



**ANALISIS KINERJA *FUEL CELL* DENGAN
MENGUNAKAN METODE PEMBEBANAN DINAMIS**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

STEVEN YUDA SIAHAAN

41421120066

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2023



**ANALISIS KINERJA *FUEL CELL* DENGAN
MENGUNAKAN METODE PEMBEBANAN DINAMIS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

NAMA : STEVEN YUDA SIAHAAN

NIM : 41421120066

PEMBIMBING : TRIYANTO PANGARIBOWO, ST., MT.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Steven Yuda Siahaan
NIM : 41421120066
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Kinerja *Fuel Cell* dengan Menggunakan Metode
Pembebanan Dinamis

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana

Disahkan oleh:



Tanda Tangan

Pembimbing : Triyanto Pangaribowo, ST., MT
NIDN/NIDK/NIK : 0308097802

Ketua Penguji : Elisa Agustina, ST, MT
NIDN/NIDK/NIK : 0324088201

Anggota Penguji : Lukman M. Silalahi, A.Md., S.T., M.T
NIDN/NIDK/NIK : 0309059003

Jakarta, 24 Juli 2023

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Kaprodi S1 Teknik Elektro

Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.
NIDN: 0307037202

Dr. Eng. Heru Suwoyo, ST. M.Sc
NIDN: 0314089201

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Steven Yuda Siahaan
N.I.M : 41421120066
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja *Fuel Cell* dengan Menggunakan Metode Pembebanan Dinamis

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Tugas Akhir saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 24 Juli 2023



Steven Yuda Siahaan

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan kasih serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Kinerja *Fuel Cell* dengan Menggunakan Metode Pembebanan Dinamis”.

Dalam proses penyelesaian tugas akhir dan penyusunan laporan ini penulis telah banyak memperoleh dorongan dan bantuan, bimbingan, sumbangan ide, doa, dan saran dari berbagai pihak. Karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta yaitu Bang Kevin Geran Siahaan, Bang Macho Revelino Siahaan dan Kak Theresa Siahaan yang selalu mendoakan dan memberi semangat dan dukungan baik moril maupun materil dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercubuana.
3. Ibu Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Dr. Eng. Heru Suwoyo, ST, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Triyanto Pangaribowo, ST.,MT selaku dosen pembimbing tentunya yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak Muhammad Hafizd Ibnu Hajar, ST,.M.Sc selaku Sekretaris Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Mercubuana.
7. Seluruh Tenaga Pengajar dan Staf Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.
8. Selanjutnya kepada teman-teman mahasiswa karyawan angkatan 40 lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu namanya.

Karena kebaikan semua pihak yang telah disebutkan, maka penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu dan sebaik-baiknya. Penulis sadar bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan ilmu penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangatlah dibutuhkan demi sempurnanya laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis dan pembacanya.

Jakarta, Senin 24 Juli 2023



Steven Yuda Siahaan



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Literatur Review.....	6
2.2 Pengertian <i>Fuel cell</i>	8
2.3 Jenis <i>Fuel cell</i>	8
2.3.1 <i>Proton Exchange Membrane fuel cell</i> (PEMFC).....	9
2.3.2 <i>Alkaline fuel cell</i> (AFC).....	12
2.3.3 <i>Phosporic Acid fuel cell</i> (PAFC)	13
2.3.4 <i>Solid Oxide fuel cell</i> (AFC).....	14
2.3.5 <i>Molten Carbonate fuel cell</i> (MCFC).....	15
2.3.6 <i>Direct Methanol fuel cell</i> (DMFC)	16
2.3.7 <i>Zinc Air fuel cell</i> (ZAFC).....	17
2.3.8 <i>Protonic Ceramic Fuel cell</i> (PCFC)	18
2.3.9 <i>Biological fuel cell</i> (BFC).....	19
2.4 Komponen Utama Penyusun <i>Fuel cell</i>	20
2.5 Karakteristik Performa <i>Fuel cell</i>	21

2.6	Prinsip Kerja <i>Proton Exchange Membrane Fuel cell</i>	22
2.7	Pemodelan Matematika PEMFC.....	23
2.7.1	Tegangan Keluaran PEMFC	23
2.7.2	Persamaan Nerst.....	24
2.7.3	<i>Activation Losses</i> (Rugi Aktivasi).....	25
2.7.4	<i>Ohmic Losses</i> (Rugi <i>Ohmic</i>)	26
2.7.5	<i>Consentration Losses</i> (Rugi Konsentrasi).....	26
2.8	MATLAB.....	28
2.8.1	Pengenalan Program Aplikasi MATLAB	28
2.8.2	Aplikasi MATLAB SIMULINK.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Alat dan Bahan.....	30
3.3	Asumsi Rancangan Simulasi.....	32
3.4	Perancangan Simulasi Sistem PEMFC <i>Open Cathode Voltage</i>	32
3.5	Cara Analisis.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Analisis Karakteristik PEM <i>Fuel cell Open Cathode Voltage</i>	36
4.2	Analisis Karakteristik Tegangan dan Arus Hasil Simulasi	37
4.3	Analisis Karakteristik Kurva Antara Daya dan Arus Hasil Simulasi.....	38
4.4	Analisis Karakteristik Power vs Konsumsi Hidrogen.....	39
4.5	Analisis Perbandingan Simulasi dan Model Horizon	40
4.6	Analisis Respon Time <i>Fuel cell</i>	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1.	Kesimpulan	43
5.2.	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		xii
LAMPIRAN		xvi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penampang Tunggal PEMFC (Mehnatkesh et al., 2020).....	10
Gambar 2. 2 Rangkaian Ekivalen PEMFC (Wang et al., 2022)	11
Gambar 2. 3 Skema Alkaline Fuel Cell (Ferriday & Middleton, 2021)	12
Gambar 2. 4 Skema PAFC (Spiegel, 2007)	13
Gambar 2. 5 Skema Diagram SOFC (Spiegel, 2007)	15
Gambar 2. 6 Skema Diagram MCFC (Spiegel, 2007)	16
Gambar 2. 7 Skema Diagram DMFC (Spiegel, 2007).....	17
Gambar 2. 8 Skema Diagram ZAFC (Spiegel, 2007).....	18
Gambar 2. 9 Skema Diagram PCFC (Spiegel, 2007).....	19
Gambar 2. 10 Skema BFC (Spiegel, 2007).....	20
Gambar 2. 11 Kurva Polarisasi (Spiegel, n.d.).....	22
Gambar 2. 12 Prinsip Kerja Hidrogen Fuel cell (Alabi et al., 2023)	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 3 Perancangan Model PEMFC.....	34
Gambar 4. 1 Karakteristik PEM Fuel cell OCV.....	36
Gambar 4. 2 Karakteristik Kurva Tegangan vs Arus.....	37
Gambar 4. 3 Karakteristik Hubungan Daya dan Arus	38
Gambar 4. 4 Karakteristik Daya vs Konsumsi Hidrogen.....	39
Gambar 4. 5 Perbandingan Tegangan Output Hasil Simulasi dan Model Horizon	41
Gambar 4. 6 Perbandingan Daya Output Simulasi dan Model Horizon	41
Gambar 4. 7 Respon Tegangan Output Fuel cell	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis <i>Fuel cell</i>	9
Tabel 2. 2 Keunggulan dan Kelemahan PEMFC	12
Tabel 3. 1 Parameter Umum PEMFC 3kW	30
Tabel 3. 2 Parameter Fuel cell Horizon 3000W.....	31
Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Model Horizon.....	40



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
A	Luas area <i>fuel cell</i> yang aktif (cm^2)
V_{FC}	Tegangan output <i>fuel cell</i> (V)
N_{Cell}	Jumlah <i>fuel cell</i>
E_{Nernst}	Tegangan Nerst (V)
V_{Act}	Tegangan aktivasi (V)
V_{Ohmic}	Tegangan ohmic (V)
V_{Con}	Tegangan konsentrasi (V)
E_0	Tegangan ideal (V)
R	Konstanta gas universal (J/mol K)
T	Suhu (K)
F	Konstanta Faraday (C/mol)
O_2	Oksigen
H_2	Hidrogen
P_{H_2}	Tekanan parsial gas hidrogen (atm)
P_{O_2}	Tekanan parsial gas oksigen (atm)
Ψ	Kandungan membran air
K_{H_2}	Konstanta molar katup hidrogen (kmol/s atm)
K_{O_2}	Konstanta molar katup oksigen (kmol/s atm)
τ_{H_2}	Konstanta waktu hidrogen (detik)
τ_{O_2}	Konstanta waktu oksigen (detik)
i	Kerapatan arus (A/cm^2)
i_0	Pertukaran kerapatan arus
R_c	Resitansi konstan (Ω)
R_M	resistansi membran (Ω)
B	koefisien parametrik (V)
J	kerapatan arus (mA/cm^2)
J_{max}	(mA/cm^2)