



© 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 MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN *CHANNEL DEPTH* PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*

SKRIPSI

Oleh:
Amar Banu Mukhlisin
NIM. 2002411037

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
AGUSTUS, 2024**



© 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 MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN *CHANNEL DEPTH* PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*

LAPORAN SKRIPSI

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Amar Banu Mukhlisin

NIM. 200241137

**PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2024



© 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 PERSETUJUAN
LAPORAN SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN
CHANNEL DEPTH PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS
CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE*
*MEMBRANE FUEL CELL***

Oleh:
Amar Banu Mukhlisin
NIM. 2002411037
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1



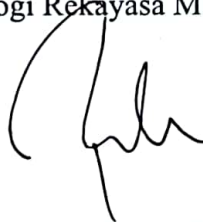
Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T.
NIP. 198608302009122001

Pembimbing 2



Vina Nanda Garjati, S.T., M.T.
NIP. 199206232020122014

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Manufaktur



Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.
NIP. 199403192022031006




HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN *CHANNEL DEPTH* PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE* *MEMBRANE FUEL CELL*

Oleh:
Amar Banu Mukhlisin
NIM. 2002411037
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Sarjana Terapan atau Skripsi dihadapan Dewan Penguji pada tanggal 22 Agustus 2024 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. NIP 196605191990031002	Dosen Penguji 1		2/9/2024
2.	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP 197312282008121001	Dosen Penguji 2		2/9/2024.
3.	Amalina Shomami, S.Pd., M.Hum. NIP 7302018050219911116	Moderator		2/9/2024

Depok, 2 September 2024

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amar Banu Mukhlisin

NIM : 2002411037

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan 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 telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 22 Agustus 2024



Amar Banu Mukhlisin
NIM. 2002411037



ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN *CHANNEL DEPTH* PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*

Amar Banu Mukhlisin¹⁾, Vika Rizkia¹⁾, dan Vina Nanda Garjati¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: amar.banumukhlisin.tm20@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah besar dapat mencemari udara dengan karbon monoksida dalam jumlah signifikan. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) menjadi alternatif yang menarik karena mampu menghasilkan arus tinggi dengan suhu kerja rendah, waktu start-up cepat, tanpa polusi, dan durabilitas yang baik. Pada sistem PEMFC, pelat bipolar merupakan salah satu komponen utama dan penting. Komponen ini memfasilitasi reaktan mengalir melalui saluran yang dirancang. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi desain flow field tipe parallel pada pelat bipolar menggunakan simulasi CFD di ANSYS, guna meningkatkan performa PEMFC. Saat mengalir melalui pelat bipolar, reaktan berdifusi melalui lapisan difusi gas, sehingga terhubung dengan lapisan katalis untuk menghasilkan proton dan elektron dalam anoda dan air dan panas dalam katoda melalui reaksi kimia. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa variasi lebar rib dan kedalaman channel berpengaruh secara signifikan terhadap distribusi tekanan dan distribusi aliran hydrogen. Temuan ini dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi distribusi aliran dan penurunan tekanan.

Kata kunci: PEMFC, Pelat Bipolar, *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

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



ANALISIS PENGARUH MODIFIKASI DESAIN *RIB WIDTH* DAN *CHANNEL DEPTH* PADA PELAT BIPOLAR TIPE *PARALLEL* BERBASIS CFD UNTUK PENGAPLIKASIAN *SINGLE STACK PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL*

Amar Banu Mukhlisin¹⁾, Vika Rizkia¹⁾, dan Vina Nanda Garjati¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: amar.banumukhlisin.tm20@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

The use of large amounts of fossil fuels can pollute the air with significant amounts of carbon monoxide. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is an attractive alternative because it is able to generate high current with low working temperature, fast start-up time, no pollution, and good durability. In PEMFC systems, bipolar plates are one of the main and important components. This component facilitates the reactants to flow through the designed channel. This study aims to modify the parallel-type flow field design on the bipolar plate using CFD simulation in ANSYS, in order to improve the performance of PEMFC. While flowing through the bipolar plate, the reactants diffuse through the gas diffusion layer, thus connecting with the catalyst layer to generate protons and electrons in the anode and water and heat in the cathode through chemical reactions. The results of the study show that the variation of rib width and channel depth has a significant effect on the pressure distribution and hydrogen flow distribution. These findings can contribute to the improvement of flow distribution efficiency and pressure reduction.

Kata kunci: PEMFC, Bipolar Plate, Computational Fluid Dynamics (CFD)

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



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Modifikasi Desain *Rib Width* dan *Channel Depth* pada Pelat Bipolar Tipe Parallel Berbasis CFD Untuk Pengaplikasian *Single Stack Proton Exchange Membrane Fuel Cell*”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi sarjana terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini dibantu oleh berbagai pihak, dan penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
2. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, S.Si., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini
3. Ibu Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini
4. Ibu Vina Nanda Garjati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini
5. Bapak Dr. Belyamin, M.Sc.Eng, B.Eng (Hons) selaku dosen Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan saran dalam menyelesaikan skripsi ini
6. Bapak R. Sugeng Mulyono, S.T., M.Kom. selaku dosen Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan saran dalam menyelesaikan skripsi ini
7. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T. selaku dosen Politeknik Negeri Jakarta yang telah membantu dalam pembuatan sampel untuk menyelesaikan skripsi ini

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 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

8. Bapak Yudi Saputra, A.Md. selaku operator i-CELL Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah membantu dalam pembuatan prototipe sehingga skripsi ini dapat diselesaikan
9. Kedua orang tua yang telah mendukung dan mendoakan penulis sehingga skripsi ini selesai
10. Rekan-rekan dari Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur yang telah membantu dan mendukung penulis selama proses menyelesaikan skripsi ini.
11. Fitri Nursifa Mahatuk yang telah memberikan dukungan dan semangat, serta yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis.

Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi semua orang, terutama mereka yang bekerja di bidang manufaktur.



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 ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 <i>Fuel Cell</i>	5
2.1.2 Proton Exchange Membrane Fuel Cell.....	6
2.1.3 Pelat Bipolar	10
2.1.4 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	10
2.1.5 Metode Desain Faktorial	11
2.1.6 Menentukan Jenis Aliran.....	11
2.1.7 <i>Pressure Drop</i>	13
2.1.8 <i>Velocity</i>	14
2.2 Kajian Literatur	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22



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

3.1 Jenis Penelitian.....	22
3.2 Objek Penelitian.....	22
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	23
3.4 Jenis Dan Sumber Data Penelitian	23
3.4.1 Jenis Penelitian.....	23
3.4.2 Sumber Data Penelitian	24
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian	24
3.6.1 Analisis Statistik	25
3.6.2 Simulasi	26
3.6.3 Desain Faktorial 3x3.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Desain p1 – p9	29
4.1.1 Perhitungan Pressure Drop.....	34
4.1.2 Perhitungan <i>velocity</i>	35
4.1.3 Perhitungan Viskositas.....	35
4.2 Hasil Simulasi dan Analisis	37
4.2.1 Hasil Simulasi dan Analisis <i>Pressure Drop</i>	37
4.2.2 Hasil dan Analisis Faktorial Plot Pressure	42
4.2.3 Hasil Simulasi dan Analisis <i>Velocity</i>	43
4.2.4 Hasil dan Analisis Faktorial Plot Velocity	50
4.2.5 Hasil <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA).....	52
4.2.6 Hasil Protitpe Desain	55
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59



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 GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur dasar fuel cell; katoda - elektrolit – anoda	6
Gambar 2.2 Skema dan komponen Proton Exchange Membrane Fuel Cell.....	7
Gambar 2.3 Exploded view PEMFC.....	8
Gambar 2.4 Pelat Bipolar	10
Gambar 2.5 Moody Diagram (Munson, Young, Okiishi, &Huesbech, 2009)	13
Gambar 2.6 Perbandingan distribusi kerapatan arus antaraa empat flow field dalam $V = 0.5V$ [19]	16
Gambar 2.7 pelat grafit bipolar digunakan pada anoda (A - C) dan dimensi geometris dari saluran berbentuk serpentin.....	18
Gambar 2.8 Distribusi kecepatan aliran lokal di bidang aliran katoda yang berbeda pada 0,6 V: (a) model A, (b) model B, (c) model C, (d) model D, (e)	19
Gambar 2.9 Distribusi tekanan oksigen di medan aliran katoda yang berbeda pada 0,6 V: (a) model A, (b) model B, (c) model C, (d) model D, (e)	20
Gambar 3. 1 Desain flow field plate dengan penampang persegi panjang	23
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4 .1 Hasil Desain p1 - p9.....	32
Gambar 4.2 Input data velocity pada inlet	35
Gambar 4 3 Hasil simulasi pressure drop p1 - p9	41
Gambar 4.4 Faktorial plot pressure	42
Gambar 4.5 Hasil simulasi Velocity p1 - p9	48
Gambar 4.6 Hasil Faktorial Plot Velocity	50
Gambar 4.7 Prototipe desain P6.....	55



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 2 2 Parameter Geometrik	18
Tabel 2 3 Parameter pengujian.....	20
Tabel 3.3 Tabel 3. 3 Desain Faktorial 3x3 Rib Width dan Channel Depth	28
Tabel 4 1 Parameter Desain Alternatif.....	33
Tabel 4.2 Factor Information	52
Tabel 4.3 Analysis of Variance berdasarkan Pressure.....	52
Tabel 4 4 Model Summary berdasarkan Pressure.....	53
Tabel 4.5 Analysis of Variance.....	53
Tabel 4 6 Model Summary berdasarkan Velocity.....	54

**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

Fuel cell, khususnya Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), semakin meningkat seiring dengan tantangan global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Jurnal yang Anda unggah menekankan bahwa PEMFC menawarkan solusi energi yang efisien dan ramah lingkungan, dengan potensi besar untuk diintegrasikan dalam berbagai aplikasi, mulai dari transportasi hingga penyimpanan energi skala besar. Teknologi ini mampu menghasilkan listrik dengan efisiensi tinggi, bahkan dalam kondisi operasi yang fleksibel, menjadikannya pilihan yang menarik untuk masa depan energi bersih. Selain itu, dalam konteks percepatan transisi energi global, pengembangan dan inovasi dalam desain dan optimasi *fuel cell* menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat mencapai kinerja yang lebih baik, biaya yang lebih rendah, dan skala produksi yang lebih besar.[1]

Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) dapat mengubah energi kimia dari hidrogen menjadi listrik dengan tingkat efisiensi yang tinggi dan tingkat dampak yang rendah pada lingkungan. PEMFCs dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti sebagai sumber daya kendaraan, daya portabel, dan generator cadangan. Selain itu, mereka memiliki banyak keuntungan, seperti stabilitas jangka panjang, densitas energi tinggi, dan suhu operasi rendah. Meskipun biaya bahan bakar sel menantang komersialisasi, penelitian terus melakukan peningkatan efisiensi, daya tahan, dan biaya membran. Ini membuat PEMFC menjadi sumber energi bersih yang menjanjikan di masa depan[2]

Pelat bipolar harus memiliki karakteristik tertentu, seperti kekuatan mekanik yang baik, ketahanan korosi, dan konduktivitas listrik yang tinggi. Grafit, logam, seperti baja tahan karat dan titanium, serta komposit yang terdiri dari polimer dan pengisi konduktif, seperti karbon hitam atau grafit, sangat umum digunakan. Aplikasi khusus dan lingkungan di mana PEMFC digunakan sangat memengaruhi pemilihan material[3]



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

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah teknik yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida secara numerik. Dengan menggantikan persamaan diferensial menjadi angka, CFD memungkinkan analisis sistem yang kompleks, dan membantu dalam visualisasi perilaku fluida dan interaksi dengan batas padat. Teknik ini telah digunakan dalam banyak bidang, seperti menentukan laju saluran, arsitektur, turbin, dan desain mobil, dan akan terus berkembang seiring kemajuan teknologi[4]

Jurnal yang ditulis oleh Agyekum et al. (2022) Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) diperbarui dengan fokus pada peningkatan kinerja, karakterisasi material, dan pertumbuhan publikasi. Upaya dilakukan untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan dan mengurangi berat sel melalui desain inovatif pada pelat aliran, membran, dan katalis. Selain itu, penelitian berfokus pada pengembangan membran dengan konduktivitas ion yang lebih baik dan stabilitas termal, serta mencatat pertumbuhan signifikan dalam publikasi penelitian PEMFC dengan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 19,35% sejak tahun 2000, menunjukkan minat yang meningkat dalam aplikasi teknologi ini untuk mengurangi jejak karbon di berbagai sektor industri[5]

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Dari latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh modifikasi rib width dan channel depth pada *flow field* tipe parallel terhadap aliran parallel gas reaktan pada *bipolar plate* ?
- b. Berapa ukuran dimensi yang lebih baik dari desain konvensional untuk aliran gas reaktan ?

1.3 Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



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

- a. Apakah modifikasi desain *rib width* dan *channel depth flow field* tipe *parallel* dapat mempengaruhi performa dari PEMFC?
- b. Bagaimana pengaruh dimensi yang sudah dikombinasi antara *rib width* dan *channel depth* terhadap *pressure drop* dalam desain pelat bipolar?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui bagaimana pengaruh dari modifikasi desain *rib width* dan *channel depth flow field* terhadap aliran gas reaktan pada *bipolar plate*
- b. Mengetahui ukuran dimensi yang optimal dan lebih baik dari desain konvensional sebelumnya untuk aliran gas reaktan

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan, antara lain :

1. Hasil dari penelitian ini dapat meningkatkan kecepatan rata rata saluran, dan dapat mencegah terjadinya reaksi yang dilarang, serta meningkatkan performa kinerja sel
2. Hasil dari penelitian ini dapat mengetahui pengaruh dari *variasi rib width* dan *channel depth* modifikasi desain terhadap aliran gas reaktan

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini memiliki 5 (lima) bab dan daftar Pustaka yang disertai dengan lampiran

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini:



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

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tentang latar belakang penulisan, rumusan masalah penulisan, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah penulisan, luaran dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan mengenai studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

BAB III METODOLOGI

Metodologi menjelaskan mengenai diagram alir, penjelsan langkah kerja, dan metode dalam memecahkan masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan data data hasil penelitian dan analisa hasil penelitian tersebut dibandingkan dengan hasil studi literatur.

BAB V Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Kesimpulan harus menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan dalam perancangan

b. Saran

Saran yang diberikan berupa usulan perbaikan suatu kondisi berdasarkan hasil analisis yang dilakukan.

Daftar Pustaka

Bagian yang berisi sumber yang digunakan pada penyusunan skripsi ini.

Lampiran

Bagian yang berisi tabel dan gambar pendukung yang belum dicantumkan di tiap bab sebelumnya.



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 V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan variasi *rib width* dan *channel depth* pada desain pelat bipolar tipe *parallel* pada PEMFC memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan tekanan e (*pressure drop*) dan kecepatan aliran. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa :

- a) Modifikasi pada *rib width* dan *channel depth* mempengaruhi aliran hidrogen dan *pressure drop* pada PEMFC secara signifikan, namun *channel depth* lebih berpengaruh terhadap *pressure* dan *velocity* dibandingkan dengan *rib width*
- b) Dari hasil simulasi, desain dengan *rib width* 1,3 mm dan *channel depth* 1 (p6) mm memberikan keseimbangan terbaik antara kecepatan aliran yang tinggi (19,9 m/s) dan *pressure drop* yang rendah (101 Pa), sehingga dapat dianggap sebagai desain yang paling optimal untuk aplikasi *single stack* PEMFC.
- c) Terdapat hubungan terbalik antara *channel depth* dan *pressure drop*; semakin dalam *channel*, semakin rendah *pressure drop* yang dihasilkan. Namun, pengurangan *rib width* cenderung meningkatkan *pressure drop*, meskipun memberikan peningkatan dalam kecepatan aliran.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi lebih lanjut variasi parameter desain lainnya, seperti lebar saluran (*channel width*) dan radius fillet, yang mungkin juga memiliki pengaruh terhadap distribusi aliran dan efisiensi sel bahan bakar. Adapun saran lainnya adalah sebagai berikut :

- a) Penelitian lebih lanjut dapat menguji performa desain ini dalam kondisi operasi yang bervariasi, seperti perubahan suhu dan tekanan.

- b) Perlu dipertimbangkan untuk mengembangkan desain lebih lanjut dengan variasi parameter lain seperti *channel width* atau material pelat bipolar untuk meningkatkan efisiensi sistem.
- c) Perlu dilakukan analisis biaya terhadap implementasi desain ini untuk memastikan efisiensinya dalam skala industri.



© 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 mengemukakan 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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Tellez-Cruz, J. Escorihuela, O. Solorza-Feria, and V. Compañ, “Proton exchange membrane fuel cells (Pemfcs): Advances and challenges,” Sep. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/polym13183064.
- [2] M. Sauermoser, N. Kizilova, B. G. Pollet, dan S. Kjelstrup, “Flow Field Patterns for Proton Exchange Membrane Fuel Cells,” *Front. Energy Res.*, vol. 8, no. February, hal. 1–20, 2020, doi: 10.3389/fenrg.2020.00013.
- [3] A. Tang, L. Crisci, L. Bonville, dan J. Jankovic, “An overview of bipolar plates in proton exchange membrane fuel cells,” *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 13, no. 2. American Institute of Physics Inc., 1 Maret 2021. doi: 10.1063/5.0031447.
- [4] M. M. Bhatti, M. Marin, A. Zeeshan, and S. I. Abdelsalam, “Editorial: Recent Trends in Computational Fluid Dynamics,” Oct. 01, 2020, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/fphy.2020.593111.
- [5] E. B. Agyekum, J. D. Ampah, T. Wilberforce, S. Afrane, and C. Nutakor, “Research Progress, Trends, and Current State of Development on PEMFC- New Insights from a Bibliometric Analysis and Characteristics of Two Decades of Research Output,” Nov. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/membranes12111103.
- [6] M. Safrijal, H. Prasutiyon, U. Prayogi, J. Teknik, and S. Perkapalan, “Jurnal Teknologi Maritim PENGEMBANGAN FUEL CELL SEBAGAI TEKNOLOGI PENGHASIL ENERGI RAMAH LINGKUNGAN”.
- [7] S. T. Bunyan, H. A. Dhahad, D. S. Khudhur, dan T. Yusaf, “The Effect of Flow Field Design Parameters on the Performance of PEMFC: A Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 13, 2023, doi: 10.3390/su151310389.
- [8] S. Mo *et al.*, “Recent Advances on PEM Fuel Cells: From Key Materials to Membrane Electrode Assembly,” Dec. 01, 2023, *Springer*. doi: 10.1007/s41918-023-00190-w.



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

- [9] M. Rosyid Ridlo Pusat Penelitian Fisika LIPI and K. Puspipstek Serpong Tangerang Selatan, "Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS) ke-V 2020 | 531 PERKEMBANGAN RISET MEA UNTUK PEMFC."
- [10] K. Saka, M. F. Orhan, dan A. T. Hamada, "Design and Analysis of Gas Diffusion Layers in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell," *Coatings*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.3390/coatings13010002.
- [11] E. Ozden dan I. Tari, "Proton exchange membrane fuel cell degradation: A parametric analysis using Computational Fluid Dynamics," *J. Power Sources*, vol. 304, hal. 64–73, 2016, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.11.042.
- [12] T. I. Prasetya and D. S. Khaerudini, "ANALISIS DESAIN FLOW FIELD PLATE DENGAN POLA ALUR KONVERGEN SERPENTIN MENGGUNAKAN FLOW SIMULATION 3D PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL."
- [13] R. H. Pala, "Fuel Cell System and Their Technologies: A Review," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. Volume-3, no. Issue-2, hal. 153–158, 2019, doi: 10.31142/ijtsrd20316.
- [14] S. Basri *et al.*, "Analysis of Mg(OH)₂ deposition for Magnesium Air Fuel Cell (MAFC) by Saline Water," *Sains Malays*, vol. 49, no. 12, pp. 3105–3115, Dec. 2020, doi: 10.17576/jsm-2020-4912-23.
- [15] D. Madhav, J. Wang, R. Keloth, J. Mus, F. Buysschaert, dan V. Vandeginste, "A Review of Proton Exchange Membrane Degradation Pathways, Mechanisms, and Mitigation Strategies in a Fuel Cell," *Energies*, vol. 17, no. 5, hal. 998, Feb 2024, doi: 10.3390/en17050998.
- [16] M. H. Fili, M. Habibnia, dan P. Ghasemi Tamami, "Modeling and experimental study on the sealing gasket of proton exchange membrane fuel cells," *Iran. J. Hydrog. Fuel Cell*, vol. 3, no. 3, hal. 213–220, 2017, [Daring]. Tersedia pada: https://ijhfc.irost.ir/article_416.html



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

- [17] T. I. Prasetya and D. S. Khaerudini, "ANALISIS DESAIN FLOW FIELD PLATE DENGAN POLA ALUR KONVERGEN SERPENTIN MENGGUNAKAN FLOW SIMULATION 3D PADA PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL."
- [18] M. Z. Chowdhury and B. Timurkutluk, "Transport phenomena of convergent and divergent serpentine flow fields for PEMFC," *Energy*, vol. 161, pp. 104–117, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.07.143.
- [19] B. Gao, H. Yan, and Y. 1, , "Enhancing PEMFC Performance Through Biomimetic Flow Field Design: A Comparative Study and Optimization Analysis." [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=4720428>
- [20] D. T. Duy, V. N. Duy, T. C. Thi, N. X. Ho, and H. B. Pham, "Anode and Cathode Flow Field Design and Optimization of Parametric Performance of PEMFC," *Int J Electrochem Sci*, vol. 16, pp. 1–15, 2021, doi: 10.20964/2021.10.05.
- [21] G. Zhang *et al.*, "Optimization Design of a Parallel Flow Field for PEMFC with Bosses in Flow Channels," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 14, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16145492.
- [22] Y. Wang *et al.*, "Review of Flow Field Designs for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells," May 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/en16104207.
- [23] Y. Wang, L. Wang, X. Ji, Y. Zhou, and M. Wu, "Experimental and Numerical Study of Proton Exchange Membrane Fuel Cells with a Novel Compound Flow Field," *ACS Omega*, vol. 6, no. 34, pp. 21892–21899, Aug. 2021, doi: 10.1021/acsomega.1c01924.
- [24] A. Andronie, I. Stamatina, V. Girleanu, V. Ionescu, and N. Buzbuchi, "Experimental study of a PEMFC system with different dimensions of the serpentine type channels from bipolar plate flow fields," *Mechanika*, vol. 25, no. 1, pp. 11–16, 2019, doi: 10.5755/j01.mech.25.1.21907.



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

- [25] F. Sun, D. Su, and Y. Yin, "A Streamline Dot Flow Field Design for Proton Exchange Membrane Fuel Cell," *Int J Energy Res*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/3928657.
- [26] L. Zhang and Z. Shi, "Optimization of serpentine flow field in proton-exchange membrane fuel cell under the effects of external factors," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 1, pp. 421–433, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.aej.2020.09.007.
- [27] Z. Fadilla, M. Ketut Ngurah Ardiawan, M. Eka Sari Karimuddin Abdullah, M. Jannah Ummul Aiman, and S. Hasda, *METODOLOGI PENELITIAN KUANTITATIF*. [Online]. Available: <http://penerbitzaini.com>
- [28] T. I. Prasetya and D. S. Khaerudini, "FLOW FIELD PLATE DESIGN ANALYSIS WITH CROSS-SECTION WAVE RECTANGULAR SERPENTINE USING 3D FLOW SIMULATION ON PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL." [Online]. Available: <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/ijimeam>
- [29] Y. Wang, K. S. Chen, J. Mishler, S. C. Cho, and X. C. Adroher, "A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research," 2018, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.09.030.



© 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

Lampiran 1. Dokumentasi Pengukuran dan Mendesain Ulang Komponen-Komponen dari Single Stack PEMFC





© 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 satu 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 2. Dokumentasi Pembelian Alat dan Bahan





© 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 satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3. Mesin FANUC ROBODRILL α -D14LiB





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4. Mesin OKUMA MILLAC 44V



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 satu 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 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. Dokumentasi Proses *Facing* Pada Permukaan Pelat Bipolar





Lampiran 6. Endmill Carbide 1 mm

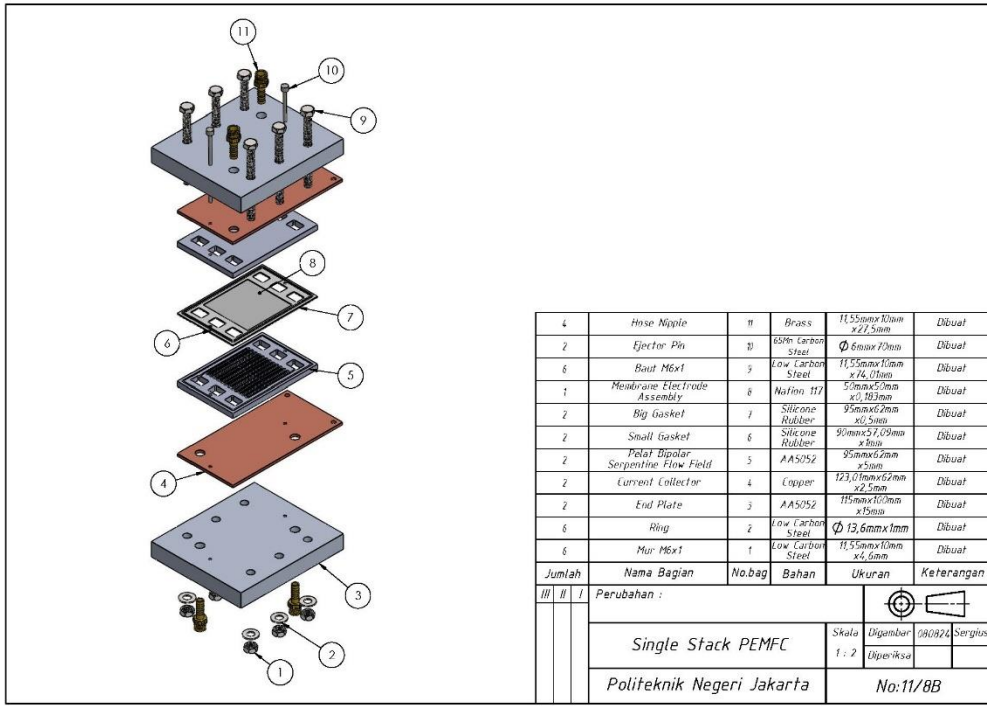
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 7. Drawing Single Stack PEMFC

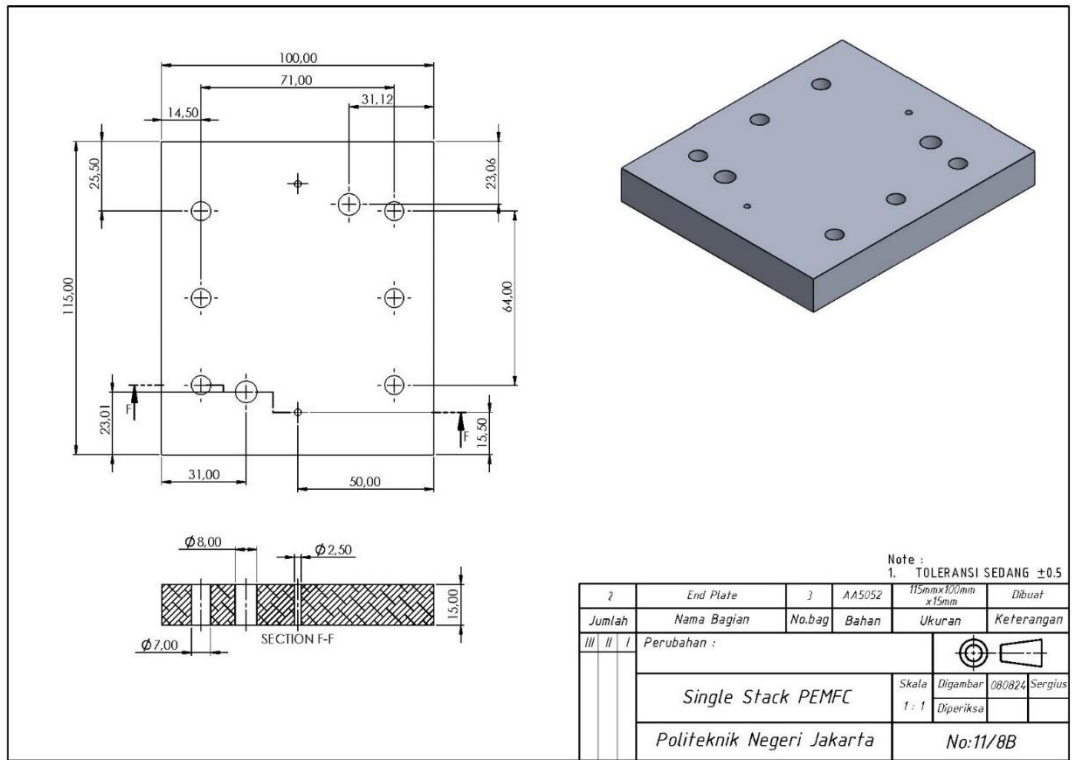


Hak Cipta :

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

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Lampiran 8. Drawing End Plate



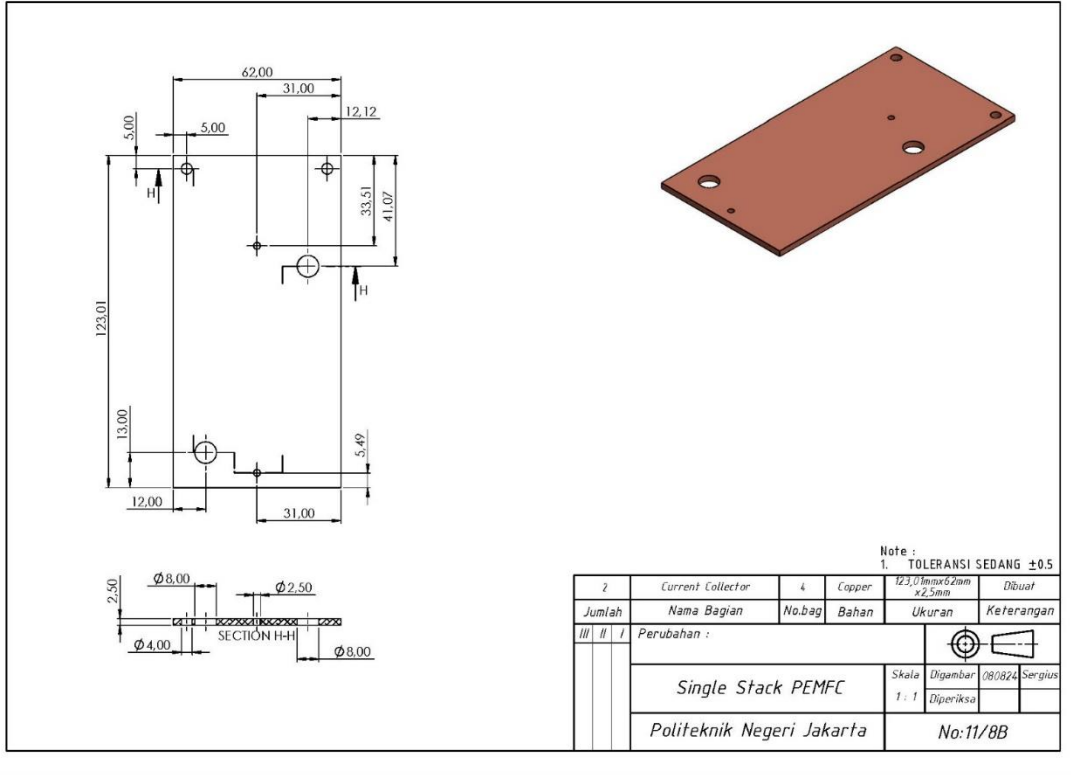
Hak Cipta :

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



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 9. Drawing Current Collector



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

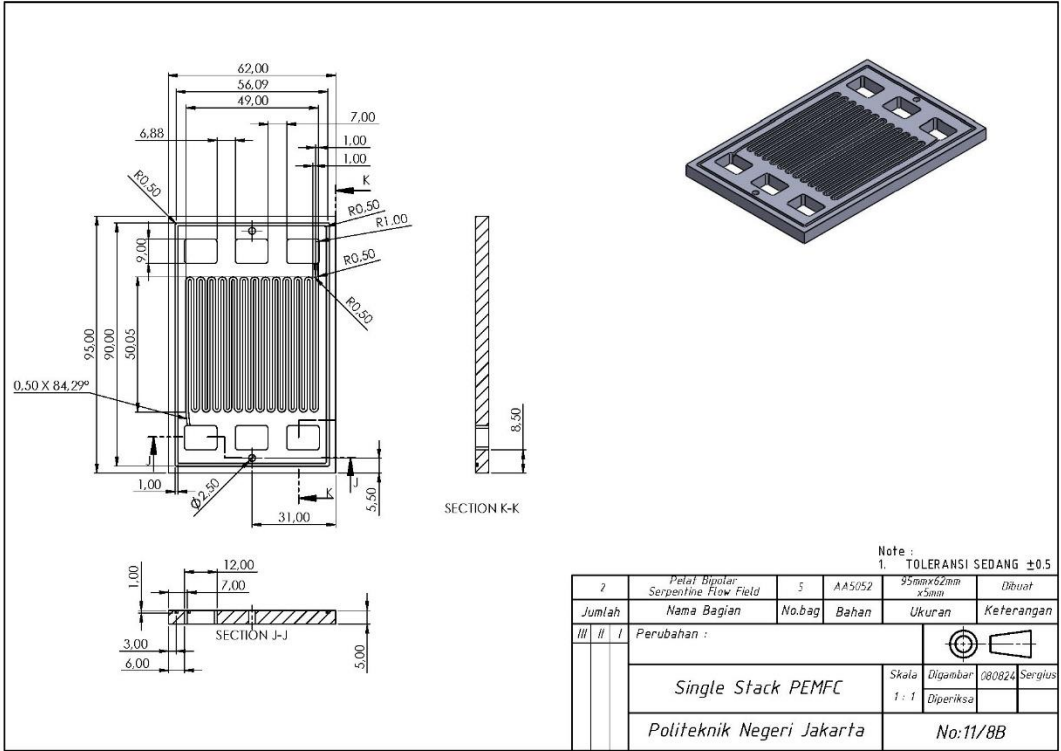
Hak Cipta :

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 satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 10. Drawing Pelat Bipolar *Parallel Flow Field*



Hak Cipta :

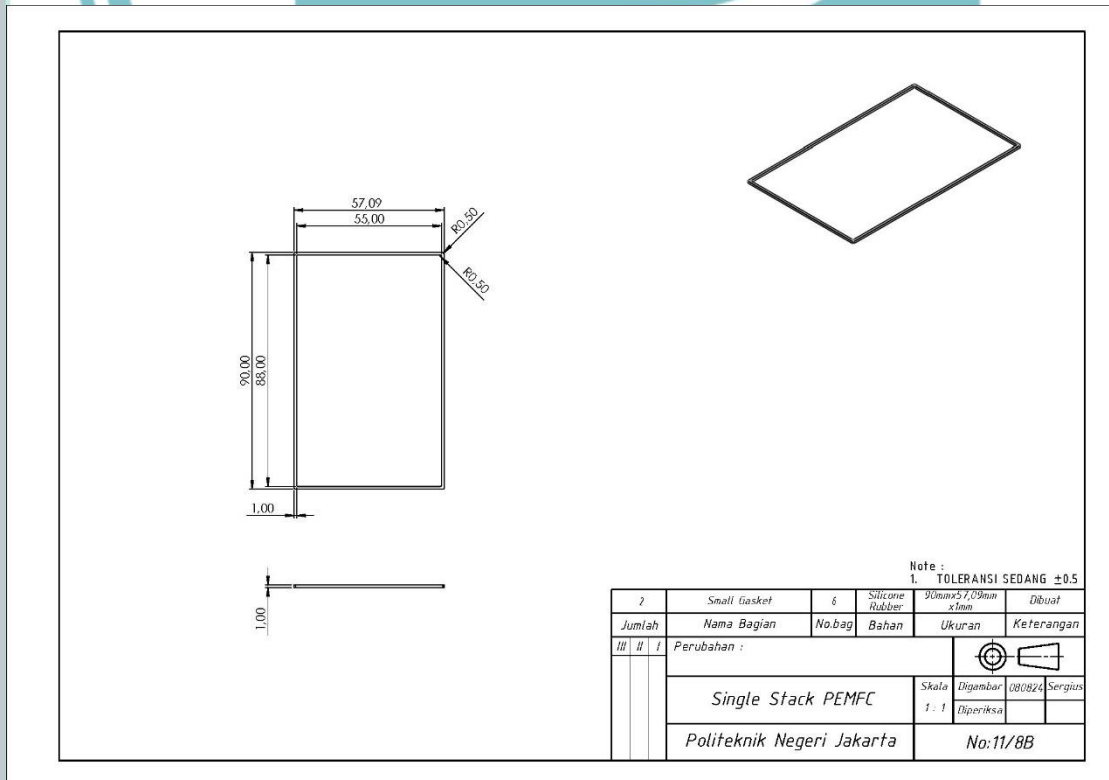
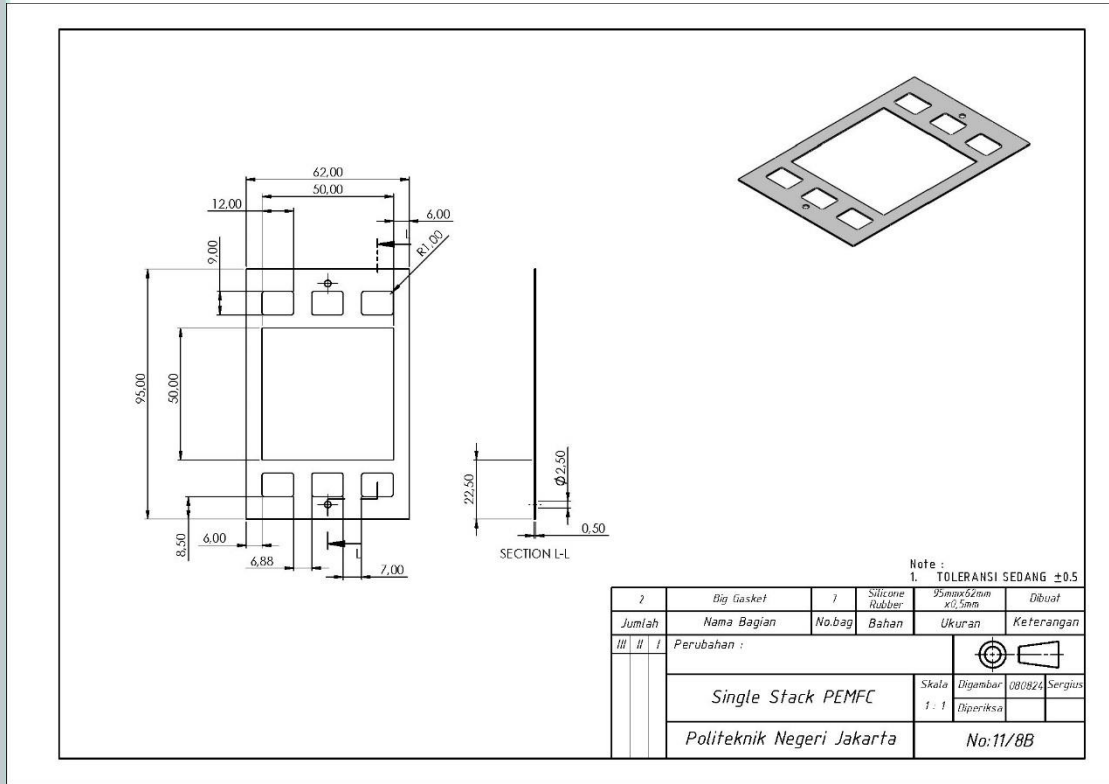
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Lampiran 11. Drawing Gasket

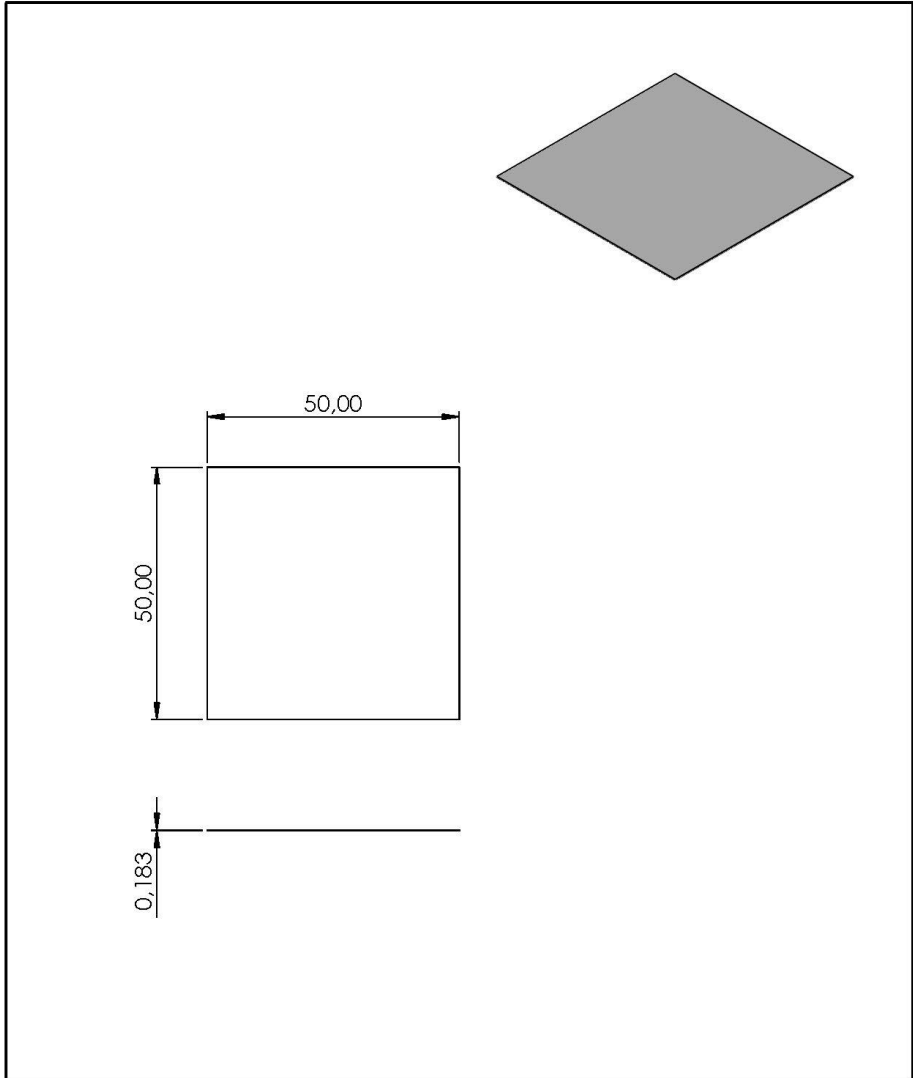
Hak Cipta :

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 satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 12. Drawing Membrane Electrode Assembly

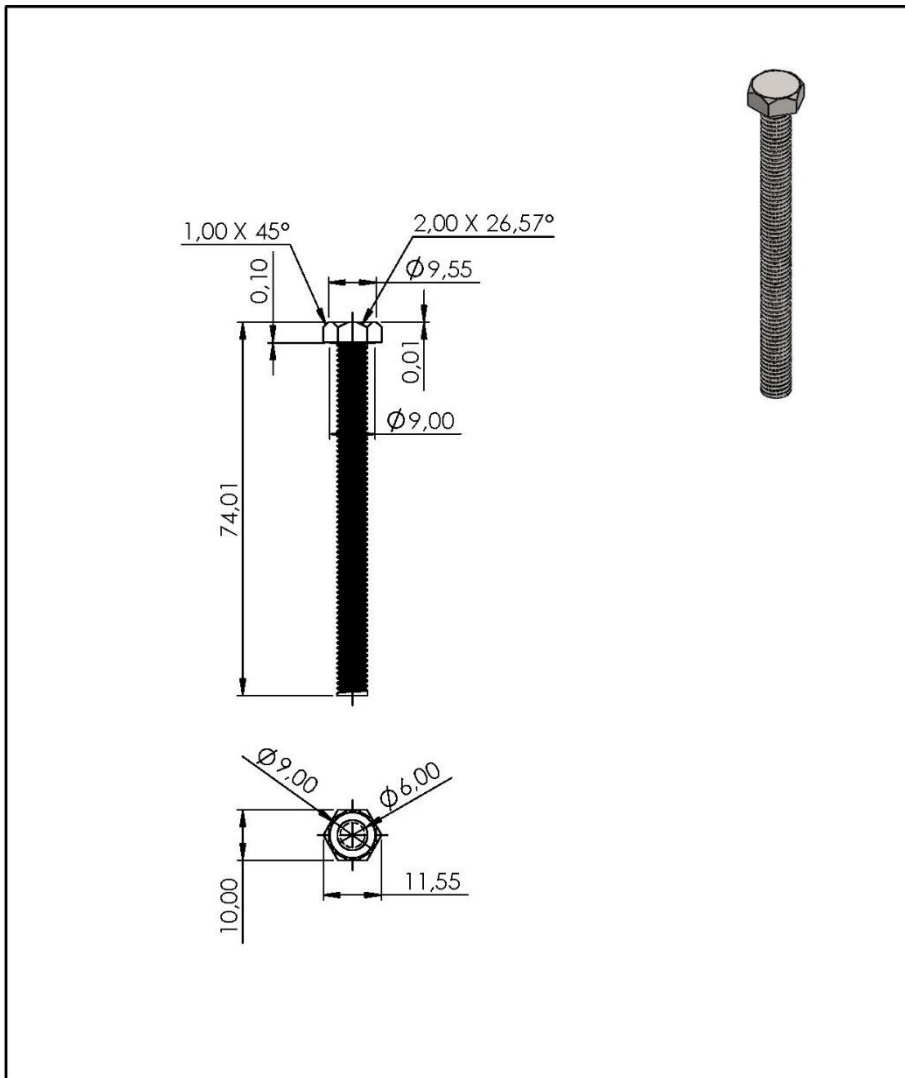


1	Membrane Electrode Assembly	8	Nafion 117	50mmx50mmx0,183mm	Dibuat		
Jumlah	Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan		
III	Perubahan :						
II	Single Stack PEMFC				Skala	Digambar	080824
I	Politeknik Negeri Jakarta			1 : 1	Diperiksa		
				No:11/8B			

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 satu 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 13 Drawing Baut M6x1

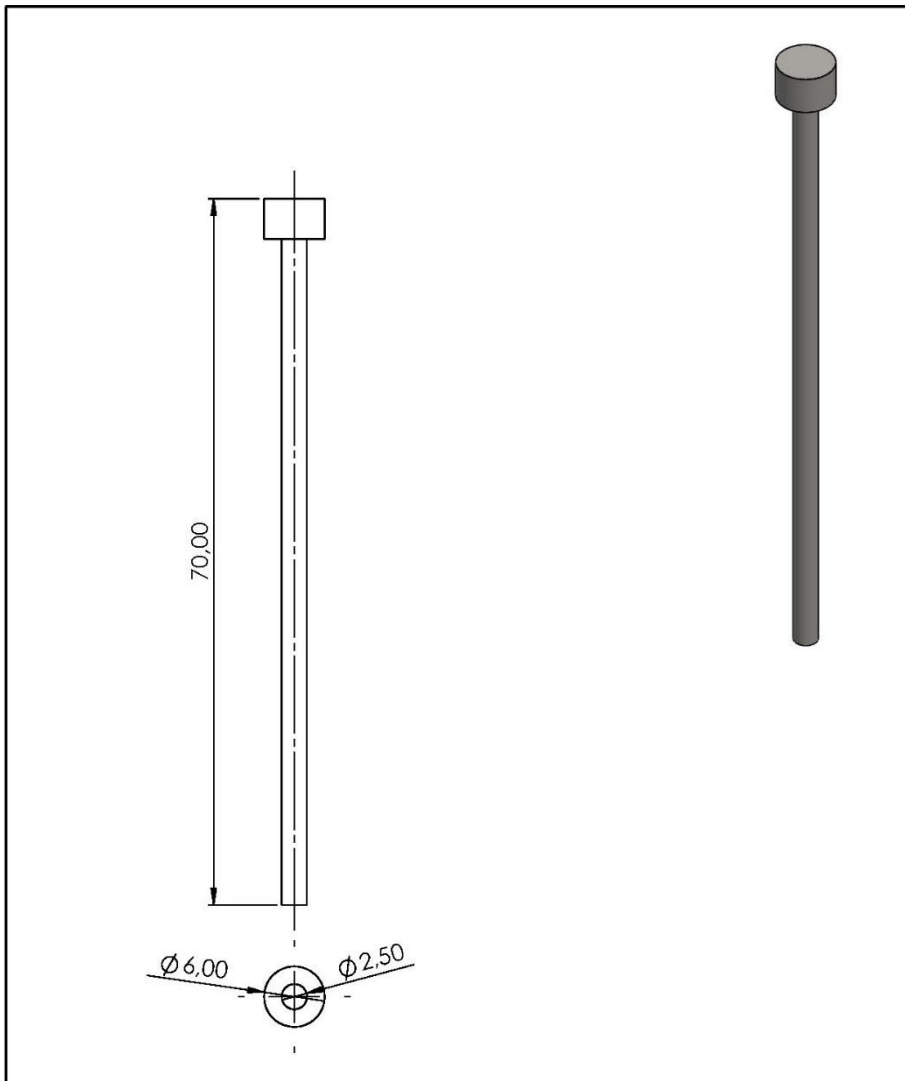


6	Baut M6x1	9	Low Carbon Steel	11,55mmx10mmx74,01mm	Dibuat
Jumlah	Nama Bagian	No. bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :		
Single Stack PEMFC				Skala	Digambar 080824 Sergius
				1 : 1	Diperiksa
Politeknik Negeri Jakarta				No:11/8B	

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 satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

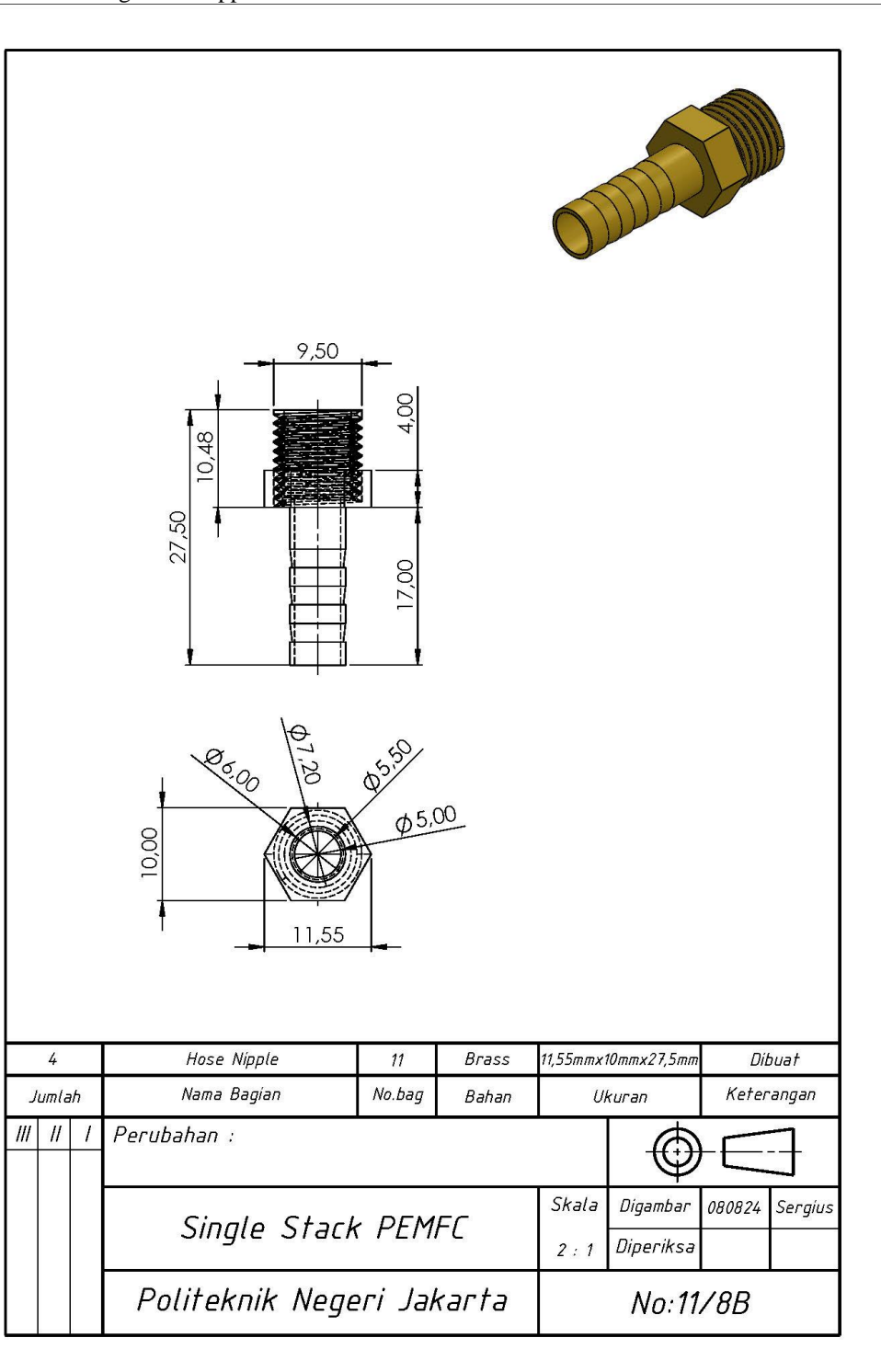
Lampiran 14 *Drawing Ejector Pin*



2	Ejector Pin	10	65Mn Carbon Steel	Φ 6mmx70mm	Dibuat
Jumlah	Nama Bagian	No. bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :		
			Single Stack PEMFC		Skala 2 : 1
			Politeknik Negeri Jakarta		Digambar 080824 Sergius Diperiksa
					No:11/8B

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

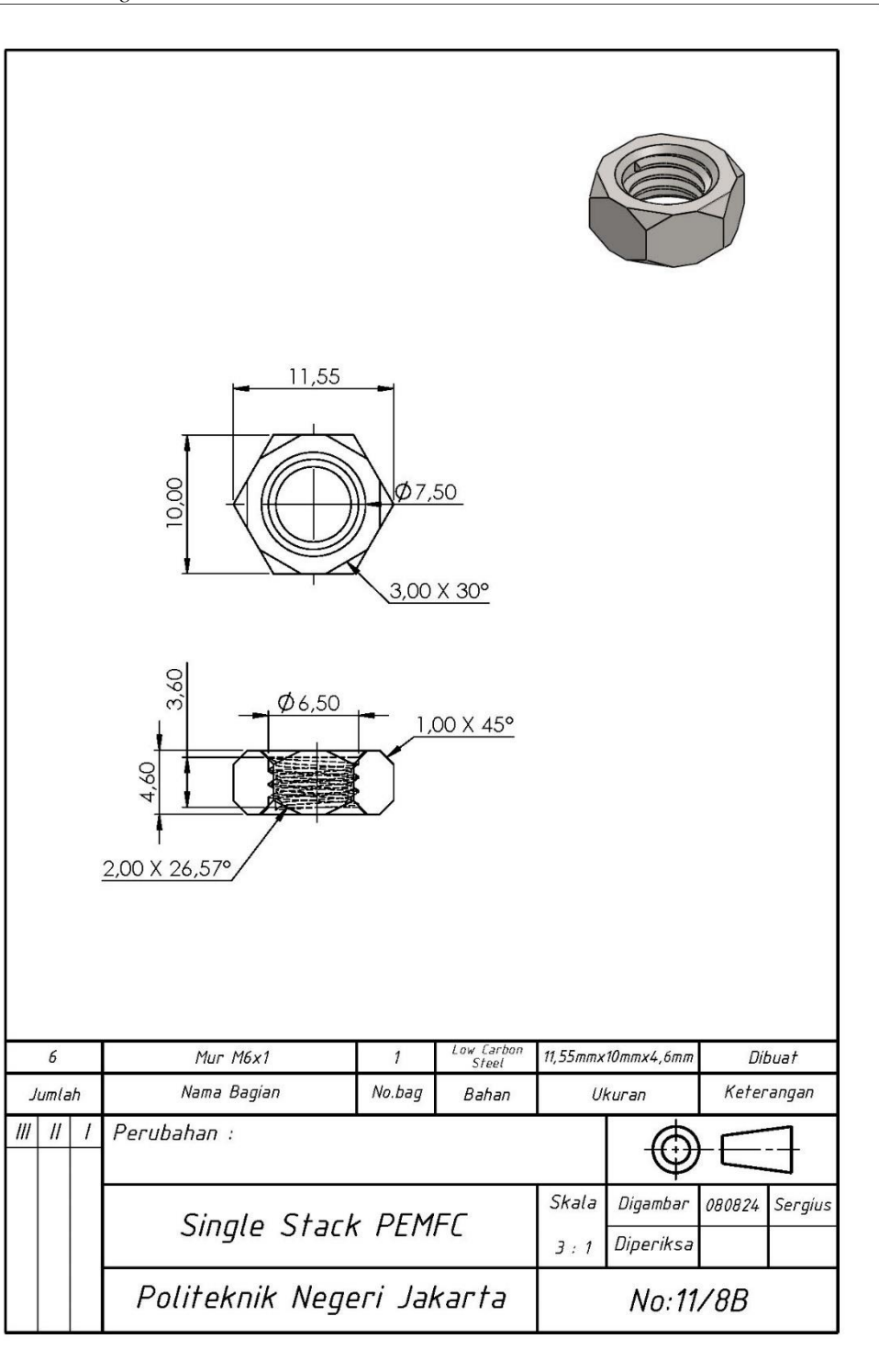
Lampiran 15 Drawing Hose Nipple



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 satu 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

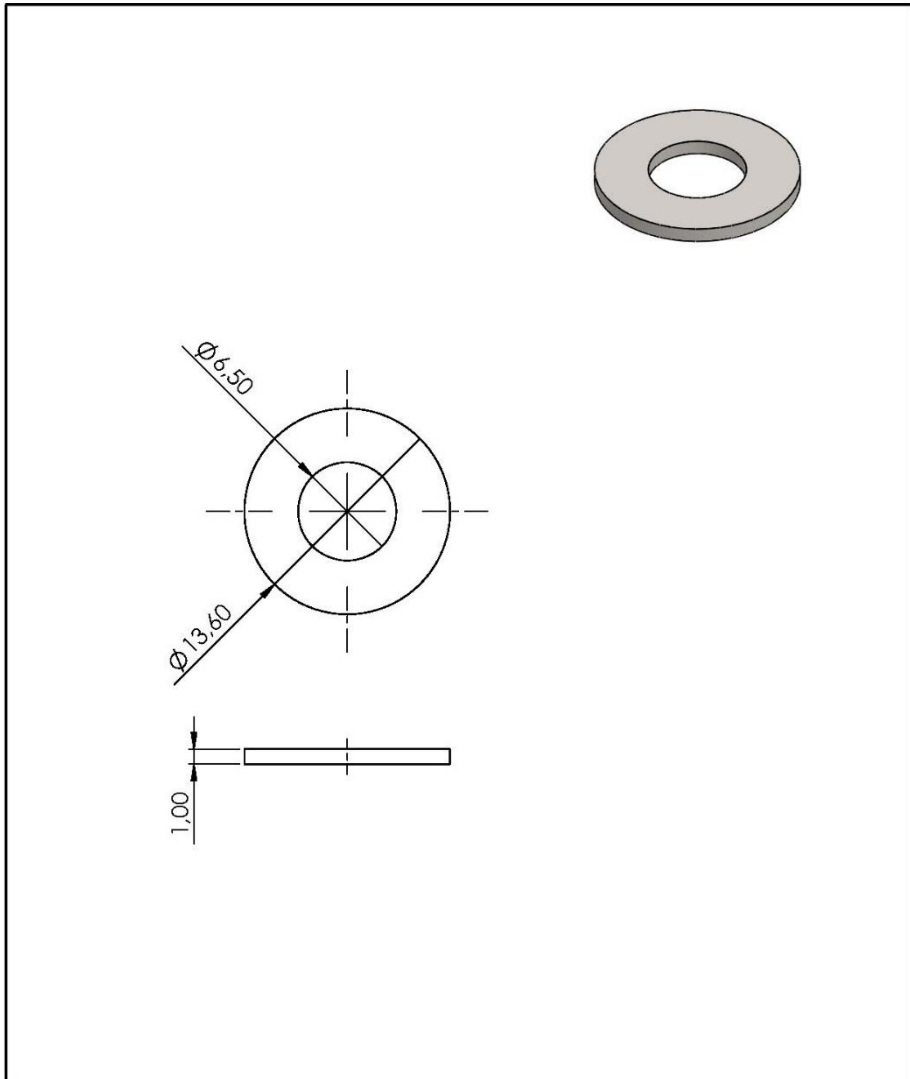
Lampiran 16 Drawing Mur M6x1



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 satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 17 Drawing Ring



6	Ring	2	Low Carbon Steel	Ø 13,6mm x 1mm	Dibuat
Jumlah	Nama Bagian	No. bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :		
Single Stack PEMFC				Skala	Digambar 080824 Sergius
				3 : 1	Diperiksa
Politeknik Negeri Jakarta				No:11/8B	

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 satu 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