

**STUDI PERANCANGAN SISTEM SERI, PARALEL DAN  
KOMBINASI PADA TEKNOLOGI MICROBIAL FUEL CELL  
SEBAGAI PRODUKSI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN  
LIMBAH INDUSTRI TAHU**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat  
Strata-1 Pada Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



**Disusun Oleh:**

**Irpan**

**20140120161**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2018**

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Irpan  
Nim : 20140120161  
Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir yang berjudul “*STUDI PERANCANGAN SISTEM SERI, PARALEL DAN KOMBINASI PADA TEKNOLOGI MICROBIAL FUEL CELL SEBAGAI PRODUKSI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN LIMBAH INDUSTRI TAHU*” ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan saya sendiri., bukan hasil plagiasi dari karya pihak manapun, terkecuali dasar teori yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan dapat dipertanggung jawabkan.



Yogyakarta, 21 April 2018



Irpan

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Dengan Rahmat Allah SWT yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang....

Dengan ini saya persembahkan karya ini untuk Ayahanda (Bapak Asdi) terimakasih atas limpahan doa dan kasih sayang yang tak terhingga dan selalu memberikan yang terbaik serta Nasihatnya yang menjadi jembatan perjalanan hidupku,

Bunda (Ibu Alfiah) terimakasih atas limpahan doa dan kasih sayang yang tak terhingga dan selalu memberikan yang terbaik,

Kakakku tercinta (Devi Aryani), terimakasih atas nasihat yang selalu membawaku kejalan yang benar dan fokus pada tujuan apa aku merantau

Semoga Allah SWT selalu memberi perlindungan dan kasih sayangnya pada kita semua dan diberikan kemudahan dalam segala hal. Aamiinn

## **HALAMAN MOTTO**

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”  
(Q.S. Al-Baqarah: 286)**

**“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”  
(Q.S. Al-Insyirah: 6)**

**“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui”  
(Q.S. Al-Baqarah: 216)**

**“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”  
(Q.S. Ar-Rahman: 13)**

**“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu. Niscaya Allah memudahkannya ke jalan menuju surga”  
(HR. Turmudzi)**

**“When I believe in myself, everything is possible”  
(Irpan)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta petunjuk-Nya sehingga penyusunan tugas akhir ini telah terselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan arahan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua tercinta, kakak dan serta segenap keluarga Bapak Djasuta yang selalu mendoakan, menasehati, dan menyemangati saya supaya menjadi anak yang sholeh berguna bagi nusa dan bangsa.
2. Bapak Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama pembuatan, dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Iswanto, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, pembelajaran dan bimbingan dengan penuh kesabaran kepada penulis selama melakukan proses perencanaan, pembuatan, dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Karisma Trinanda Putra, S.ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, pembelajaran dan bimbingan kepada penulis selama melakukan proses perencanaan, pembuatan, dan penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Rama Okta Wiyagi, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh staf dosen pengajar dan staf laboratorium teknik elektro UMY yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di teknik elektro UMY.
7. Pabrik Tahu Bapak Anwar (Havif Nur Rohman) yang telah membantu penulis mendapatkan limbah tahu, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

8. Teman-teman “Konco Kentel” Gading, Damar, Zidni, Merina, Atun, Ulfi, Bowo, Imam, Noor, Adit yang telah bersama-sama saling membantu di tanah rantau.
9. Teman-teman anggota SBARED terutama Ari Wahyudi P yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
10. Teman-teman pengurus KMTE UMY tahun 2015/2016 dan 2016/2017 terutama divisi MIKAT yang telah mendukung satu sama lain dan memberikan berbagai pelajaran dan kesan positif selama berorganisasi di kampus ini.
11. Rekan-rekan elektro 2014 terutama kelas D yang telah bersama menuntut ilmu di kampus tercinta ini,
12. Teman-teman GENESIA (Generasi Indonesia Mengabdi) 2017 terimakasih atas kebersamaannya selama satu tahun dan teman-teman magang COPET (Cowo Petro) yang telah memberikan dorongan dan berbagai kesan positif kepada penulis.
13. Serta semua pihak yang telah membantu penulis, namun tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan informasi.

Yogyakarta, 21 April 2018

Irpan

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN 1 .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN II .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
HALAMAN MOTTO .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
INTISARI .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Metode Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.7 Sistematika Penulisan .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Fuel Cell .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Microbial Fuel Cell (MFC) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1 Prinsip Kerja MFC .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2 Jenis-jenis Sistem MFC .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3 Material Elektroda .....</b>	<b>14</b>

2.2.4 Faktor Operasional Pada Sistem MFC .....	15
2.2.5 Aplikasi MFC .....	17
2.3 Jembatan Garam .....	18
2.4 Limbah Cair Tahu .....	18
2.5 Kandungan Limbah Industri Tahu .....	20
2.6 Mikroorganisme Pengurai Air Limbah Cair Tahu.....	21
2.7 Bakteri yang terkandung dalam Limbah Tahu .....	22
2.8 Konsep Limbah Menjadi Energi Listrik .....	23
2.9 <i>State of The Art</i> .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	30
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.2.1 Alat Penelitian .....	32
3.2.2 Bahan Penelitian .....	32
3.3 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	33
3.4 Variasi Penelitian .....	33
3.5 Implementasi Penelitian .....	33
3.5.1 Persiapan Substrat .....	33
3.5.2 Persiapan Elektrolit .....	34
3.5.3 Persiapan Alat Elektrolis .....	35
3.5.3.1 Persiapan <i>Salt Bridge</i> .....	35
3.5.3.2 Persiapan Elektroda .....	36
3.6 Percobaan MFC .....	36
3.6.1 Variasi Sistem Seri Pada MFC <i>Dual Chamber</i> .....	36
3.6.2 Variasi Waktu Inkubasi Substrat .....	37
3.6.3 Penggunaan Limbah Industri Tahu .....	37
3.7 Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan Pada Sistem Seri MFC .....	38
<b>BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS .....</b>	<b>39</b>
4.1 Desain <i>Microbial Fuel Cell</i> .....	40
4.2 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri .....	40
4.3 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Paralel .....	44



4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Perancangan Sistem Seri-Paralel 47	
4.5 Hasil Pengukuran Energi Listrik pada Variasi Lama Waktu Inkubasi	52
4.6 Potensi Penggunaan Limbah Tahu Terhadap <i>Power Density</i> .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	58
<b>LAMPIRAN</b> .....	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Prinsip Kerja <i>Fuel Cell</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Prinsip Kerja <i>Microbial Fuel Cell</i> .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Skema <i>dual chamber</i> dan Skema <i>single chamber</i> .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Skema <i>stack chamber</i> MFC .....	12
<b>Gambar 2.5</b> Bakteri <i>Methanothermus</i> .....	22
<b>Gambar 2.6</b> Bakteri <i>Methanosphaera</i> .....	22
<b>Gambar 2.7</b> Bakteri <i>Methanospirillum</i> .....	22
<b>Gambar 2.8</b> Bakteri <i>Methanococcus</i> .....	22
<b>Gambar 2.9</b> Bakteri <i>Methanomicrobium</i> .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Konversi limbah menjadi energi listrik dalam sistem <i>single chamber</i> 24	
<b>Gambar 3.1</b> Desain Diagram Alir Penelitian.....	30
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Persiapan Substrat .....	34
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Persiapan Elektrolit .....	34
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Persiapan Jembatan Garam .....	35
<b>Gambar 3.5</b> Desain MFC <i>single chamber</i> dengan rangkaian seri .....	36
<b>Gambar 3.6</b> Desain rangkaian seri sistem <i>dual chamber</i> .....	37
<b>Gambar 4.1</b> Desain MFC <i>dual chamber</i> .....	39
<b>Gambar 4.2</b> Rangkaian Seri 3 MFC .....	40
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan Tegangan Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC..	41
<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan Kuat Arus Rangkaian Tunggal dan Seri pada MFC	41
<b>Gambar 4.5</b> Produksi Listrik pada Sistem Seri .....	43
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan <i>power density</i> pada Variasi Rangkaian Seri .....	44
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan Tegangan MFC pada Rangkaian Paralel .....	44

<b>Gambar 4.8</b> Perbandingan Kuat Arus MFC pada Rangkaian Paralel.....	45
<b>Gambar 4.9</b> Produksi Listrik pada Sistem Paralel.....	46
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan <i>power density</i> pada rangkaian paralel.....	47
<b>Gambar 4.11</b> Perbandingan Tegangan MFC pada sistem seri paralel.....	47
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan Kuat Arus MFC pada sistem seri paralel.....	48
<b>Gambar 4.13</b> Produksi Listrik Pada Sistem Seri Paralel .....	49
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan <i>power density</i> pada sistem seri paralel.....	49
<b>Gambar 4.15</b> Perbandingan Kuat Arus pada Variasi Lama Waktu Inkubasi .....	51
<b>Gambar 4.16</b> Perbandingan Tegangan pada Variasi Lama Waktu Inkubasi.....	51
<b>Gambar 4.17</b> Produksi Listrik pada variasi lama waktu inkubasi .....	52
<b>Gambar 4.18</b> Perbandingan <i>power density</i> pada variasi lama waktu inkubasi....	52

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbandingan Kondisi <i>Fuel Cell</i> Biasa dengan MFC .....	8
<b>Tabel 2.2</b> <i>State of The Art</i> Penelitian .....	29
<b>Tabel 3.1</b> Alat yang digunakan .....	32
<b>Tabel 3.2</b> Bahan-bahan Penelitian .....	33
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Nilai Kuat Arus pada Variasi Konfigurasi Reaktor.....	42
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Nilai Tegangan pada Variasi Konfigurasi Reaktor .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Penelitian oleh Ieropoulos .....	50
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Ketiga Percobaan .....	50
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Hasil Penelitian .....	56