



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIS
UNTUK DISAIN DAN ANALISIS
SEL TUNAM MEMBRAN PERTUKARAN PROTON (PEMFC)**

TESIS

**HARIYOTEJO PUJOWIDODO
0706173093**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIS
UNTUK DISAIN DAN ANALISIS
SEL TUNAM MEMBRAN PERTUKARAN PROTON (PEMFC)**

TESIS
Diajukan Sebagai Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Magister Teknik

HARIYOTEJO PUJOWIDODO
0706173093

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
DEPOK
JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Hariyotejo Pujowidodo

NPM : 0706173093

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Hariyotejo Pujowidodo
NPM : 070173093
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tesis : Pengembangan Model Matematis untuk Disain dan Analisis Sel Tunam Membrane Pertukaran Proton (PEMFC)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara (.....)
Pembimbing : Dr. Ir. Verina Januati Wargadalam (.....)
Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, MEng. (.....)
Penguji : Dr. Ir. Warjito, MEng. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Dr. Ir. Verina Januati Wargadalam, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (3) Pihak Laboratorium Pengujian Fuel Cell Puslitbangtek P3TKEBT Departemen ESDM yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (5) Rekan-rekan Teknik Mesin khususnya mahasiswa/i pasca 2007 yang telah berbagi dukungan moril maupun sumber informasi kepada saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hariyotejo Pujowidodo
NPM : 0706173093
Program Studi : Konversi Energi
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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

Pengembangan Model Matematis untuk Disain dan Analisis
Sel Tunam Membran Pertukaran Proton (PEMFC)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juli 2009
Yang menyatakan

(Hariyotejo Pujowidodo)

ABSTRAK

Nama : Hariyotejo Pujowidodo
Program Studi : Teknik Mesin (Konversi Energi)
Judul : Pengembangan Model Matematis untuk Disain dan Analisis Sel Tunam Membran Pertukaran Proton (PEMFC)

Tesis ini berisi sebuah studi mengenai pemodelan matematis sebuah sistem sel tunam membran pertukaran proton tipe kanal paralel dan serpentine 1 dimensi dan 2 dimensi kondisi tunak (*steady state*) dan isothermal. Pemodelan mencakup perhitungan numerik persamaan konservasi massa dan momentum melalui teknik volume hingga (*finite volume*) *tools* komersial. Diskretisasi model dilakukan pada sub sistem kanal aliran (*channel flow*) dan lapisan membran MEA (*membrane electrolyte assembly*) untuk mengetahui karakteristik utama gas reaktan di dalam kanal dalam hubungannya terhadap densitas arus. Dari hasil distribusi momentum dan massa yang diperoleh, selanjutnya menggunakan hubungan arus dan konsentrasi reaktan didapatkan bahwa kanal distribusi tipe serpentine mempunyai rugi aliran yang lebih besar daripada kanal paralel. Semakin besar tekanan statik rata-rata yang terjadi maka akan meningkatkan konsentrasi distribusi gas reaktan pada permukaan difusi.

Kata kunci : Sel tunam, Membran, Pemodelan Matematis

ABSTRACT

Name : Hariyotejo Pujowidodo
Study Program : Mechanical Engineering (Energy Conversion)
Title : Development of Engineering Mathematical Modeling for Design and Analysis Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

This study explaining the development of Mathematical Modeling for Paralel and Serpentine channel distribution in Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). The models defined on the steady, isothermal, 1 and 2 dimensional, applying the governing equations of momentum and mass transfer to obtain the dynamic and mass parameter of reactants distribution. Model discretization carried on the sub systems of channel flow and Membrane Electrolyte Assembly (MEA) layer to know the main characteristic of reactant gas in the channel related to the current density. Finally using the relationship between concentration and current, from the result of momentum and mass distribution has been obtained that the serpentine channel shows the more higher pressure drop than the paralel one.. Generally the higher pressure the more heavier concentration taken place on the diffusion layers.

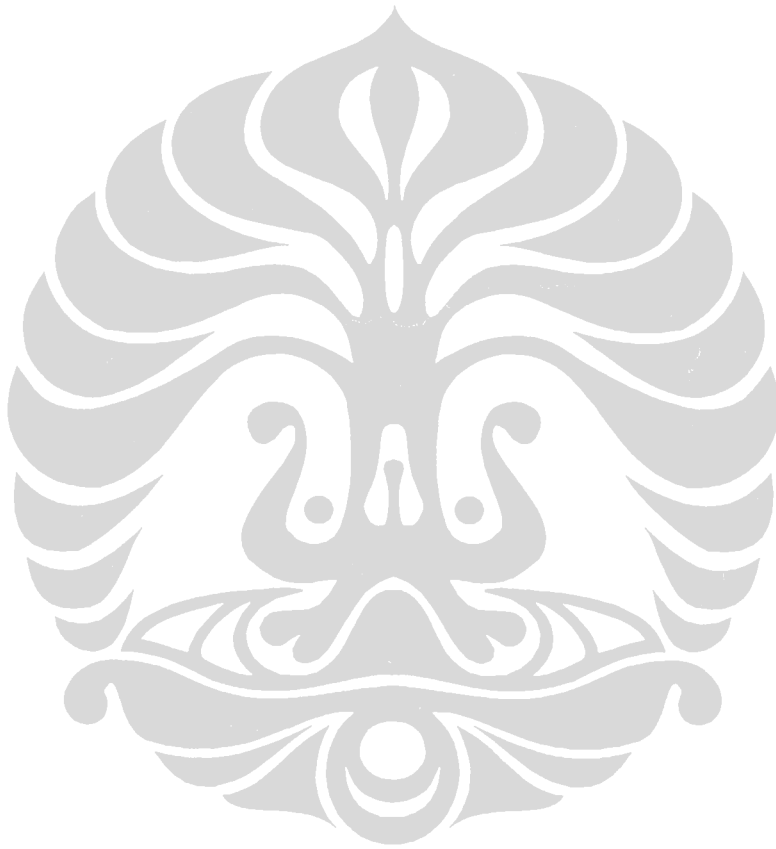
Keywords :
Fuel Cell, Membrane, Mathematically Modelling

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah (Ruang Lingkup)	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Teknologi Sel Tunam	6
2.2. Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)	10
2.3. Termodinamika dan Kimia Dasar	14
2.3.1. Reaksi Dasar	14
2.3.2. Panas Reaksi	14
2.3.3. Nilai Pemanasan Atas dan Bawah Hidrogen	15
2.3.4. Kerja Elektrik Teoritis	15
2.3.5. Potensial Sel Tunam Teoritis	16
2.3.6. Pengaruh Temperatur	17
2.3.7. Pengaruh Tekanan	18
2.3.8. Efisiensi	19
2.4. Elektrokimia Sel Tunam	19
2.4.1. Kinetika Elektroda	19
2.4.1.1. Laju Reaksi	20
2.4.1.2. Konstanta Reaksi, Koefisien Transfer	21
2.4.1.3. Persamaan Butler Volmer- Hubungan Potensial dan Arus	21
2.4.1.4. Densitas Arus Pertukaran	23

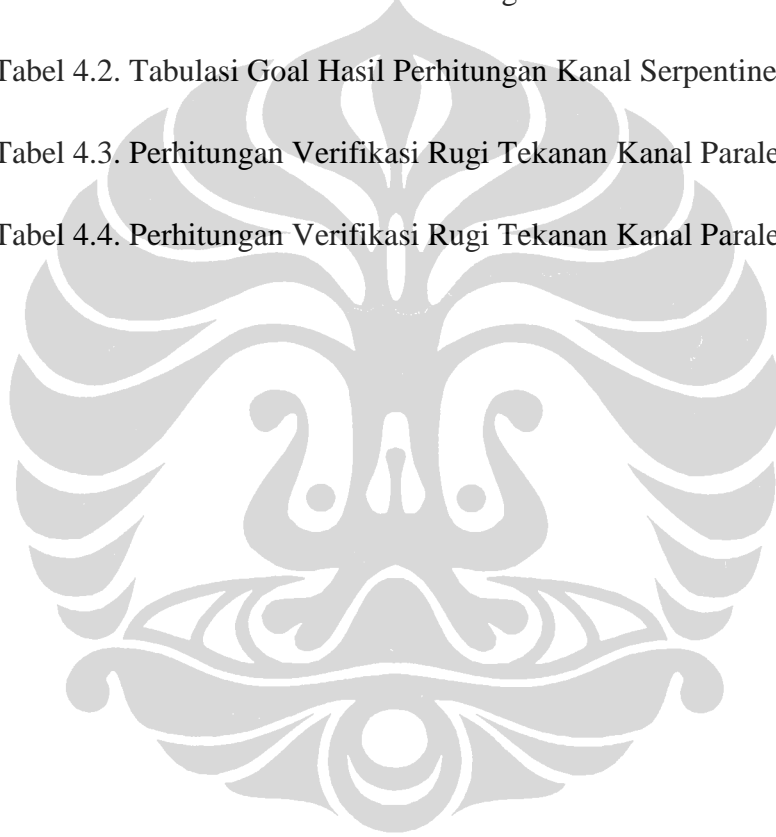
2.4.2.	Rugi Tegangan	23
2.4.2.1.	Rugi Aktivasi	24
2.4.2.2.	Rugi Arus Internal dan Crossover	25
2.4.2.3.	Rugi Ohmik	26
2.4.2.4.	Rugi Konsentrasi	26
2.5.	CFD dan Aplikasinya	28
2.5.1.	Pre-Processor	29
2.5.2.	Solver	30
2.5.2.1.	Metode Beda Hingga	30
2.5.2.2.	Metode Elemen Hingga	31
2.5.2.3.	Metode Spektral	31
2.5.2.4.	Metode Volume Hingga (Finite Volume)	32
2.5.3.	Post Processor	32
2.6.	Deskripsi matematis dan Ketetapan Konservasi Fisik	33
2.6.1.	Persamaan Differensial Pengatur	33
2.6.2.	Konservasi Massa dan Laju Perubahan Properti	33
2.6.3.	Konservasi Momentum	35
2.6.4.	Konservasi Spesies	36
2.7.	Modelisasi dan Persamaan Pengatur dalam Sel Tunam	37
3.	METODOLOGI	40
3.1.	Modelling	40
3.2.	Implementasi	41
3.3.	Evaluasi	44
3.3.1.	Analisa Pemodelan Komputasi	44
3.3.2.	Analisa Perhitungan Pressure Drop	45
3.3.3.	Analisa perhitungan Konsumsi Reaktan	46
4.	MODELISASI KOMPUTASI dan PEMBAHASAN	47
4.1.	Pemodelan dalam EFD Tools	47
4.1.1.	Pre Processor	47
4.1.1.1.	Solid Modelling	47
4.1.1.2.	Boundary Condition	48
4.1.1.3.	Pemodelan Sel Volume Hingga (Meshing)	49
4.1.1.4.	Optimasi Mesh (Mesh Dependency Test)	51
4.1.1.5.	Goal Perhitungan Pressure Drop	54
4.1.2.	Solver	58
4.1.3.	Post Processor	59
4.2.	Analisa Distribusi Gas Reaktan	65
4.2.1.	Karakteristik Aliran dalam Kanal Paralel	63
4.2.2.	Karakteristik Aliran dalam Kanal Serpentine	64
4.2.3.	Karakteristik Aliran Transport Massa	64
4.2.4.	Verifikasi Rugi Tekanan (Pressure Drop)	66

5. KESIMPULAN DAN SARAN	72
DAFTAR REFERENSI	90



DAFTAR TABEL

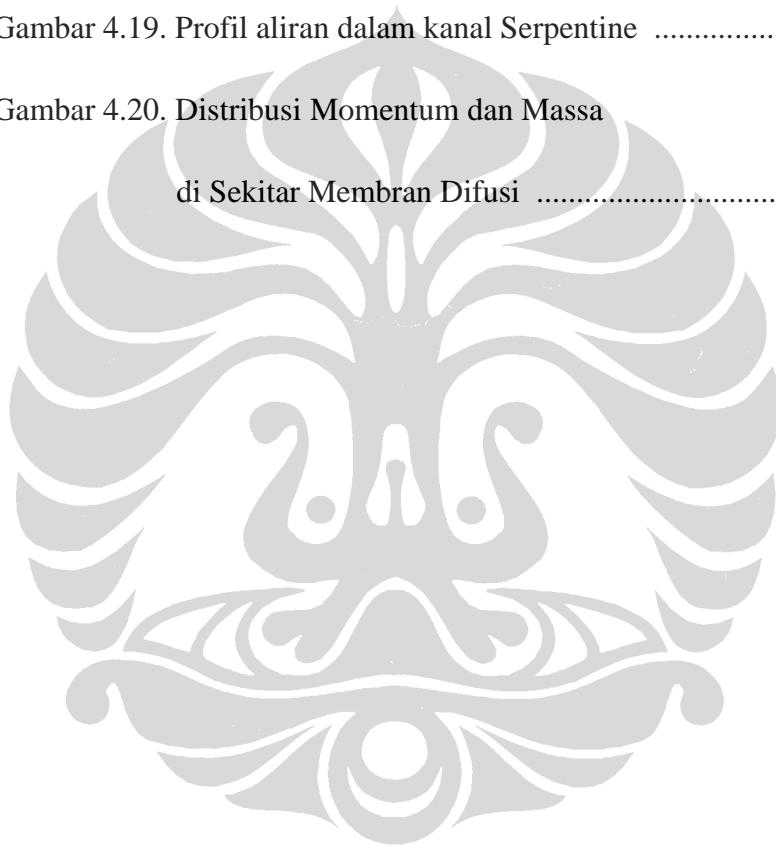
Tabel 2.1. Tipe dan Karakteristik Sel Tunam	9
Tabel 3.1. Data Simulasi	43
Tabel 3.2. Sistematika Analisa Pemodelan	48
Tabel 4.1. Tabulasi Goal Hasil Perhitungan Kanal Paralel	55
Tabel 4.2. Tabulasi Goal Hasil Perhitungan Kanal Serpentine	56
Tabel 4.3. Perhitungan Verifikasi Rugi Tekanan Kanal Paralel	68
Tabel 4.4. Perhitungan Verifikasi Rugi Tekanan Kanal Paralel	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skematik Sel Tunam Tunggal	6
Gambar 2.2. Proses Reaksi elektrokimia Pada Sel Tunam	7
Gambar 2.3. Perangkat uji PEMFC	11
Gambar 2.4. Proses Transport dalam PEMFC	12
Gambar 2.5. Kurva Sel Tunam Spesifik V-I	13
Gambar 2.6. Kestimbangan Massa Aliran	34
Gambar 2.7. Kestimbangan gaya arah x	36
Gambar 4.1. Domain Komputasi Kanal Paralel dan Serpentine	47
Gambar 4.2. Pembentukan Geometri Lids di Sisi Inlet dan outlet	48
Gambar 4.3. Pendefinisian Sistem Model	49
Gambar 4.4. Fitur Pendefinisian Manual dan Automatic Mesh untuk Kanal paralel dan Serpentine	50
Gambar 4.5. Hasil Simulasi Dengan Level Initial Mesh=3	51
Gambar 4.6. Hasil Simulasi Dengan Level Initial Mesh=4	52
Gambar 4.7. Hasil Simulasi Dengan Level Initial Mesh=5	52
Gambar 4.8. Non Automatic Meshing Jumlah Sel ke arah X = 30 ke sumbu Y = 30	53
Gambar 4.9. Hasil Simulasi Dengan Level Initial Mesh=6	53
Gambar 4.10. Meshing Optimum Fluid Domain Pada Kanal Paralel dan Serpentine	57
Gambar 4.11. Model Sistem Simulasi Distribusi Spesies	58
Gambar 4.12. Iterasi perhitungan numerik	59
Gambar 4.13. Distribusi Tekanan Statik dan Kecepatan Kanal Paralel	60

Gambar 4.14. Distribusi Tekanan Statik dan Kecepatan Kanal Serpentine	61
Gambar 4.15. Distribusi Tekanan Statik Pada lapisan Difusi Gas	62
Gambar 4.16. Distribusi Kecepatan dan Fraksi Massa Spesies Sisi Upstream	63
Gambar 4.17. Distribusi Kecepatan dan Fraksi Massa Spesies Sisi Downstream	64
Gambar 4.18. Resirkulasi Aliran pada Kanal Cabang	65
Gambar 4.19. Profil aliran dalam kanal Serpentine	66
Gambar 4.20. Distribusi Momentum dan Massa di Sekitar Membran Difusi	67



DAFTAR LAMPIRAN

