

**PERBANDINGAN KONSENTRASI DOPING NITROGEN DAN
PENGARUH PENGGUNAAN ADITIF PADA KATALIS Pt/NGO UNTUK
KATODA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh:

AMANDA MUZDALIFAH SAFITRI

08031282126073

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PERBANDINGAN KONSENTRASI DOPING NITROGEN DAN
PENGARUH PENGGUNAAN ADITIF PADA KATALIS Pt/NGO UNTUK
KATODA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

AMANDA MUZDALIFAH SAFITRI

08031282126073

Indralaya, 18 Juli 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Muhammad Said, M.T.
NIP. 197407212001121001



Oka Pradipta Arjasa Putra, M.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198002272008011007

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Amanda Muzdalifah Safitri (08031282126073) dengan judul “Perbandingan Konsentrasi Doping Nitrogen dan Pengaruh Penggunaan Aditif Pada Katalis Pt/NGO Untuk Katoda *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)” telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 14 Juli 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 18 Juli 2025

Ketua:

1. **Dr. Nova Yuliasari, M.Si.**
NIP. 197307261999032001

()

Anggota:

1. **Dr. Muhammad Said, M.T.**
NIP. 197407212001121001

()

2. **Oka Pradipta Arjasa Putra, S.T., M.Sc., Ph.D.**
NIP. 198002272008011007

()

3. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si.**
NIP. 197211092000032001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Amanda Muzdalifah Safitri

NIM : 08031282126073

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 18 Juli 2025



Penulis

Amanda Muzdalifah Safitri

NIM. 08031282126073

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Amanda Muzdalifah Safitri

NIM : 08031282126073

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Perbandingan Konsentrasi Doping Nitrogen dan Pengaruh Penggunaan Aditif Pada Katalis Pt/NGO Untuk Katoda *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 18 Juli 2025

Penulis



Amanda Muzdalifah Safitri

NIM. 08031282126073

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah: 5)

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT
2. Ibu, Ayah dan Kakak tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan
3. Dosen pembimbing tugas akhir (Dr. Muhammad Said, M.T. dan Oka Pradipta Arjasa Putra, M.T., M.Sc., Ph.D.)
4. Seluruh Civitas Akademik Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya
5. Almamater Universitas Sriwijaya

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, kesehatan, kekuatan dan pertolongan kepada hamba-Nya dalam setiap aktivitas yang dilakukan. Atas dasar inilah penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Perbandingan Konsentrasi Doping Nitrogen dan Pengaruh Penggunaan Katalis Pt/NGO Untuk Katoda *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui, mulai dari studi literatur, penelitian, pengumpulan dan pengolahan data serta pada proses penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat, rahmat, hidayah serta kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Rasa puji dan syukur yang begitu besar penulis panjatkan kepada-Nya.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih pak sudah selalu peduli kepada saya, sudah banyak meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan dengan sabar, kesempatan, motivasi dan dukungan serta ilmu yang sangat bermanfaat. Terima kasih banyak atas semua dedikasi yang telah bapak berikan selama ini kepada penulis. Semoga bapak panjang umur, selalu diberikan kesehatan, dilancarkan segala urusan dalam memperoleh gelar Prof aamiin.
6. Bapak Oka Pradipta Arjasa Putra, M.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen

Pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih pak sudah banyak mengambil peran dan meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan serta arahan dengan sabar. Terima kasih banyak atas kesempatan, masukan, motivasi dan dukungan luar biasa yang telah Bapak berikan kepada penulis.

7. Bapak Dr. Zainal Fanani, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik saya. Terima kasih atas segala bimbingan, arahan dan nasihat yang telah Bapak berikan selama perkuliahan kepada penulis.
8. Bapak Dr. Suheryanto, M.Si, Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si selaku Tim Penguji Seminar Hasil dan Sidang Sarjana yang turut andil memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi. Terima kasih atas ketulusan dan kepedulian yang tiada hentinya Bapak dan Ibu berikan kepada penulis.
9. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama perkuliahan.
10. Mba Novi dan Kak Chosi'in selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dan memberi informasi dalam kelancaran perkuliahan penulis.
11. Kedua orang tua tersayang, Muhammad Rusli (Ayah) dan Siti Aisyah Siregar (Mama). Terima kasih tak terhingga penulis ucapkan atas seluruh dedikasi, cinta, kasih sayang dan pengorbanan yang diberikan terutama oleh mama. Perjalanan hidup kita sebagai satu keluarga utuh memang tidak mudah, tetapi segala hal yang telah dilalui memberikan penulis pembelajaran kehidupan yang sangat berharga. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat membuat ayah dan mama bangga karena telah berhasil menjadikan anak perempuan terakhirnya menyandang gelar sarjana. Besar harapan penulis, semoga ayah dan mama selalu sehat, panjang umur dan bisa menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih di masa yang akan datang.
12. Kedua kakak tersayang, Aulia Ulfa Hasanah dan Arisyia Fairuz Mutmainnah. Terima kasih atas semua cinta dan kasih sayang yang diberikan kepada adik Abanda. Peran sebagai kakak sekaligus orang tua telah berhasil kakak jalani dan penulis sangat beruntung atas kehadiran kakak yang selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis. Terima kasih atas semua pembelajaran kehidupan, ketulusan dan kepedulian yang tiada hentinya kakak berikan kepada penulis.

13. Nike Octarina selaku sahabat pertama di Kimia, sahabat beda sehari, sahabat harmoni, sahabat himfest, sahabat selamanya. Terima kasih atas semua cinta dan kasih sayang yang telah diberikan di sepanjang perjalanan perkuliahan penulis. Meskipun perjalanan kita tidak selalu bersama, Ncil selalu mengirimkan doa, harapan baik dan dukungan kepada Nkee tersayang.
14. Cindy Aprilia, Mianita Sadin dan Tri Mulyanita Sarah selaku tiga pilar kehidupan perkuliahan penulis. Terima kasih telah saling menguatkan, memberi dukungan, mengulurkan tangan, bertahan dan tetap bersama hingga akhir masa perkuliahan. Terima kasih telah hadir dan menjadi bagian paling menyenangkan dalam perjalanan kehidupan perkuliahan penulis. Kehadiran Ndy, Mile dan Sarah adalah bagian terpenting dari yang paling penting.
15. Aulia Nur Anisa selaku kakak terbaik sepanjang masa di Kimia, kakak beda ibu bapak, kakak paling top markotop. Terima kasih atas semua suka dan cita yang telah kita lalui bersama. Dari pertemuan awal hingga akhir, kak Icak bagian terpenting baik dalam perkuliahan maupun kehidupan.
16. Elsa Wahyuni selaku kakak sekaligus partner bendahara, terima kasih atas semua perhatian, cinta dan kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis. Semangat untuk menjalani kehidupan di dunia kerja, penulis senantiasa menunggu kabar baik dari kakak El tersayang.
17. Difa selaku kakak asuh terbaik sepanjang masa, terima kasih atas semua perhatian, cinta dan kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih atas *tips and trick* perkuliahan di Kimia, mulai dari mata kuliah, laprak dan serba-serbi perkuliahan lainnya. Semangat untuk menjalani kehidupan di dunia kerja.
18. Erika Safiri, Titah Maharti Nugraheni, Anjar Anggraini dan Aulia Hanna selaku adik asuh tersayang. Terima kasih atas semua kebaikan, kepedulian, ketulusan dan dukungan yang telah diberikan di sepanjang perjalanan perkuliahan penulis. Semangat untuk menjalani kehidupan di Kimia, penulis menunggu kabar kelulusan adik-adik NIM 073.
19. Aulia Dama Yanti (Universitas Sriwijaya), Asri Sarah Sidabutar (Universitas Indonesia) dan Widiastuti Safitri (Universitas Katolik Parahyangan) selaku rekan seperjuangan sehidup semati yang telah kebersamaan hingga akhir.

Pertemuan singkat yang justru memberikan banyak tawa, keluh kesah serta kebersamaan yang sangat berarti dan penuh makna. Terima kasih atas semangat, bantuan dan dukungan yang senantiasa diberikan kepada penulis.

20. Teman-teman kimia angkatan 2021, terima kasih atas perjuangan dan kebersamaan yang telah kita lalui sampai akhir. Sukses selalu dimanapun kalian berada.
21. Terima kasih kepada siapapun dan pihak manapun yang telah mengukir cerita dan memberi pembelajaran hidup yang berarti hingga membuat penulis lebih dewasa seiring waktu. Semua yang mendukung penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, terima kasih banyak.
22. *Last but not least*, terima kasih untuk diriku sendiri. Terima kasih telah turut hadir di dunia ini, telah bertahan sejauh ini dan terus berjalan melewati segala tantangan yang semesta hadirkan. Walau terkadang harapanmu tidak sesuai dengan apa yang semesta berikan, tetaplah belajar menerima dan mensyukuri apapun yang kamu dapatkan. Jangan pernah lelah untuk tetap berusaha, berbahagialah dimanapun kamu berada. Rayakan apapun dalam dirimu dan jadikan dirimu bersinar dimanapun tempatmu bertumpu. Semoga langkah dari kaki kecilmu selalu diperkuat, dikelilingi oleh orang-orang yang hebat serta mimpimu satu persatu akan terjawab. Terima kasih, Amanda.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis mengharapkan saran dan masukan dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, 18 Juli 2025

Penulis

Amanda Muzdalifah Safitri

NIM. 08031282126073

SUMMARY

COMPARISON OF NITROGEN DOPING CONCENTRATIONS AND THE EFFECT OF ADDITIVES ON Pt/NGO CATALYSTS FOR PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)

Amanda Muzdalifah Safitri; Supervised by Dr. Muhammad Said, M.T. and Oka Pradipta Arjasa Putra, M. T., M. Sc., Ph. D.

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xviii + 60 pages, 13 figures, 14 tables, 5 appendices

Fuel Cell (FC) is a device capable of converting chemical energy into electrical energy through an electrochemical reaction. One type of FC is the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). PEMFC is commonly used because it does not produce pollutants during operation, but rather water as a byproduct. This research aims to synthesize Pt/NGO catalysts and perform characterization using Thermogravimetric Analysis (TGA) and X-Ray Diffraction (XRD), compare the performance of Pt/NGO catalysts at the cathode of Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) using Cyclic Voltammetry (CV), Linear Sweep Voltammetry (LSV), and polarization curves with different nitrogen doping concentrations, as well as determine the effect of acid and surfactant additives on N-Doped Graphene Oxide (N-GO) toward the performance of Pt/NGO catalysts at the PEMFC cathode.

The Gas Diffusion Electrode (GDE) fabrication process begins with the synthesis of N-GO using a hydrothermal method. N-GO was synthesized using a 1:1 ratio of urea to GO with the addition of acid and surfactant (N-GO₁), as well as without additional materials at 1:1 (N-GO₂) and 12:1 (N-GO₃) ratios. The Pt/NGO catalyst was synthesized using a chemical reduction method, and the catalyst was coated onto the Gas Diffusion Layer (GDL) surface using the painting method. Based on TGA characterization, the Pt contents in Pt/NGO₁, Pt/NGO₂, and Pt/NGO₃ catalysts were 48.37%, 44.61%, and 51.58%, respectively. XRD characterization of Pt/NGO₂ showed Pt diffraction peaks at 39.51°, 46.03°, and 67.30°, confirming successful Pt reduction with N-GO as the supporting material. The XRD pattern of Pt/NGO₃ showed Pt peaks at 44.40°, 51.02°, and 72.20°. The crystal size of Pt was approximately ± 4 nm, calculated using the Debye-Scherrer equation at the highest 2θ peak. The small crystal size distribution indicates good Pt dispersion on the N-GO surface. Based on the calculated values of Electrochemical Surface Area (ECSA) and mass activity, The Pt/NGO₁ catalyst shows the best electrochemical performance with ECSA and mass activity values of 42.3 m²/g_{Pt} and 1.9 mA/mg_{Pt}.

Keywords : Cyclic Voltammetry, PEMFC, Pt/NGO

Citations : 47 (2011-2025)

RINGKASAN

PERBANDINGAN KONSENTRASI DOPING NITROGEN DAN PENGARUH PENGGUNAAN ADITIF PADA KATALIS Pt/NGO UNTUK KATODA *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL* (PEMFC)

Amanda Muzdalifah Safitri; Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.T. dan Oka Pradipta Arjasa Putra, M. T., M. Sc., Ph. D.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xviii + 60 halaman, 13 gambar, 14 tabel, 5 lampiran

Fuel Cell (FC) merupakan perangkat yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia. Salah satu jenis FC diantaranya *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC adalah sel bahan bakar yang umum digunakan karena selama masa operasionalnya tidak menghasilkan polutan, melainkan air sebagai produk samping. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis Pt/NGO dan karakterisasi menggunakan metode *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *X-Ray Diffraction* (XRD), membandingkan kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV), *Linear Sweep Voltammetry* (LSV), dan Kurva Polarisasi dengan konsentrasi doping nitrogen yang berbeda, serta mengetahui pengaruh penambahan aditif berupa asam dan surfaktan pada *N-Doped Graphene Oxide* (N-GO) terhadap kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC.

Proses pembuatan *Gas Diffusion Electrode* (GDE) diawali dengan sintesis N-GO menggunakan metode hidrotermal. N-GO disintesis menggunakan rasio perbandingan antara urea dan GO sebesar 1:1 dengan penambahan asam dan surfaktan (N-GO₁), serta 1:1 (N-GO₂) dan 12:1 (N-GO₃) tanpa material tambahan. Katalis Pt/NGO disintesis dengan metode reduksi kimia dan pelapisan katalis di atas permukaan *Gas Diffusion Layer* (GDL) dilakukan dengan metode painting. Berdasarkan hasil karakterisasi TGA, kandungan Pt dalam katalis Pt/NGO₁, Pt/NGO₂, dan Pt/NGO₃ masing-masing sebesar 48,37%, 44,61%, dan 51,58%. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD untuk katalis Pt/NGO₂ menunjukkan puncak difraktogram Pt pada 39,51°, 46,03°, dan 67,30° yang membuktikan keberhasilan reduksi Pt dengan bahan pendukung N-GO. Pola XRD untuk katalis Pt/NGO₃ menunjukkan puncak difraktogram Pt pada 44,40°, 51,02°, dan 72,20°. Ukuran kristal Pt sebesar ± 4 nm berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Debye-Scherrer pada puncak sudut 2θ tertinggi. Berdasarkan perhitungan nilai luas permukaan elektrokimia (ECSA) dan aktivitas massa yang dihasilkan, katalis Pt/NGO₁ memiliki performa elektrokimia terbaik dengan nilai ECSA dan aktivitas massa masing-masing sebesar 42,3 m²/g_{Pt} dan 1,9 mA/mg_{Pt}.

Kata Kunci : PEMFC, Pt/NGO, Voltametri Siklik

Sitasi : 47 (2011-2025)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Fuel Cell</i> (FC)	4
2.2 <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	4
2.2.1 Pengertian PEMFC	4
2.2.2 Komponen Penyusun PEMFC	5
2.3 Urea	7
2.4 <i>Graphene Oxide</i> (GO)	7
2.5 <i>N-Doped Graphene Oxide</i> (N-GO)	8
2.6 Hidrotermal	9
2.7 Surfaktan	9
2.8 Katalis Pt/C.....	10
2.9 Karakterisasi Katalis	10
2.9.1 <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA)	10
2.9.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	11

2.10 Uji Elektrokimia	11
2.10.1 Uji <i>Half Cell</i>	11
2.10.2 Uji <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	12
2.10.3 Uji <i>Linear Sweep Voltammetry</i> (LSV)	13
2.10.4 Kurva Polarisasi	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.3.1 Sintesis N-GO ₁	15
3.3.2 Sintesis N-GO ₂ dan N-GO ₃	15
3.3.3 Sintesis Katalis Pt/NGO	15
3.3.4 Sintesis <i>Gas Diffusion Electrode</i> (GDE)	16
3.3.4.1 Sintesis Pt/GDL-C.....	16
3.3.5 Karakterisasi Katalis	16
3.3.5.1 <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA)	16
3.3.5.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	17
3.3.6 Uji Elektrokimia	17
3.3.6.1 <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	17
3.3.6.2 <i>Linear Sweep Voltammetry</i> (LSV)	17
3.3.6.3 Kurva Polarisasi	17
3.3.7 Analisis Data	18
3.3.7.1 Karakterisasi Material	18
3.3.7.2 Konsentrasi Doping Nitrogen Terbaik	18
3.3.7.3 Pengaruh Asam dan Surfaktan	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Sintesis dan Karakterisasi Katalis Pt/NGO	20
4.1.1 Hasil Sintesis N-GO	20
4.1.2 Hasil Sintesis Katalis	21
4.1.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Thermogravimetric</i>	21

<i>Analysis</i>	
4.1.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i>	22
4.2 Uji Kinerja	24
4.2.1 Uji Kinerja Menggunakan Metode <i>Cyclic Voltammetry</i>	24
4.2.2 Uji Kinerja Menggunakan Metode <i>Linear Sweep</i> <i>Voltammetry</i>	26
4.2.3 Uji Kinerja Menggunakan Kurva Polarisasi	27
4.3 Pengaruh Penambahan Aditif Pada N-GO Terhadap Kinerja Katalis.....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	37
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Skema Struktur PEMFC	5
Gambar 2. Komponen Penyusun MEA	6
Gambar 3. Proses Pembentukan Lapisan Katalis	7
Gambar 4. Struktur (a) Grafena dan (b) GO	8
Gambar 5. Struktur N-GO	9
Gambar 6. Kurva CV Katalis Pt/C	12
Gambar 7. Hasil Sintesis N-GO	20
Gambar 8. Hasil Sintesis Katalis Pt/NGO	21
Gambar 9. Kurva TGA	22
Gambar 10. Difraktogram (a) Grafit (b) GO (c) Katalis Pt/NGO ₂ dan (d) Katalis Pt/NGO ₃	23
Gambar 11. Kurva CV dalam 1 M HClO ₄ di bawah Aliran Gas N ₂ dengan Laju Pemindaian 100 mV/s	25
Gambar 12. (a) Kurva LSV dalam 1 M HClO ₄ di bawah Aliran Gas O ₂ dengan Laju Pemindaian 10 mV/s dan (b) Perbesaran Kurva LSV	26
Gambar 13. (a) Kurva Polarisasi ORR dan (b) Plot Tafel yang Diukur Pada 0,7 V	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Sel Bahan Bakar Berdasarkan Suhu Operasi dan Elektrolit	4
Tabel 2. Komponen Penyusun PEMFC dan Karakteristik Fungsionalnya	7
Tabel 3. Protokol Pengujian Elektrokimia	12
Tabel 4. Prosedur Pengujian <i>Galvanostatic</i>	18
Tabel 5. Hasil Sintesis Katalis Pt/NGO	21
Tabel 6. Persentase <i>Loading</i> Platinum Pada Katalis	22
Tabel 7. Sudut 2θ dengan JCPDS dan Ukuran Kristal	24
Tabel 8. Nilai Luas Permukaan Elektrokimia	26
Tabel 9. Nilai Aktivitas Massa	29
Tabel 10. Nilai ECSA dan Aktivitas Massa	29
Tabel 11. Penentuan Berat Komponen Sampel	40
Tabel 12. Penentuan Berat Komponen Katalis	41
Tabel 13. Penentuan Berat Komponen GDE	42
Tabel 14. Data Hasil TGA	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian	38
Lampiran 2. Penentuan Berat GO	44
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi TGA	45
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi XRD	47
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Elektrokimia	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fuel Cell (FC) merupakan perangkat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik menggunakan reaksi elektrokimia. Salah satu jenis FC diantaranya *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). PEMFC adalah sel bahan bakar yang umum digunakan karena selama masa operasionalnya tidak menghasilkan polutan, melainkan air sebagai produk samping (Babatunde *et al.*, 2024). Katalis berbasis platinum (Pt) umum digunakan sebagai katalis pada elektroda PEMFC karena aktivitas katalitik *Oxygen Reduction Reaction* (ORR) yang unggul pada suhu rendah (Du *et al.*, 2024). Akan tetapi, Pt memiliki kekurangan dalam produksi bahan bakar akibat biaya yang mahal sehingga perlu dimodifikasi dengan bahan pendukung seperti grafena dengan tidak mengurangi kinerja katalis (Marinoiu *et al.*, 2023).

Bahan pendukung katalis berperan penting dalam meningkatkan kinerja elektrokatalitik, daya tahan dan efisiensi katalis katoda, terutama untuk difusi reaktan dan transportasi produk (Du *et al.*, 2024). *Graphene Oxide* (GO) sebagai turunan grafena unggul dalam konduktivitas dan luas permukaan spesifik yang tinggi menjadikan material ini sebagai solusi tepat untuk meningkatkan aktivitas katalitik. Akan tetapi, katalis Pt/GO masih menimbulkan permasalahan pada stabilitas kimianya karena GO mudah mengalami degradasi dalam kondisi PEMFC. Peningkatan kinerja katalis Pt/GO dapat dilakukan dengan penyisipan heteroatom berupa atom nitrogen. Atom nitrogen dianggap sebagai dopan paling cocok untuk GO karena ukuran atomnya yang kompatibel dengan atom karbon (Yokwana *et al.*, 2023).

Sintesis N-GO menggunakan urea sebagai prekursor nitrogen dilakukan oleh (Marinoiu *et al.*, 2023) dimana N-GO dengan rasio perbandingan 12:1 menghasilkan konsentrasi nitrogen tertinggi sebesar 3,89 wt%. Doping nitrogen yang tinggi meningkatkan jumlah dan ukuran pori sehingga memperbesar luas permukaan spesifik dan menyediakan lebih banyak situs aktif untuk reaksi katalitik. Akan tetapi, sintesis N-GO menggunakan metode hidrotermal memungkinkan aglomerasi GO dalam kondisi suhu dan tekanan yang tinggi sehingga dapat diatasi

dengan penambahan aditif berupa asam dan surfaktan (Santika dkk, 2023). Penggunaan asam format sebagai agen pereduksi pada sintesis N-GO dapat meningkatkan konduktivitas katalis (Li *et al.*, 2014). Surfaktan anionik berupa SDS dan surfaktan nonionik berupa triton dapat menjaga kestabilan dispersi GO serta mengontrol struktur pori dan distribusi partikel (Santika dkk, 2023).

Katalis Pt/NGO menggunakan ammonia sebagai prekursor nitrogen dilakukan pengujian elektrokimia berbasis *single cell* oleh (Du *et al.*, 2024) dimana nilai luas permukaan aktif elektrokimia dan aktivitas massa yang dihasilkan masing-masing sebesar 84,7 m²/g dan 0,45 A/mg. Namun, hingga saat ini masih belum terdapat penelitian yang secara khusus melakukan uji eletrokimia berbasis *half cell* pada katalis Pt/NGO menggunakan urea sebagai prekursor nitrogen. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat membandingkan performa elektrokimia katalis Pt/NGO menggunakan konsentrasi doping nitrogen yang berbeda dan mengetahui pengaruh penggunaan aditif pada N-GO untuk peningkatan aktivitas katalitik katoda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana keberhasilan sintesis katalis Pt/NGO yang dibuktikan dengan karakterisasi TGA dan XRD?
2. Bagaimana kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC dengan rasio N-GO 1:1 dan 12:1 menggunakan metode CV, LSV, dan kurva polarisasi?
3. Bagaimana pengaruh penambahan asam dan surfaktan pada N-GO terhadap kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis katalis Pt/NGO dan karakterisasi menggunakan metode TGA dan XRD.
2. Membandingkan kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC dengan rasio N-GO 1:1 dan 12:1 menggunakan metode CV, LSV, dan kurva polarisasi.

3. Mengetahui pengaruh penambahan asam dan surfaktan pada N-GO terhadap kinerja katalis Pt/NGO pada katoda PEMFC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mensintesis Pt/NGO menjadi katalis yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja katoda PEMFC.

DAFTAR PUSTAKA

- Babatunde, O. M., Akintayo, B. D., Emezirinwune, M. U., & Olanrewaju, O. A. (2024). Environmental Impact Assessment of a 1 kW Proton-Exchange Membrane Fuel Cell: A Mid-Point and End-Point Analysis. *Hydrogen*, 5: 352–373. <https://doi.org/10.3390/hydrogen5020020>.
- Bai, F., & and Tao, W. Q. (2022). Projection Diagram for Determining Polarization Curves under Variation of Activation Criterion Using Similarity Theory. *ACS Omega*, 7(49): 45556–45561. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06277>.
- Do, C. L., Pham, T. S., Nguyen, N. P., & Tran, V. Q. (2013). Properties of Pt/C Nanoparticle Catalysts Synthesized by Electroless Deposition for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(3): 1-5. <http://dx.doi.org/10.1088/2043-6262/4/3/035011>.
- Du, Z., Yu, F., Wang, J., Li, J., Wang, X., & Qian, A. (2024). Catalytic Effects of Graphene Structures on Pt/Graphene Catalysts. *RSC Advances*, 14(31): 22486-22496. <https://doi.org/10.1039/d4ra02841d>.
- Dwandaru, W. S. B., Parwati, L. D., & Wijaya, R. I. W. W. (2019). *Nanomaterial Graphene Oxide Sintesis dan Karakterisasinya*. Yogyakarta: UNY Press.
- Garraín, D., Lechón, Y., & Rúa, C. D. L. (2011). Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC) in Automotive Applications: Environmental Relevance of the Manufacturing Stage. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2: 68-74. <https://doi.org/10.4236/sgre.2011.22009>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2015.10.004>.
- Guo, Y., Pan, F., Chen, W., Ding, Z., Yang, D., Li, B., Ming, P., & Zhang, C. (2021). The Controllable Design of Catalyst Inks to Enhance PEMFC Performance: A Review. *Electrochemical Energy Reviews*, 4: 67–100. <https://doi.org/10.1007/s41918-020-00083-2>.
- Hermawan, H., Widodo, R. T., & Arief, Z. (2019). Data Akuisisi Foto Elektro Katalis Pada Sensor Chemical Oxygen Demand (COD) Berbasis TiO₂. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis*, 9(1): 18-29. <https://doi.org/10.35314/ip.v9i1.886>.
- Holder, C. F., & Schaak, R. E. (2019). Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *American Chemical Society Nano*, 13(7): 7359-7365. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b05157>.
- Jerkiewicz, G. (2022). Applicability of Platinum as a Counter-Electrode Material

- in Electrocatalysis Research. *American Chemical Society Catalysis*, 12(4): 2661-2670. <https://doi.org/10.1021/acscatal.1c06040>.
- Kayishaer, A., Magnenet, C., Pavel, I. A., Halima, H. B., Moutarlier, V., Lakard, B., Redon, N., Duc, C., & Lakard, S. (2024). Influence of Surfactant on Conductivity, Capacitance and Doping of Electrodeposited Polyaniline Films. *Frontiers in Materials*, 11: 1-17. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1358534>.
- Kharbanda, S., Dhanda, N., Sun, A. A., Thakur, A., & Thakur, P. (2023). Multiferroic Perovskite Bismuth Ferrite Nanostructures: A Review on Synthesis and Applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 572(3): 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.170569>.
- Kim, B. G., Lee, S., Jung, Y. K., Lee, J. U., Shin, S., Shin, T. H., & Choi, S. M. (2023). Highly Durable Platinum Catalysts on Nano-SiC Supports with an Epitaxial Graphene Nanosheet Layer Grown from Coffee Grounds for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *ACS Applied Energy Materials*, 6(8): 4103-4110. <https://doi.org/10.1021/acsaem.2c04073>.
- Kim, J. H., Lee, S. Y., Lee, H. J., Lee, H. I., Lim, D. H., Lee, Y. S., Kim, H. S., & Woo, S. H. (2025). Strategies for the Design and Synthesis of Pt-Based Nanostructured Electrocatalysts in Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs). *ACS Engineering Au*, 5(1): 1-9. <https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.4c00032>.
- Kim, R. H., Baek, C., Kim, E., Jeong, Y., & Cho, S. (2023). Potential Global Warming Impact of 1 kW Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell System for Residential Buildings on Operation Phase. *Energy for Sustainable Development*, 73: 376-386. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.03.001>.
- Kudelska, I. K., Dobrowolski, W., Arciszewska, M., Hadžic, B., Romcevic, N., Romcevic, M., Sibera, D., & Narkiewicz, U. (2023). Hydrothermal Synthesis and Magnetic Properties of Zn/Mn Oxides Nano Particles. *Magnetochemistry*, 9(6): 1-1. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9060139>.
- Lee, S. M., Lee, S. H., & Roh, J. S. (2021). Analysis of Activation Process of Carbon Black Based on Structural Parameters Obtained by XRD Analysis. *Crystals*, 11(2): 1-11. <https://doi.org/10.3390/cryst11020153>.
- Li, S. S., Lv, J. J., Teng, L. N., Wang, A. J., Chen, J. R., & Feng, J. J. (2014). Facile Synthesis of PdPt@Pt Nanorings Supported on Reduced Graphene Oxide with Enhanced Electrocatalytic Properties. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(13): 10549-10555. <https://doi.org/10.1021/am502148z>.
- Liao, K., Ren, Z., Fu, L., Peng, F., Jiang, L., Gu, W., Zhang, X., Bai, J., & He, Y. (2022). Effects of Surfactants on Dispersibility of Graphene Oxide Dispersion and Their Potential Application for Enhanced Oil Recovery.

- Journal of Petroleum Science and Engineering*, 213: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110372>.
- Marinoiu, A., Raceanu, M., Carcadea, E., & Varlam, M. (2023). Nitrogen-Doped Graphene Oxide as Efficient Metal-Free Electrocatalyst in PEM Fuel Cells. *Nanomaterials*, 13(1233): 1-23. <https://doi.org/10.3390/nano13071233>.
- McCoy, T. M., Armstrong, A. J., Moore, J. E., Holt, S. A., Tabor, R. F., & Routh, A. F. (2022). Spontaneous Surface Adsorption of Aqueous Graphene Oxide by Synergy with Surfactants. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 24(2): 797-806. <https://doi.org/10.1039/d1cp04317j>.
- Meirawaty, M., Nugraheni, R. D., & Riyandhani, C. P. (2020). *Mineralogi*. Purwokerto: Zahira Media Publisher.
- Meke, A. S., & Dincer, I. (2024). Development and Experimental Investigation of A New Direct Urea Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 88(2): 1123-1137. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.09.240>.
- Mirzaie, R. A., Yazdanshenas, R., Golikand, A. N., & Kheirmand, M. (2014). Single Walled Carbon Nanotube in The Reaction Layer for Oxygen Reduction Reaction in Gas Diffusion Electrodes. *Iranian Journal of Hydrogen & Fuel Cell*, 1(2): 75-82. <http://dx.doi.org/10.22104/ijhfc.2014.55>.
- Mukherjee, P., Das, S. K., Sutar, S. D., Swami, A., & Sahu, A. K. (2025). Triton X-100-Mediated One-Pot Solution Phase Synthesis of AuPtCo/C Nanoparticles with Enhanced Oxygen Reduction Performance in Fuel Cells. *International Journal of Ionics*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11581-024-05915-5>.
- Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Rayung, M., Norrrahim, M. N. F., Shazleen, S. S., Rani, M. S. A., Shafi, A. R., Aisyah, H. A., Radzi, M. H. M., Sabaruddin, F.A., Ilyas, R. A., Zainudin, E. S., & Abdan, K. (2021). Thermogravimetric Analysis Properties of Cellulosic Natural Fiber Polymer Composites: A Review on Influence of Chemical Treatments. *Polymers*, 13(16): 1-33. <https://doi.org/10.3390/polym13162710>.
- Puliyasseri, R., Haribabu, J., Tagle, R. R., & Sastikumar, D. (2024). Synthesis of Nitrogen-Doped Graphene Oxide by Nanosecond Pulsed Laser Ablation of Graphene in Liquid for Bioimaging Applications. *Diamond and Related Materials*, 143: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2024.110909>.
- Putri, N. A., & Supardi, Z. A. I. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide (GO) dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2): 47-55. <https://doi.org/10.26740/ifi.v12n2.p47-55>.
- Ramasamy, P., Muruganantham, B., Rajasekaran, S., Babu, B. D., Ramkumar, R., Marthanda, A. V. A., & Mohan, S. (2024). A Comprehensive Review on Different Types of Fuel Cell and Its Applications. *Bulletin of Electrical*

- Engineering and Informatics*, 13(2): 774-780.
<https://doi.org/10.11591/eei.v13i2.6348>.
- Ramirez, M. A., Jimenez, H. S., Banat, I. M., & Rienzo, M. A. D. D. (2021). Surfactants: Physicochemical Interactions with Biological Macromolecules. *Biotechnology Letters*, 43(3): 523-535. <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03054-1>.
- Santika, R., Astuti, & Usna, R. S. A. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Berbahan Dasar Limbah Bulu Ayam dengan Metode Liquid Phase Exfoliation. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2): 228-234. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.228-234.2023>.
- Saputry, A. P., Lestariningsih, T., & Astuti, Y. (2019). Pengaruh Rasio LiBOB:TiO₂ dari Lembaran Polimer Elektrolit Sebagai Pemisah Terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(4): 136-142. <https://doi.org/10.14710/jksa.22.4.136-142>.
- Sargam, Y., Wang, K., Tsyrenova, A., Liu, F., & Jiang, S. (2021). Effects of Anionic and Nonionic Surfactants on the Dispersion and Stability of NanoSiO₂ in Aqueous and Cement Pore Solutions. *Cement and Concrete Research*, 144: 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106417>.
- Schmitt, N., Schmidt, M., Hübner, G., & Etzold, B. J. M. (2022). Oxygen Reduction Reaction Measurements on Platinum Electrocatalysts in Gas Diffusion Electrode Half-Cells: Influence of Electrode Preparation, Measurement Protocols and Common Pitfalls. *Journal of Power Sources*, 539: 1-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231530>.
- Simamora, R. A. M., Setyadi, J. P., Pravitasari, R. D., Arjasa, O. P, Damisih, D., Hapsari, A. U., Raharjo, J., Indayaningsih, N., Subhan, A., Budiman, A. H., Arie, A. A., & Fidiani, E. (2024). Pt Nanowire Arrays on Graphene-Integrated Cathode Gas Diffusion Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Applied Energy Materials*, 8(1): 286-297. <https://doi.org/10.1021/acsaem.4c02341>.
- Singh, C., Mishra, A. K., & Paul, A. (2015). Highly Conducting Reduced Graphene Synthesis Via Low Temperature Chemically Assisted Exfoliation and Energy Storage Application. *Journal of Material Chemistry A*, 36: 18557-18563. <http://dx.doi.org/10.1039/c5ta04655f>.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrosi, M. R., & Baharintasari, D. R. (2020). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2): 58-62. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.154>.
- Wen, S., Bao, G., & Jin, D. (2023). Advanced optical properties of upconversion nanoparticles. *Encyclopedia of Nanomaterials*, 1: 613-648. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822425-0.00084-1>.
- Xie, L., Su, F., Xie, L., Guo, X., Wang, Z., Kong, Q., Sun, G., Ahmad, A., Li, X.,

- Yi, Z., & Chen, C. (2020). Effect of Pore Structure and Doping Species on Charge Storage Mechanisms in Porous Carbon-Based Supercapacitors. *Materials Chemistry Frontiers*, 4(9): 2610-2634. <https://doi.org/10.1039/d0qm00180e>.
- Xie, M., Chu, T., Wang, T., Wan, K., Yang, D., Li, B., Ming, P., & Zhang, C. (2021). Preparation, Performance and Challenges of Catalyst Layer for Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Membranes*, 11(879): 1-33. <https://doi.org/10.3390/membranes11110879>.
- Yang, G., Lee, C. H., Qiao, X. X., Babu, S. K., Martinez¹, U., & Spendelow, J. S. (2024). Advanced Electrode Structures for Proton Exchange Membrane Fuel Cells: Current Status and Path Forward. *Electrochemical Energy Reviews*, 7(9): 1-46. <https://doi.org/10.1007/s41918-023-00208-3>.
- Yokwana, K., Ntsendwana, B., Nxumalo, E. N., & Mhlanga, S. D. (2023). Recent Advances in Nitrogen-Doped Graphene Oxide Nanomaterials: Synthesis and Applications in Energy Storage, Sensor Electrochemical Applications and Water Treatment. *Journal of Materials Research*, 38(13): 3239-3263. <https://doi.org/10.1557/s43578-023-01070-1>.
- Yutomo, E. B., Noor, F. A., & Winata, T. (2021). Effect of the Number of Nitrogen Dopants on the Electronic and Magnetic Properties of Graphitic and Pyridinic N-Doped Graphene—a Density-Functional Study, Sensor Electrochemical Applications and Water Treatment. *RSC Advances*, 11(30): 18371–18380. <https://doi.org/10.1039/d1ra01095f>.
- Zamel, N., Rauschenbach, R. H., Kirsch, S., Bhattarai, A., & Gerteisen, D. (2013). Relating The N-Shaped Polarization Curve of A PEM Fuel Cell to Local Oxygen Starvation and Hydrogen Evolution. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(35): 15318-15327. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.09.130>.
- Zhang, X., Li, H., Yang, J., Lei, Y., Wang, C., Wang, J., Tang, P., & Mao, Z. (2021). Recent Advances in Pt-Based Electrocatalysts for PEMFCs. *RSC Advances*, 11(22): 13316–13328. <https://doi.org/10.1039/d0ra05468b>.
- Zheng, W. (2023). iR Compensation for Electrocatalysis Studies: Considerations and Recommendations. *ACS Energy Letters*, 8(4): 1952–1958. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.3c00366>.