



© 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



PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI AL5052
MENGUNAKAN PELAPISAN TERINTEGRASI AAO/NI-P
PADA PERMUKAAN PELAT BIPOLAR PEMFC

TESIS

MOCHAMMAD TENDI NOER RAMADHAN
2309521010

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN
REKAYASA TEKNOLOGI MANUFAKTUR
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025



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



PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI AL5052 DAN
MENGUNAKAN PELAPISAN TERINTEGRASI AAO/NI-P
PADA PERMUKAAN PELAT BIPOLAR PEMFC

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
Mencapai derajat Magister Terapan dalam Bidang
Rekayasa Teknologi dan Sistem Manufaktur

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA
MOCHAMMAD TENDI NOER RAMADHAN
2309521010

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN
REKAYASA TEKNOLOGI MANUFAKTUR
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025



HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 18 Juli 2025

Mochammad Tendi Noer Ramadhan
2309521010

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



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mochammad Tendi Noer Ramadhan

NIM : 2309521010

Tanda Tangan :

Tanggal : 18 Juli 2025

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



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Mochammad Tendi Noer Ramadhan

NIM : 2309521010

Program Studi : Rekayasa Teknologi Manufaktur

Judul : Peningkatan Ketahanan Korosi Al5052 Melalui Pelapisan Terintegrasi AAO/Ni-P Pada Permukaan Pelat Bipolar PEMFC

telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Jumat tanggal 18 bulan Juli tahun 2025 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.

Pembimbing I : Iwan Susanto, S.T., M.T., Ph.D.

()

Pembimbing II : Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T.

()

Penguji I : Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng(Hons).

()

Penguji II : Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T.

()

Penguji III : Dr. Dewin Purnama, S.T., M.T.

()

Depok, 18 Juli 2025

Disahkan oleh
Ketua Program Pascasarjana
Politeknik Negeri Jakarta



Dr. Isdawimah, S.T., M.T.
NIP. 196305051988112001

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 serta syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya, sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, kerabat, sahabat, serta para pengikutnya, sehingga Tesis yang berjudul “Peningkatan Ketahanan Korosi Al5052 Menggunakan Pelapisan Terintegrasi AAO/Ni-P Pada Permukaan Pelat Bipolar PEMFC” dapat terselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur (MTRTM), Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta.

Tesis ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu peneliti ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Ibu Dr. Isdawimah, S.T., M.T. selaku Ketua Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta yang telah mengesahkan Tesis ini serta memberikan dukungan penuh kepada seluruh mahasiswa Pascasarjana untuk menjalankan studi magister dengan baik.
2. Ibu Dr. Tatun Hayatun Nufus, selaku Kepala Prodi MTRTM yang telah memberikan dukungan secara intensif, serta perhatiannya kepada seluruh mahasiswa Pascasarjana untuk menjalankan studi magister dengan baik.
3. Bapak Iwan Susanto S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, dukungan penuh baik bentuk materi mauaoun non-materi dalam penyelesaian Tesis, serta tidak lupa atas nasehat dan doanya yang memudahkan dan melancarkan saya mengerjakan Tesis.
4. Ibu Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan berupa materi dan non-materi dalam pelaksanaan Tesis, serta tidak henti-hentinya untuk terus mengingatkan membaca jurnal Internasional.
1. Bapak Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng(Hons)., Bapak Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. serta Bapak Dr. Dewin Purnama, S.T., M.T. selaku dewan penguji yang telah memberikan kritikan dan masukan yang membangun untuk penelitian dan peneliti sehingga tesis ini semakin baik.

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan penuh khususnya semangat dan motivasi untuk menjadi pribadi yang bermanfaat dan bermartabat kepada peneliti sehingga ini dapat menyelesaikan studi program pascasarjana ini dengan baik.
3. Bapak Laboran, Pak Seto, Pak Fendro, Pak Bayu, Pak Mahar, Rekan seangkatan, teman-teman, serta orang-orang baik semua yang senantiasa telah membantu dan saling mengingatkan dalam menyelesaikan studi, tugas, dan proses penyelesaian Tesis ini.

Peneliti berharap semoga Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak, masyarakat, bangsa dan negara Indonesia tercinta, terutama pada Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur (MTRTM), Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta.

Depok, 18 Juli 2025

Mochammad Tendi Noer Ramadhan
2309521010

**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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochammad Tendi Noer Ramadhan
NIM : 2309521010
Program Studi : Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Peningkatan Ketahanan Korosi Al5052 Melalui Pelapisan Terintegrasi AAO/Ni-P Pada Permukaan Pelat Bipolar PEMFC

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan)*. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 18 Juli 2025
Yang menyatakan

Mochammad Tendi Noer Ramadhan
2309521010



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

ABSTRAK

Mochammad Tendi Noer Ramadhan,
Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta

Peningkatan Ketahanan Korosi Al5052 Menggunakan Pelapisan Terintegrasi AAO/Ni-P Pada Permukaan Pelat Bipolar PEMFC

Teknologi *Proton Exchange Membrane Fuel cells* (PEMFC) menarik perhatian publik karena menawarkan kepadatan daya tinggi, temperatur operasi yang relatif rendah (60-80°C) dan tahan lama. Pelat bipolar merupakan tulang punggung dari PEMFC menempati 70-80% dari berat dan 35-45% dari total biaya tumpukan. Paduan Al5052 sangat ideal untuk pelat bipolar logam di Indonesia karena memiliki kekuatan mekanis dan konduktivitas listrik yang lebih tinggi, biaya produksi lebih rendah, serta bobot lebih ringan dibandingkan grafit. Namun, pelat bipolar Al5052 harus dimodifikasi untuk meningkatkan ketahanan korosi di lingkungan agresif asam PEMFC. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan ketahanan korosi melalui lapisan terintegrasi AAO/Ni-P pada pelat bipolar Al5052 dan mendapatkan konsentrasi elektrolit anodisasi yang optimum. Metode dalam penelitian ini mencakup proses anodisasi Al5052 dengan variasi konsentrasi asam fosfat yaitu 200, 300, dan 400 (g/L), lalu deposisi Ni-P dengan metode elektroplating. Hasil Uji SEM-EDS menunjukan semua sampel berhasil terlapisi dengan baik dengan morfologi permukaan lapisan dan komposisi lapisan 100% Ni. Diperkuat dengan hasil uji polarisasi potentiodynamik dan EIS yang menunjukkan pelapisan Ni-P menghasilkan ketahanan korosi pelat bipolar yang lebih baik dari pada bare Al5052.

Kata Kunci: PEMFC, Ni-P, pelat bipolar, Al5052, ketahanan korosi



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

ABSTRACT

Mochammad Tendi Noer Ramadhan,
Applied Master's Program in Manufacturing Engineering
Postgraduate Program, Jakarta State Polytechnic

**Corrosion Resistance Enhancement of Al5052 through Integrated AAO/Ni-P
Coating on PEMFC Bipolar Plate Surfaces**

Proton Exchange Membrane Fuel cells (PEMFC) technology has attracted public attention because it offers high power density, relatively low operating temperature (60-80°C) and long durability. The bipolar plate is the backbone of PEMFC occupying 70-80% of the weight and 35-45% of the total stack cost. Al5052 alloy is ideal for metal bipolar plates in Indonesia because it has higher mechanical strength and electrical conductivity, lower production costs, and lighter weight compared to graphite. However, Al5052 bipolar plates must be modified to improve corrosion resistance in the aggressive acidic environment of PEMFC. The purpose of this study is to improve corrosion resistance through an integrated layer of AAO/Ni-P on Al5052 bipolar plates and to obtain the optimum anodisasi electrolyte concentration. The method in this study includes the anodisasi process of Al5052 with various phosphoric acid concentrations of 200, 300, and 400 (g/L), then Ni-P deposition by electroplating method. SEM-EDS test results showed that all samples were successfully coated with a 100% Ni coating, with a surface morphology and coating composition. This was further supported by potentiodynamic polarization and EIS test results, which showed that the Ni-P coating provided superior corrosion resistance to the bipolar plate compared to bare Al5052.

Keywords: PEMFC, Ni-P, bipolar plate, Al5052, corrosion resistance



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
HALAMAN SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Manfaat Teoritis	4
1.5.2 Manfaat Praktis	5
1.6 Sistematika Penyajian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Teoritis	6
2.1.1 Pelat Bipolar Grafit	6
2.1.2 Pelat Bipolar Al5052	7
2.1.3 Modifikasi Permukaan Pelat Bipolar Al	8
2.1.4 Modifikasi Permukaan Pelat Bipolar Al melalui Pembentukan Lapisan Nikel (Ni)	9
2.2 Kajian Penelitian Terdahulu	10
2.2.1 <i>State of The Art</i>	10
2.2.2 Research Gap	13
BAB III METODOLOGI	14
3.1 Ancangan/Pendekatan Penelitian	14
3.2 Perancangan dan Cara Kerja	14
3.2.1 Alat dan Bahan	14
3.2.2 Variabel Penelitian	14
3.2.3 Cara Kerja Penelitian	16

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



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

3.3	Teknik Pengujian	18
3.3.1	Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	18
3.3.2	Pengujian <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	19
3.3.3	Pengujian <i>Image-J</i>	19
3.3.4	Pengujian Polarisasi	20
3.3.5	Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	20
3.4	Metode dan Teknik Analisis Data.....	21
3.5	Metode dan Teknik Penyajian Hasil	21
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....		22
4.1	Hasil Deposisi Ni-P.....	22
4.2	Hasil Pengujian SEM dan EDS	22
4.3	Hasil <i>Image-J</i>	28
4.4	Hasil Polarisasi.....	32
4.5	Hasil EIS.....	35
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		37
5.1	Simpulan	37
5.2	Saran	37
REFERENSI		38
LAMPIRAN.....		45

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Kontrol Anodisasi	15
Tabel 3. 2 Parameter Kontrol Elektroplating.....	15
Tabel 3. 3 Parameter Elektrokimia dari Kurva Polarisasi (bare Al5052) dan Komposit AAO/Ni-P dengan variasi konsentrasi asam fosfat.	32
Tabel 4. 1 Kandungan Unsur pada 200, 300, dan 400 g/L	26
Tabel 4. 2 Hasil Image-J pada 3 sampel Plat Al5052 yang telah dilapisi Ni-P.....	28
Tabel 4. 3 Hasil Luas Permukaan dan Diameter Rata-Rata.....	28

**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 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	16
Gambar 4. 1 Sampel Hasil Deposisi Ni-P	22
Gambar 4. 2 Hasil SEM pada Asam Fosfat 200, 300, dan 400 g/L	23
Gambar 4. 3 Hasil EDS pada Asam Fosfat 200 (a), 300 g/L (b), dan 400 g/L (c)	26
Gambar 4. 4 Grafik Tufel Polarisasi.....	32
Gambar 4. 5 Grafik EIS Plot Nyquist.....	35





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 Penelitian	45
--	----





HALAMAN SIMBOL DAN SINGKATAN

PEMFC	: Proton Exchange Membrane <i>Fuel cell</i>
AAO	: <i>Anodic Al Oxide</i>
Ni-P	: <i>Nichel-Phospor</i>
Ecorr	: Potensial Korosi
Icorr	: Rapat Arus Korosi
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
EDS	: <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
EIS	: <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>

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



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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan permintaan global mengenai energi yang bersih dan ramah lingkungan, menjadikan *fuel cell* memiliki prospek aplikasi yang semakin luas di bidang transportasi, militer, dan catu daya portabel[1][2][3][4]. *Fuel cell* merupakan teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik secara bersih dan ramah lingkungan dengan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air, panas, dan energi listrik[5]. Saat ini, *fuel cell* menjadi solusi yang sangat tepat untuk mengatasi permasalahan terkait ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, emisi gas rumah kaca, serta perubahan iklim[6][7].

Proton Exchange Membrane Fuel cell (PEMFC) merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang paling populer dan banyak digunakan pada aplikasi kendaraan dan industri[8][9][10]. Fenomena ini terjadi karena PEMFC menawarkan kepadatan daya tinggi ($0,5-0,7 \text{ W/cm}^2$), temperatur operasi yang relatif rendah ($60-80^\circ\text{C}$), *start up* cepat dan singkat, serta tahan lama (durasi *lifetime* panjang) [11][12]. Target *lifetime* PEMFC pada aplikatif otomotif yang ditetapkan adalah daya tahan 5.000 jam atau setara menempuh jarak 240.000 km [12].

Tulang punggung dalam sistem PEMFC adalah pelat bipolar[13]. Pelat ini mengisolasi sel individual, mengalirkan arus antar sel, memfasilitasi pengelolaan air dan panas melalui sel, menyediakan saluran untuk gas reaktan, dan memfasilitasi penghilangan produk reaksi. Selain itu, pelat bipolar menempati 70-80% dari berat dan 35-45% dari total biaya tumpukan PEMFC[14][15][16][17].

Pelat Bipolar umumnya terbuat dari bahan material grafit. Grafit adalah material yang saat ini paling banyak digunakan sebagai pelat bipolar karena memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi, resistansi kontak antarmuka rendah, stabilitas kimia tinggi, serta konduktivitas termal tinggi[18][19]. Namun, material ini memiliki kelemahan yaitu

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

bobot yang berat, biaya produksi yang mahal, porositas dan bersifat getas atau rapuh. Hal ini tidak cocok untuk diaplikasikan sebagai perangkat mesin otomotif yang terus menerus mengalami guncangan dan getaran saat digunakan[20]. Sehingga diperlukan alternatif bahan material lain yang lebih baik dari grafit, yaitu material logam.

Penggunaan material logam sebagai pelat bipolar saat ini sedang mendapatkan perhatian yang tinggi. Material logam menawarkan kekuatan mekanis yang lebih baik, konduktivitas listrik yang lebih tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah serta bobot yang lebih ringan dibandingkan grafit[21][22]. Salah satu material logam yang dapat digunakan adalah Al. Paduan Al merupakan alternatif praktis untuk material pelat bipolar logam di Indonesia karena tersedia dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan stainless steel dan paduan titanium[23].

Hal ini diperkuat dengan adanya dorongan dari Kementerian Perindustrian RI, dengan menargetkan produksi Al nasional sebanyak 1,5-2 juta ton pada tahun 2025[24]. Al sebagai pelat bipolar dapat mereduksi berat *fuel cell* sebesar 65% dibandingkan dengan pelat bipolar baja nirkarat[25][26]. Selain itu, Al tanpa oksida dapat memenuhi seluruh target pelat bipolar DOE (Departemen Energi Amerika Serikat) kecuali ketahanan korosi[27]. Namun, lingkungan internal PEMFC yang asam dan lembap, pH rendah sekitar 1-3, dan potensi elektrokimia yang tinggi di katoda sangat korosif bagi Al. Secara alami Al membentuk lapisan oksida pasif di udara yang sebenarnya melindungi logam dari korosi lebih lanjut, namun lapisan oksida ini tidak stabil dan dapat larut, menyebabkan korosi yang signifikan. Mempertimbangkan lingkungan agresif asam PEMFC, Al harus dimodifikasi untuk meningkatkan ketahanan korosi.

Pelapisan Al dengan Ni merupakan modifikasi yang cocok, karena menghasilkan ketebalan lapisan yang homogen, konduktivitas listrik tinggi, ketahanan korosi tinggi, serta *scalable* secara industri[28]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pelapisan Al dengan Ni sangat

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

cocok untuk diaplikasikan pada pelat bipolar PEMFC karena mampu meningkatkan ketahanan korosi[29][16].

Di sisi lain, akhir-akhir ini lapisan *anodic aluminum oxide* (AAO) telah menarik perhatian yang signifikan pada bidang nanoteknologi. Fenomena ini terkait struktur pori AAO berukuran nano yang terbentuk secara alami dan tersusun rapat ketika Al dilakukan proses anodisasi dalam larutan asam[30][31]. Lapisan AAO nanoporous ini memberikan daya lekat yang kuat karena struktur antarmuka oksida/pelapis yang unik, serta memegang peranan penting dalam desain lapisan ternary[32][33].

Namun di lingkungan asam PEMFC, lapisan oksida pada AAO tidak stabil dan dapat larut, menyebabkan korosi yang signifikan. Jika Al terkorosi atau membentuk lapisan oksida yang tidak konduktif, ini akan sangat meningkatkan ketahanan korosi pelat bipolar. Sehingga dibutuhkan pengembangan lapisan pelindung, sejauh ini belum ada penelitian terkait deposisi Ni-P pada AAO hasil anodisasi untuk aplikasi pelat bipolar Al5052 PEMFC. Proses anodisasi sebelum deposisi Ni-P bertujuan menghasilkan struktur pori AAO pada permukaan Al5052 yang sangat diperlukan untuk meningkatkan daya adhesi dengan Ni-P. Hal tersebut terjadi akibat adanya ikatan *interlock* antara lapisan pori AAO dan lapisan Ni-P. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan pelat bipolar Al5052 melalui pembentukan lapisan komposit AAO/Ni-P.

Inovasi penelitian ini adalah pembentukan lapisan terintegrasi AAO/Ni-P pada permukaan pelat bipolar Al5052 secara anodisasi-elektroplating untuk meningkatkan ketahanan korosi. Sedangkan, urgensi penelitian ini adalah kontribusi dalam pemanfaatan energi baru terbarukan untuk sistem transportasi nasional, sesuai dengan Rencana Induk Riset Nasional dan Prioritas Riset Nasional tahun 2020-2024.

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

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana meningkatkan daya tahan korosi Al5052 pelat bipolar PEMFC melalui pelapisan terintegrasi AAO/Ni-P?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Asam Fosfat (200g/L, 300g/L, dan 400g/L) terhadap lapisan komposit AAO/Ni-P?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Meningkatkan daya tahan korosi Al5052 pelat bipolar PEMFC melalui pelapisan terintegrasi komposit AAO/Ni-P.
2. Menentukan konsentrasi elektrolit Asam Fosfat optimum berdasarkan ketahanan korosi terbaik dari variasi 200g/L, 300g/L, dan 400g/L yang ditunjukkan melalui uji polarisasi dan EIS pada pelapisan terintegrasi komposit AAO/Ni-P.

1.4 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini dibatasi pelat bipolar berbahan Al5052.
2. Penelitian ini dibatasi pada pelapisan terintegrasi AAO/Ni-P.
3. Penelitian ini dibatasi pada pengaruh variasi konsentrasi Asam Fosfat (200g/L, 300g/L, 400g/L) sebagai variabel elektrolit anodisasi.
4. Penelitian ini dibatasi mengetahui peningkatan ketahanan korosi dari hasil pengujian Polarisasi dan EIS dan hanya pada sampel akhir hasil pelapisan elektroplating Ni-P.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan awal untuk memahami peningkatan ketahanan korosi Al5052 dan konsentrasi terbaik pada perkembangan teknologi pelapisan pelat bipolar PEMFC.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pemahaman tentang karakterisasi lapisan pelindung korosi melalui berbagai pengujian pada komposit AAO/Ni-P pelat bipolar PEMFC.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur ilmiah tentang teknik pelapisan terintegrasi AAO/Ni-P.

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

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Penelitian diharapkan dapat memberikan solusi praktis dalam meningkatkan ketahanan korosi Al5052 pleat bipolar PEMFC.
2. Penelitian diharapkan dapat diaplikasikan dalam industri manufaktur pengembangan teknologi, material, dan teknik pelapisan yang lebih baik pada pelapisan pelat bipolar PEMFC yang lebih tahan lama dan efisien.
3. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam upaya pengembangan energi baru terbarukan, bersih, dan ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penyajian

1. BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian baik secara teoritis maupun praktis dari penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan mengenai kajian teoritis dan kajian penelitian terdahulu.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai ruang lingkup penelitian, rancangan penelitian, perancangan dan cara kerja, pengujian, teknik analisis data, dan teknik penyajian data.

4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil penelitian dan pembahasan secara komprehensif dari hasil percobaan dan pengujian yang didapatkan.

5. BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Memaparkan sebuah simpulan yang berisi ringkasan hasil penelitian dan jawaban atas rumusan masalah. serta saran untuk penelitian selanjutnya.

6. BAGIAN AKHIR

Memaparkan daftar pustaka yang berisi daftar sumber-sumber yang digunakan dalam penelitian, serta memaparkan lampiran yang berisi data-data pendukung.

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 SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Pelapisan pelat bipolar Al5052 melalui pembentukan lapisan komposit AAO/Ni-P berhasil terlapisi Ni dibuktikan dengan semua hasil Uji khususnya pada Uji EDS yang menunjukkan komposisi Ni 100%
2. Ketahanan korosi pada Al5052 berhasil meningkat yang dibuktikan pada sampel 300g/L hasil uji polarisasi nilai Ecoor dari Bare Al sebesar -275 mV mengarah ke arah positif menjadi -175 mV dan nilai Icorr dari 50,7 μ A turun menjadi 17,9 μ A sehingga menunjukkan daya tahan korosi pelat bipolar Al5052 meningkat.
3. Konsentrasi Asam 200g/L merupakan konsentrasi yang paling optimal yang dibuktikan pada uji EIS menunjukkan semi-lingkaran terbesar dengan diameter sekitar 800 Ohm yang menandakan tingkat kualitas ketahanan korosi terbaik.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian lebih lanjut ialah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan karakterisasi yang lebih mendalam terhadap struktur mikro dan komposisi lapisan AAO dan Ni-P, misalnya dengan SEM-EDX atau XRD, untuk memahami hubungan antara parameter proses dan sifat-sifat lapisan secara lebih komprehensif.
2. Studi tentang stabilitas jangka panjang dan durabilitas lapisan AAO/Ni-P dalam lingkungan operasional PEMFC yang sebenarnya.