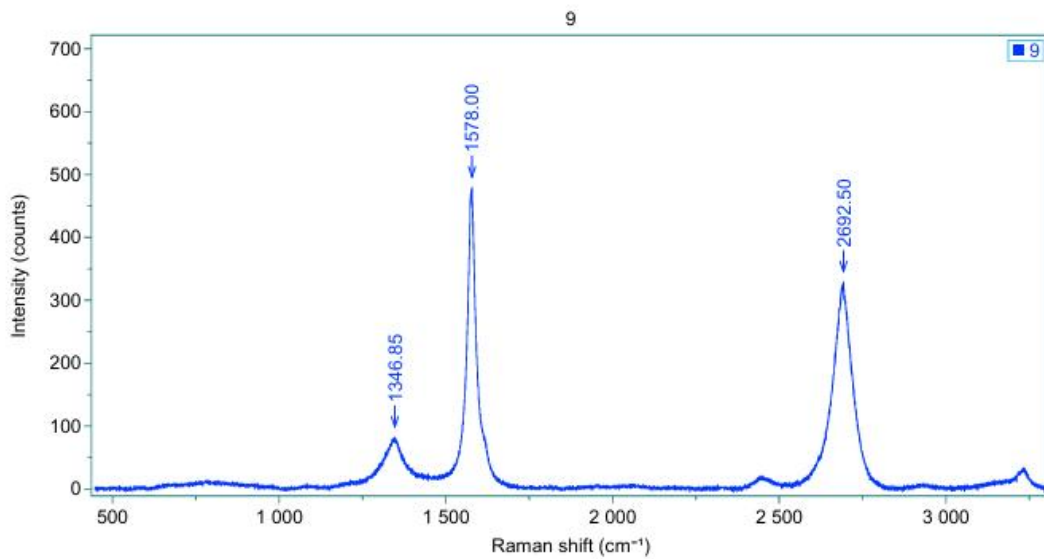
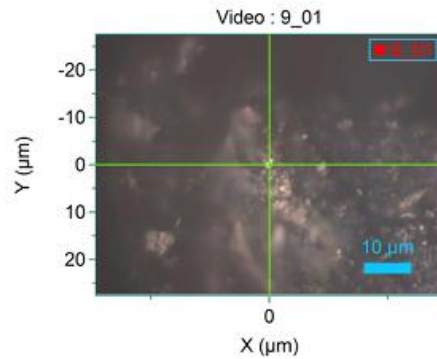
Lampiran 4 Karakteristik Raman *Spectroscopy* pada sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.5 urea_800

04.05.2026 11:50

1/1



Powered by
LabSpec 6



Instrument	LabRAM HR Evol	Acq. time (s)	11	Accumulations	13
Laser	532nm_Edge	Hole	499.984	Grating	1800 (450-850nm)
ND Filter	10%	Objective	x100_VIS	Range (cm⁻¹)	448...3300

04.05.2026 11:50

1/1



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

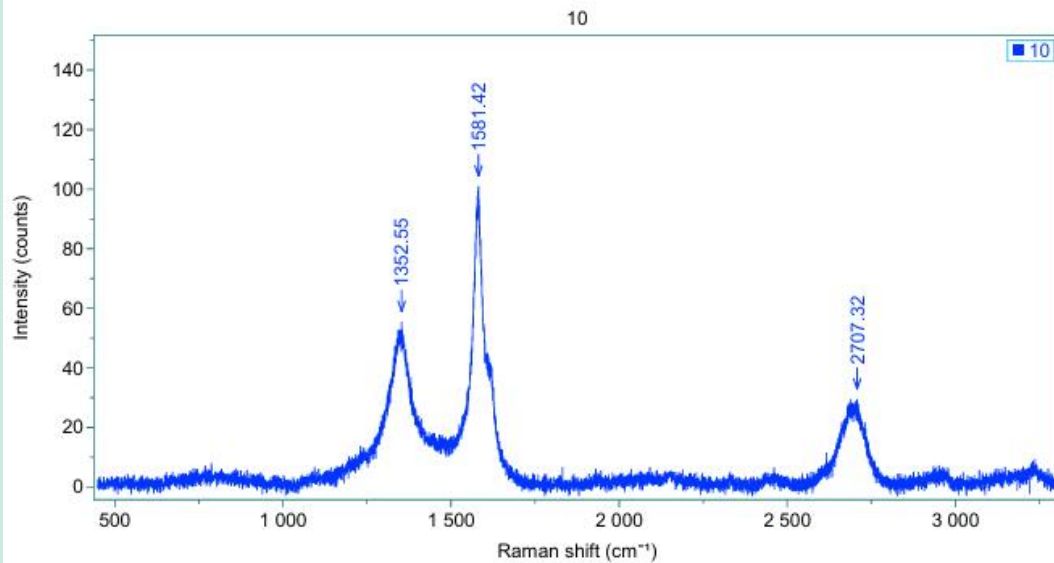
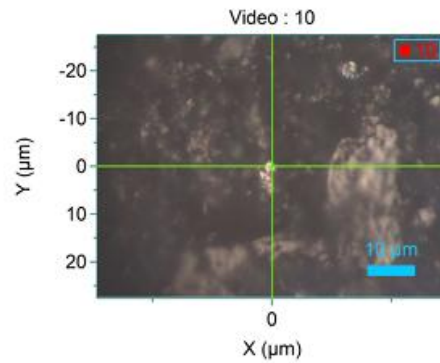
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Karakteristik Raman *Spectroscopy* pada sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.7 urea_800
04.05.2026 13:39 1/1



Powered by
LabSpec 6



Instrument	LabRAM HR Evol	Acq. time (s)	11	Accumulations	14
Laser	532nm_Edge	Hole	499.984	Grating	1800 (450-850nm)
ND Filter	5%	Objective	x100_VIS	Range (cm⁻¹)	448...3300

04.05.2026 13:39

1/1

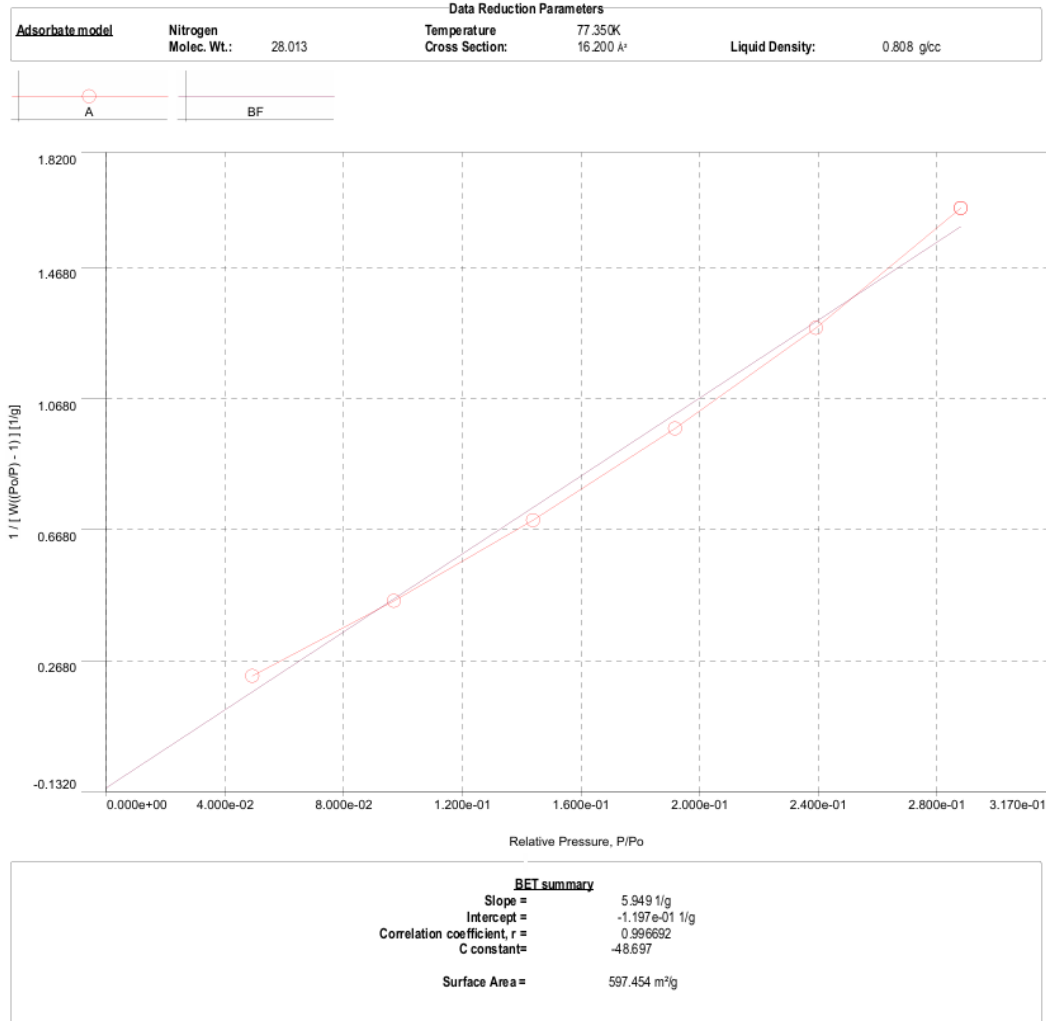


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6 Karakteristik multipoint BET sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0 urea_800

Multi-Point BET Plot

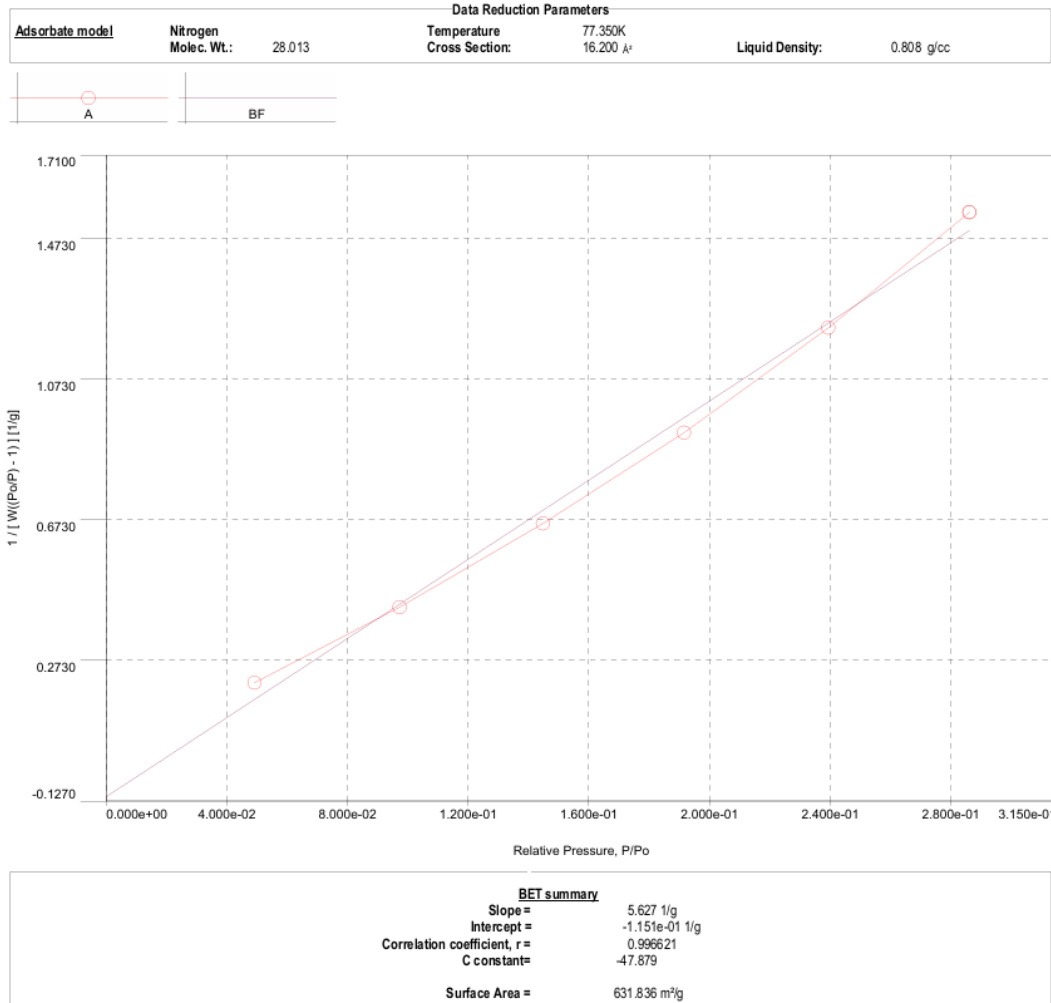


JAKARTA



Lampiran 7 Karakteristik multipoint BET sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.3 urea_800

Multi-Point BET Plot



JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

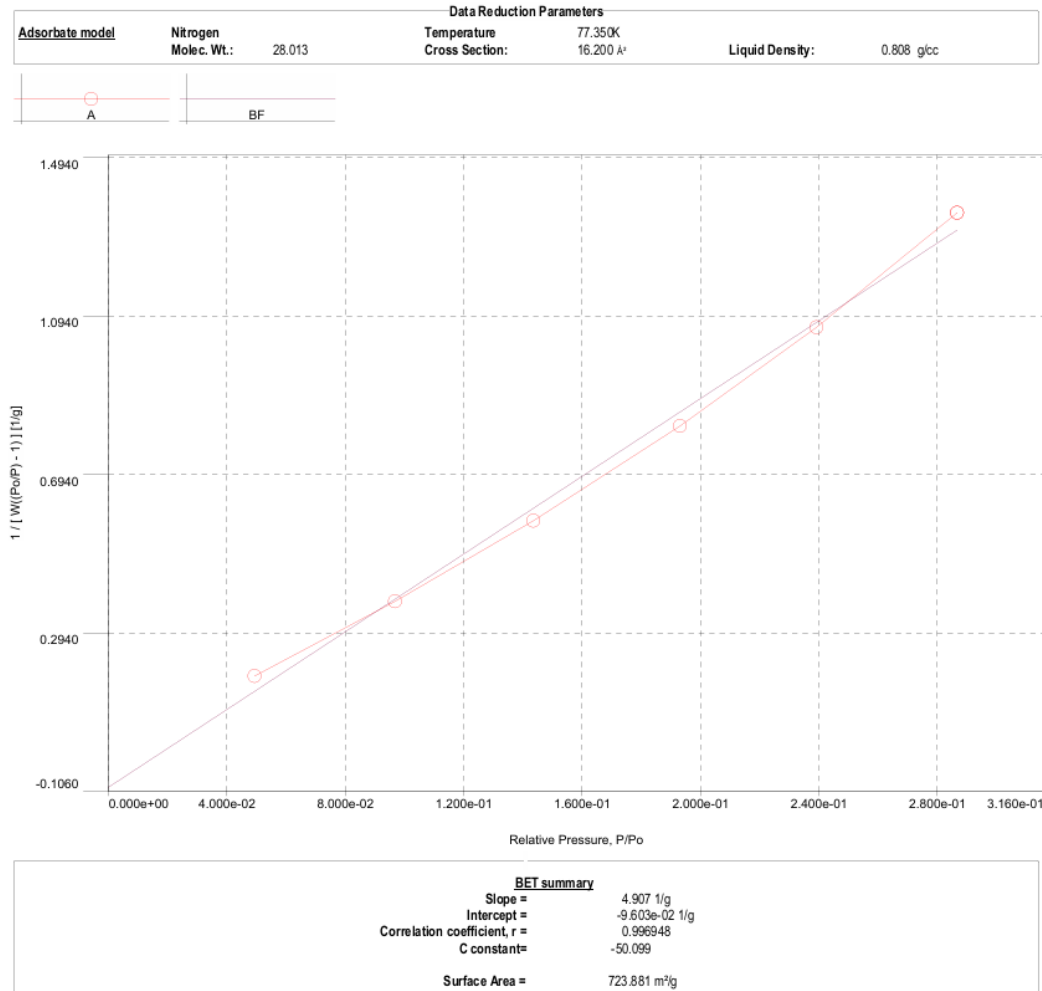


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 8 Karakteristik multipoint BET sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.5 urea_800

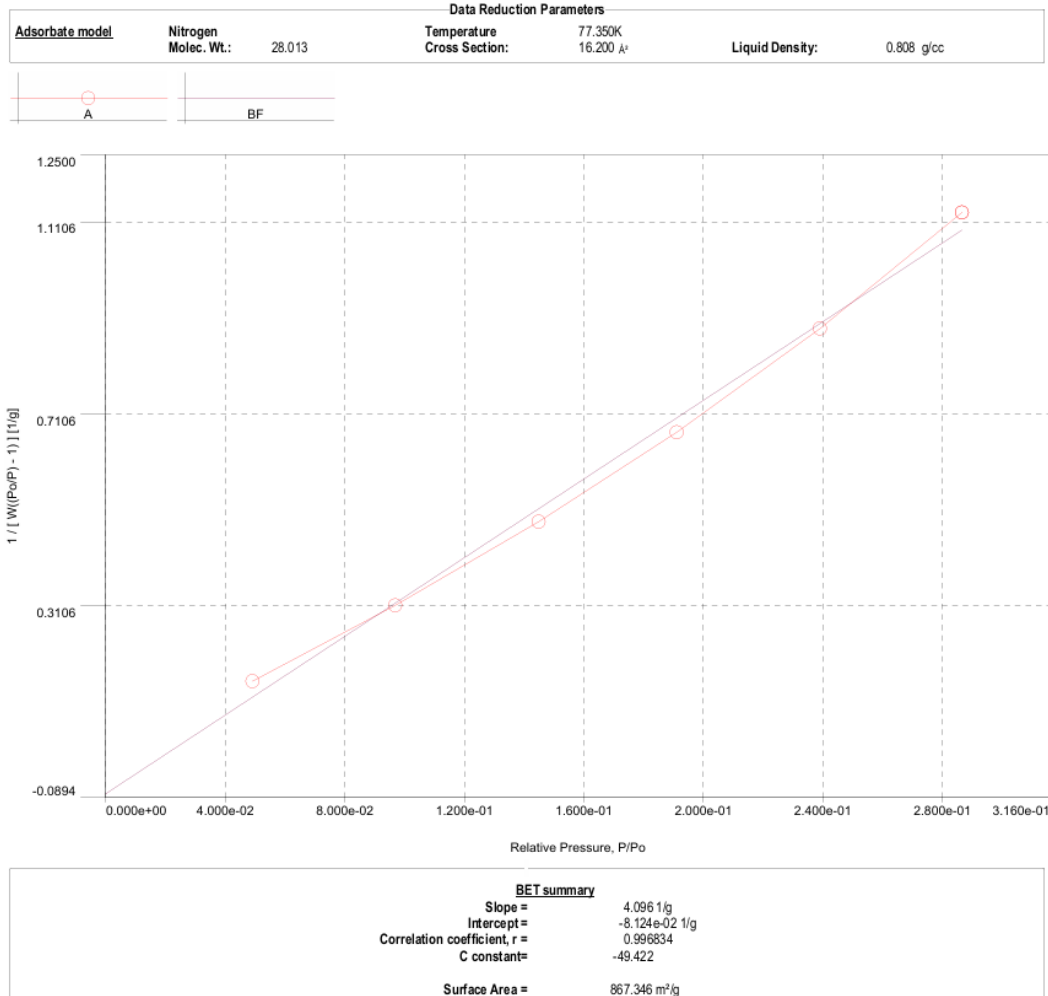
Multi-Point BET Plot



JAKARTA



Lampiran 9 Karakteristik multipoint BET sampel C_K₂FeO₄(0.11)_KOH_0.7 urea_800
Multi-Point BET Plot



JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta