

**Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik
Menggunakan Karbon *Cloth* Pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs)
Double Chamber Dengan Variasi Konsentrasi Katolit KMnO_4**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai gelar Sarjana Kimia**



Oleh:

Wisnu Muliawati

11630021

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2015**



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr.wb

Setelah membaca, meneliti, memberi petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Wisnu Muliawati

NIM : 11630021

Judul skripsi : Potensi Limbah Cair Organik Tapioka sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan Variasi Konsentrasi KMnO_4

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatian tersebut kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr.wb

Yogyakarta, 4 Juni 2015

Pembimbing

Pedy Artsanti, M.Sc



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr.wb

Setelah membaca, meneliti, memberi petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Wisnu Muliawati

NIM : 11630021

Judul skripsi : Potensi Limbah Cair Organik Tapioka sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan Variasi Konsentrasi KMnO_4 "

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatian tersebut kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr.wb

Yogyakarta, 4 Juni 2015

Pembimbing

Diana Rahayuningwulan, M.T
NIP. 19781014 200212 2001

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Nota Dinas Konsultasi Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Wisnu Muliawati

NIM : 11630021

Judul Skripsi : "Potensi Limbah Cair Organik Tapioka sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs) *Double Chamber* dengan Variasi Konsentrasi Katolit KMnO_4 "

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 23 Juni 2015
Konsultan,

Imelda Fajriati, M.Si
NIP. 19750725 200003 2 001



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wisnu Muliawati
NIM : 11630021
Prodi/smt : Kimia/VIII
Fakultas : Sains dan Teknologi
Universitas : Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul:

**“Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik
Menggunakan Karbon Cloth Pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs)
Double Chamber Dengan Variasi Konsentrasi Katolit KMnO_4 ”**

tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 4 Juni 2015

Yang menyatakan,



Wisnu Muliawati

NIM : 11630021



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/1835/2015

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth pada Sistem *Microbial Fuel Cells (MFCs) Double Chamber* dengan Variasi Konsentrasi Katolit $KMnO_4$

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Wisnu Muliawati
NIM : 11630021
Telah dimunaqasyahkan pada : 17 juni 2015
Nilai Munaqasyah : A

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Pedy Artsanti, M.Sc.

Penguji I

Diana Rahayuningwulan, M.T.
NIP. 19781014 200212 2 001

Penguji II

Imelda Fajriati, M.Si.
NIP. 19750725 200003 2 001

Yogyakarta, 24 Juni 2015
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Maizer Said Nahdi, M.Si.
NIP. 19550427 198403 2 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Karya kecil ini kupersembahkan kepada

Kedua orang tuaku

Mama - Bapak

dan saudara-saudaraku tercinta

Juga kepada

Almamater Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

Fakultas Sains dan Teknologi Program studi Kimia

Teman-teman Angkatan 2011

Serta seluruh angkatan Program Studi Kimia

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum. wr.wb

Alhamdulillah, penulis memanjatkan segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang Maha Kuasa dan Maha Kasih, atas limpah rahmat, hidayah serta ridhonya kepada kita semua. Shalawat serta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat, dan para tabi'in yang telah memberi suri tauladan baik bagi seluruh umat manusia. Penulis menyadari bahwa atas berkat rahmat dan pertolongan Allah, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi dengan judul "Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth Pada Sistem *Microbial Fuel Cells* (MFCs) *Double Chamber* Dengan Variasi Konsentrasi Katolit $KMnO_4$ " diharapkan mampu memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Yogyakarta, serta juga dapat memberikan manfaat bagi khususnya pembaca.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan dalam pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian Skripsi ini, yaitu kepada :

1. Ibu Dr. Maizer Said Nahdi, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Susi Yunita Prabawati, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Ibu Pedy Artsanti, M.Sc selaku dosen pembimbing Skripsi dari Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Diana Rahayuningwulan, M.T selaku pembimbing Skripsi dari Pusat Penelitian Kimia Bidang Teknologi Lingkungan (BTL) di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) - Bandung.
5. Bapak Dani Permana, S.Si., atas diskusi yang telah dilakukan, Bapak Mahyar Ependi, S.Si., dan Bapak Oman yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam penelitian.
6. Bapak Didik Krisdiyanto, S.Si selaku dosen pembimbing akademik program studi Kimia angkatan 2011 Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
7. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran positif agar dapat membangun untuk menjadi lebih baik. Penulis mengharapkan semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua khususnya pembaca.

Wassalamu 'alaikum. wr.wb

Yogyakarta, 4 Juni 2015

Wisnu Muliawati
NIM : 11630021

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
HALAMAN NOTA DINAS KONSULTASI	v
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
ABSTRAK	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Batasan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian	9
E. Manfaat Penelitian	9
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	10
A. Tinjauan Pustaka	10
B. Landasan Teori	11
1. Air Limbah	11
a. Karakteristik Limbah Cair	11
b. Sumber Limbah Cair	12
c. Dampak Limbah Cair	13
d. Pengolahan Limbah Cair	13

e. Parameter Uji Air Limbah	14
2. Limbah Cair Organik Tapioka	15
3. Karbohidrat (Amilum atau Pati)	15
4. Mikroorganisme Pendegradasi dan Fase Pertumbuhan Mikroba	17
a. Mikroorganisme Pendegradasi (<i>mix culture</i>)	17
b. Fase Pertumbuhan Mikroba	18
5. Proses Metabolisme Karbohidrat	19
6. Katolit KMnO_4	22
7. Elektroda Karbon	24
8. Kelistrikan	25
9. <i>Fuel Cell</i>	26
10. <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC)	27
a. Definisi <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs)	27
b. Prinsip Kerja <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs)	28
c. Macam-macam Tipe Reaktor MFCs	30
d. Faktor Penentu Kinerja MFCs	31
11. Analisis Spektrofotometri	32
12. <i>Optical Dencity</i> (OD)	33
13. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	34
BAB III. METODE PENELITIAN	37
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	37
B. Alat-alat Penelitian	37
C. Bahan-bahan Penelitian	38
D. Cara Kerja Penelitian	39
1. Pembuatan Tepung Tapioka	39
2. Preparasi Elektroda Karbon <i>Cloth</i>	40
3. Pembuatan Jembatan Garam (<i>Salt Bridge</i>)	41
4. Pembuatan Inokulum Mikroba	41
5. Preparasi Katolit KMnO_4 Variasi Konsentrasi	42
6. Aklimatisasi Bakteri dalam Media dan Limbah	42

7. Penyusunan Reaktor SBMFC <i>Dual Chamber</i>	43
8. Pengukuran <i>Optical Density</i> (OD)	45
9. Analisis <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	46
E. Teknik Analisis Data	46
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
A. Desain <i>Microbial Fuel Cells</i> (MFCs) <i>Dual Chamber</i>	49
1. <i>Dual Chamber</i>	50
2. Mikroba <i>Mix Culture</i>	50
3. Limbah Cair Organik Tapioka	51
4. Elektroda Karbon <i>Cloth</i>	52
5. Kalium Permanganat (KMnO ₄)	53
6. Alat Pengukur	55
B. Kompartemen Anoda dan Katoda (SBMFCs <i>Dual Chamber</i>)	55
C. Aklimatisasi dan Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme	61
1. Aklimatisasi dalam Berbagai Persentase Media dan Limbah (Substrat)	61
2. Pertumbuhan Mikroba pada Reaktor SBMFCs Blanko atau Kontrol (A) dan Duplo (B1 dan B2)	64
D. Nilai <i>Power Density</i> (mWm ⁻²) Reaktor SBMFCs <i>Dual Chamber</i>	68
E. Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFCs <i>Dual Chamber</i>	72
F. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) (mgL ⁻¹)	76
BAB V. PENUTUP	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	92

DAFTAR TABEL

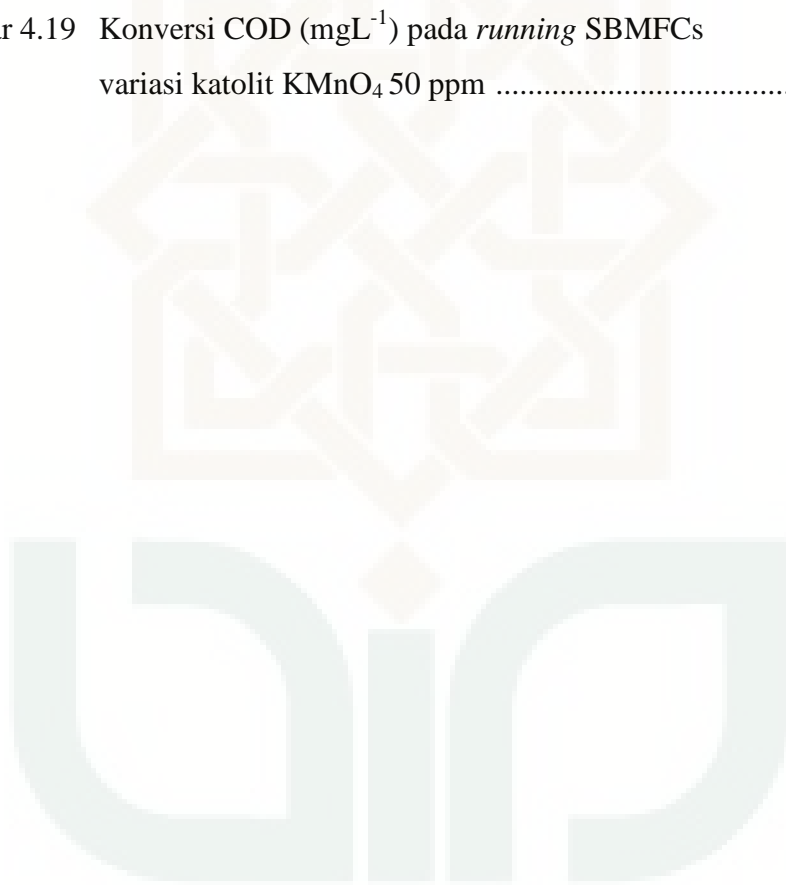
	Halaman
Tabel 1.1 Perkembangan Konsumsi Pangan Pokok (kg/kapita/tahun)	2
Tabel 1.2 Informasi Kandungan Gizi antara Ubi Kayu dan Tapioka	2
Tabel 1.3 Baku Mutu Limbah Cair Tapioka	4
Tabel 2.1 Kandungan Nitrisi Limbah Cair Tapioka	15
Tabel 3.1 Perbandingan Aklimatisasi Bakteri <i>Mix Culture</i>	43
Tabel 4.1 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 100% Media- YEP (900 mL media + 100 mL inokulum)	95
Tabel 4.2 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 70% Media- YEP (600 mL media + 100 mL inokulum + 300 mL limbah)	95
Tabel 4.3 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 30% Media- YEP (200 mL media + 100 mL inokulum + 700 mL limbah)	96
Tabel 4.4 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A) pada Katolit KMnO ₄ 10 ppm	96
Tabel 4.5 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A) pada Katolit KMnO ₄ 25 ppm	97
Tabel 4.6 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A) pada Katolit KMnO ₄ 50 ppm	97
Tabel 4.7 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B1) pada Katolit KMnO ₄ 10 ppm	98
Tabel 4.8 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B2) pada Katolit KMnO ₄ 10 ppm	98
Tabel 4.9 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B1) pada Katolit KMnO ₄ 25 ppm	99
Tabel 4.10 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B2) pada Katolit KMnO ₄ 25 ppm	99
Tabel 4.11 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B1) pada Katolit KMnO ₄ 50 ppm	100

Tabel 4.12 Hasil <i>Running</i> Reaktor SBMFC Duplo (B2) pada Katolit KMnO_4 50 ppm	100
Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD Reaktor SBMFC Blanko (A) pada Variasi Katolit KMnO_4	101
Tabel 4.14 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD Reaktor SBMFC B1 pada Variasi Katolit KMnO_4	101
Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD Reaktor SBMFC B2 pada Variasi Katolit KMnO_4	102
Tabel 6.1 Nilai <i>Power Density</i> (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A)	138
Tabel 6.2 Nilai <i>Power Density</i> (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC Duplo (B1)	139
Tabel 6.3 Nilai <i>Power Density</i> (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC Duplo (B2)	139
Tabel 6.4 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A)	140
Tabel 6.5 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC Duplo (B1)	141
Tabel 6.6 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC Duplo (B2)	141
Tabel 6.7 Hasil Perhitungan Analisis COD Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A) pada Variasi Katolit KMnO_4	142
Tabel 6.8 Hasil Perhitungan Analisis COD Reaktor SBMFC B1 pada Variasi Katolit KMnO_4	142
Tabel 6.9 Hasil Perhitungan Analisis COD Reaktor SBMFC B2 pada Variasi Katolit KMnO_4	143
Tabel 6.10 Hasil Perhitungan Persentase COD Reaktor SBMFC pada Variasi Katolit KMnO_4	143

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rumus struktur amilosa dan amilopektin	16
Gambar 2.2 Tiga Kemungkinan Katabolik piruvat yang terbentuk dalam Glikolisis	22
Gambar 2.3 Prinsip Kerja MFC	29
Gambar 3.1 Rangkaian Reaktor SBMFC <i>Dual Chamber</i> dan alat Multimeter (Sanwa)	44
Gambar 4.1 Karbon <i>cloth</i> berbentuk <i>paper</i>	52
Gambar 4.2 Reaktor dan proses <i>running</i> SBMFC <i>Dual chamber</i>	54
Gambar 4.3 Perbandingan KMnO_4 sebelum dan sesudah <i>running</i>	59
Gambar 4.4 Kurva pertumbuhan mikroba dalam media 100%	61
Gambar 4.5 Kurva pertumbuhan mikroba dalam media 70%	62
Gambar 4.6 Kurva pertumbuhan mikroba dalam media 30%	62
Gambar 4.7 Proses Aklimatisasi inokulum mikroba berturut-turut dalam 100% media YEP, 70% media YEP, dan 30% media YEP	63
Gambar 4.8 Kurva Pertumbuhan Mikroba pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 10 ppm	65
Gambar 4.9 Kurva Pertumbuhan Mikroba pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 25 ppm	65
Gambar 4.10 Kurva Pertumbuhan Mikroba pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 50 ppm	65
Gambar 4.11 <i>Power density</i> (mWm^{-2}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 10 ppm	68
Gambar 4.12 <i>Power density</i> (mWm^{-2}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 25 ppm	69
Gambar 4.13 <i>Power density</i> (mWm^{-2}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 50 ppm	69
Gambar 4.14 Energi Listrik (Joule) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 10 ppm	73

Gambar 4.15	Energi Listrik (Joule) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 25 ppm	73
Gambar 4.16	Energi Listrik (Joule) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 50 ppm	73
Gambar 4.17	Konversi COD (mgL^{-1}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 10 ppm	78
Gambar 4.18	Konversi COD (mgL^{-1}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 25 ppm	78
Gambar 4.19	Konversi COD (mgL^{-1}) pada <i>running</i> SBMFCs variasi katolit KMnO_4 50 ppm	79



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Skema dan alur penelitian	92
Lampiran 2. Proses pengukuran pada <i>Running</i> SBMFC	
Reaktor Blanko (Kontrol) dan Duplo	93
Lampiran 3. Proses analisis COD (mgL^{-1}) limbah cair tapioka	94
Lampiran 4. Data hasil penelitian	95
Lampiran 5. Data proses perhitungan	103
Lampiran 6. Data hasil perhitungan	138
Lampiran 7. Foto hasil Dokumentasi	144



BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terjadi secara pesat. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut, terjadi pula peningkatan peradaban sosial masyarakat kearah kemajuan pola pikir dan tingkah laku hidup. Menurut perhitungan, bahwa saat ini terdapat lebih dari 6 miliar manusia yang berada di bumi, selanjutnya diproyeksikan pada tahun 2050 mendatang akan mencapai 9,4 miliar manusia (Lewis dan Nocera, 1995).

Penduduk Indonesia yang semakin berkembang juga memiliki dampak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan. Dampak pada lingkungan ini terjadi karena semakin banyak manusia yang bergantung pada lingkungan demi memenuhi kebutuhan hidupnya. Selama 20 tahun terakhir tercatat pembangunan ekonomi Indonesia mengarah kepada industrialisasi. Tidak kurang terdapat 30.000 industri yang beroperasi dari tahun ke tahun menunjukkan peningkatan di Indonesia (Safitri, 2009).

Tumbuh dan berkembangnya industri-industri di Indonesia memang membantu peningkatan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat Indonesia, namun disisi lain juga menimbulkan dampak yang kurang baik bagi lingkungan hidup (Pamudja, 1994). Selain karena peningkatan jumlah sektor industri yang terjadi secara umum, peningkatan industri tepung tapioka terjadi karena keunggulan komposisi nilai gizinya, sehingga semakin banyak masyarakat menjadikannya sebagai bahan pangan. Perkembangan tingkat konsumsi ubi kayu

(singkong) dan perbandingan gizi singkong dengan tepung tapioka tersebut ditunjukkan pada tabel 1.1 dan tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.1 Perkembangan Konsumsi Pangan Pokok (kg/kapita/tahun)

Tahun	Beras	Jagung	Terigu	Ubi Kayu	Ubi Jalar	Sagu	Umbi lainnya
2002	115,5	3,4	8,5	12,8	2,8	0,3	0,5
2003	109,7	2,8	7,2	12,0	3,3	0,3	0,6
2004	107,7	3,2	7,7	15,1	5,4	0,4	0,7
2005	105,2	3,3	8,4	15,0	4,0	0,5	0,6
2006	104,0	3,0	8,2	12,6	3,2	0,5	0,6
2007	100,0	4,2	11,3	13,5	2,5	0,8	0,5
2008	104,9	2,9	11,2	13,0	2,8	0,5	0,6

Sumber: Susenas, BPS, diolah (BKP, 2008)

Tabel 1.2 Informasi Kandungan Gizi antara Ubi Kayu dan Tapioka

Zat Gizi	Ubi Kayu	Tepung Ubi Kayu
Energi (kal)	157	363
Protein (gram)	0,8	1,1
Lemak (gram)	0,3	0,5
Karbohidrat (gram)	34,9	88,2
Ca (mg)	33	84
P (mg)	40	125
Fe (mg)	0,7	1
Vit. A (RE)	48	0
Vit. B (mg)	30	0
Vit. B (mg)	0,06	0,04
BDD (%)	75	100

Sumber: (BKP, 2009)

Permintaan produk yang meningkat pesat menimbulkan dampak positif, namun juga membawa dampak negatif bagi lingkungan. Limbah yang dihasilkan dalam pembuatan tepung tapioka ada dua macam, yaitu limbah padat dan limbah cair (Zuhri, 1995). Limbah cair tapioka adalah limbah organik yang masih banyak mengandung pati terlarut, asam hidrosianat (HCN) yang mudah terurai menjadi sianida, nitrogen, fosfor, dan senyawa organik (Utama. dkk., 2013). Limbah cair tapioka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan apabila dibuang langsung ke sungai tanpa terlebih dahulu dilakukan pengolahan untuk menurunkan kadar dan bahan pencemaran di dalamnya (Mukminin, dkk., 2003).

Limbah cair tapioka yang belum mengalami pengolahan mempunyai beban pencemaran yang cukup tinggi karena sebagian besar kandungannya adalah bahan organik. Parameter kunci untuk menentukan kualitas limbah cair adalah mengetahui kandungan pH, BOD, COD, dan TSS limbah. Limbah cair tapioka mengandung BOD sebesar 300-7500 mgL⁻¹, COD sebesar 3100-20000 mgL⁻¹, dan TSS (padatan terlarut) 1500-8500 mgL⁻¹ (Soeriaatmadja, 1984).

Kehadiran zat-zat pencemar dapat menimbulkan gangguan sebagai berikut:

- a. Menyebabkan perubahan rasa dan bau yang tidak sedap
- b. Menimbulkan penyakit, seperti gatal-gatal
- c. Mengurangi estetika sungai (Menlh, 2008)
- d. Menurunkan kualitas air sumur di sekitar pabrik tapioka (Sutapa, 2000).

Berkaitan dengan dampak limbah yang dihasilkan tersebut, pemerintah membuat batasan-batasan yang disusun dalam undang-undang sebagai upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan dan keseimbangan ekosistem. Pemerintah

telah mengeluarkan peraturan mengenai baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri tapioka dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No 05 Tahun 2014, yaitu pada tabel 1.3 sebagai berikut:

Tabel 1.3 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha atau Kegiatan Industri Tapioka

Parameter	Kadar Maksimum (mgL⁻¹)	Beban Pencemaran Maksimum (kgTon⁻¹)
BOD ₅	150	4,5
COD	300	9
TSS	100	3
Sianida (CN)	0,3	0,009
pH	6,0 – 9,0	
Debit limbah maksimum	30 m ³ per ton produk tapioka	

Hasil sisa industri (limbah) selayaknya dikelola agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Namun beberapa industri masih kurang memperhatikan masalah penanganan limbah. Hal ini karena pengelolaan limbah yang dibutuhkan dan sarana tambahan dianggap memberatkan. Pengelolaan limbah dapat menimbulkan beban biaya bagi perusahaan, seperti biaya investasi alat, lahan, dan operasional, sehingga perusahaan harus berupaya menggunakan cara yang paling efektif dan efisien dalam kegiatan tersebut (Mukminin. dkk., 2002).

Pengolahan limbah tapioka yang tersedia belum efektif dalam mengatasi bahan pencemar di dalamnya. Hal ini karena teknologi yang ada belum mampu memisahkan seluruh pati terlarut, sehingga limbah cair yang dilepaskan ke lingkungan masih mengandung pati terlarut (Nurida. dkk., 2009). Secara umum

ada tiga metode pengolahan limbah yaitu secara fisik, biologis, dan kimiawi, tetapi dalam pelaksanaannya cara yang dilakukan dapat salah satu atau gabungan dari dua atau tiga metode (Mukminin. dkk., 2002).

Limbah cair yang terdiri dari bahan organik seperti pati terlarut, HCN (Utama. dkk., 2013), karbohidrat, lemak, serat, dan protein dalam pengolahan limbahnya dapat dilakukan secara biologis, yaitu dengan memanfaatkan mikroba pengurai (Mutiara, 2007). *Microbial Fuel Cells* (MFCs) adalah salah satu *Fuel cell* yang berbasis pengolahan limbah secara biologi, dan juga sebagai pendekatan baru penghasil listrik (Rabaey. dkk., 2004). Teknologi pengembangan *Fuel cell* biasanya memanfaatkan bahan bakar hidrogen murni, akan tetapi di dalam sistem MFCs digunakan materi organik seperti pati (amilum) yang akan dimanfaatkan oleh mikroba sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas metabolismenya (Schroder, 2007).

Sistem bioelektrik kimia di dalam *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dapat membangkitkan listrik dari oksidasi substrat organik dan anorganik dengan bantuan katalis mikroorganisme. Penggunaan MFC ini dinilai menguntungkan karena nilai efisiensi konversinya mendekati 100%, tertinggi diantara sistem pengkonversi biomassa lainnya (Rabaey. dkk., 2004). Zhang., dkk. pada tahun 2011 telah melakukan penelitian *Microbial Fuel Cell* (MFC) dengan menggunakan sistem reaktor *Dual chamber*, sedangkan elektoda yang digunakan adalah karbon *cloth* ukuran 25 cm² dan PEM berupa membran Nafion 117. Hasil kerapatan daya (*power density*) yang diperoleh adalah sebesar $2.61 \pm 0.18 \text{ Wm}^{-2}$.

Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri, kemudian menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui membran penukar proton (PEM) menuju katoda. Reaksi elektron dan proton terhadap oksigen terjadi di dalam katoda, selanjutnya menghasilkan air (Liu. dkk., 2005). Substrat merupakan faktor kunci untuk menghasilkan listrik secara efisien dalam MFCs. Berbagai bentuk bahan organik dapat digunakan sebagai substrat dalam MFCs, seperti glukosa, pati, asam lemak, asam amino, protein, air limbah dari manusia dan hewan (Liu, 2008).

Microbial Fuel Cells (MFCs) tidak hanya dapat menghasilkan energi listrik, namun MFCs juga dapat menurunkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah. Pada tahun 2010 Cheng. dkk., telah melakukan penelitian *Microbial Fuel Cells* (MFCs) dengan menggunakan reaktor *Single chamber* dan *Dual chamber*. Pada kedua reaktor dilakukan aklimatisasi inokulum dalam substrat selulosa, sehingga dihasilkan peningkatan nilai *power density*, dan penurunan nilai COD. Aklimatisasi merupakan suatu proses penyesuaian diri bagi mikroba di dalam persentase media pertumbuhan yang mengandung nutrisi. Aklimatisasi bertujuan agar mikroba dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan ketika ditempatkan dalam kompartemen anoda saat proses *running* reaktor berlangsung. Aklimatisasi tersebut dilakukan sebelum mikroba digunakan untuk *running* reaktor MFCs. Menurut Cheng. dkk., (2011) bahwa dengan dilakukan aklimatisasi inokulum maka dapat meningkatkan *power density* yang dihasilkan. *Power density* maksimum yang diperoleh pada reaktor *Single chamber* sebesar

1070 mWm^{-2} dan pada reaktor *Dual chamber* sebesar 880 mWm^{-2} , sedangkan penurunan nilai COD sebesar 50–70% pada reaktor *Single chamber* dan 60-80% pada reaktor *Dual chamber*.

Mengacu pada penelitian Zhang. dkk., (2011) dan Cheng. dkk., (2011) tersebut diamati bahwa kinerja sistem MFCs terhadap sifat kelistrikan dan persentase penurunan COD yang dihasilkan masih dapat untuk dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberi tambahan informasi berupa metode pengolahan limbah cair sistem MFCs *Dual chamber* dengan menggunakan beberapa komponen pendukung kinerja MFCs yang berbeda dari penelitian sebelumnya. *Dual chamber* sengaja dipilih agar dapat dilakukan variasi komponen MFCs pada katolitnya (katoda elektrolit). Pemanfaatan limbah cair organik tapioka sebagai pengganti substrat karena di dalamnya mengandung senyawa organik berupa pati terlarut, mikroba *mix culture* (komersil) sebagai mikroorganisme pendegradasi, penggunaan karbon *cloth* sebagai elektroda, dan penggunaan katolit (katoda elektrolit) berupa KMnO_4 dalam beberapa variasi karena KMnO_4 merupakan oksidator kuat, diharapkan mampu memberikan hasil kelistrikan yang lebih tinggi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh aklimatisasi inokulum mikroba (*mix culture*) sebelum dilakukan *running* reaktor *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs) terhadap kelistrikan?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi konsentrasi katolit KMnO_4 terhadap sifat kelistrikan?
3. Bagaimanakah pengaruh proses pengolahan limbah cair tapioka menggunakan metode *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs) terhadap nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Reaktor adalah jenis SBMFCs *Dual chamber* dan waktu *running* 60 jam.
2. Jenis mikroorganisme yang digunakan adalah inokulum *mix culture* (komersil Degra Simba) yang berisi komposisi *Lactobacillus sp.*, *Saccharomyces sp.*, *Acetobacter sp.*, dan *Bacillus sp.*, kemudian diaklimatisasi pada rasio 100% media YEP, 70% media YEP, dan 30% media YEP.
3. Elektroda yang digunakan adalah karbon *cloth* (bentuk *paper*) dengan luas permukaan total $96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, substrat adalah limbah cair tapioka, dan katolit yang digunakan adalah KMnO_4 konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm.
4. Analisis hasil data yang diperoleh berupa *Optical density* (A), *Power density* (mWm^{-2}), Energi listrik (Joule), dan nilai *Chemical Oxygen Demand* (mgL^{-1}).

D. Tujuan Penulisan

Beberapa tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan aklimatisasi inokulum mikroba (*mix culture*) sebelum dilakukan *running* reaktor *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs) terhadap nilai kelistrikan yang dihasilkan.
2. Mengkaji pengaruh variasi konsentrasi katolit KMnO_4 terhadap nilai kelistrikan yang dihasilkan.
3. Mengetahui penurunan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah cair tapioka setelah dilakukan pengolahan limbah menggunakan sistem *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menambahkan informasi dari penelitian sebelumnya mengenai beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

1. Metode pengolahan limbah cair organik tapioka dengan menggunakan metode *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs) sistem *Dual chamber*.
2. Metode pengolahan limbah *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs) dengan menggunakan perlakuan aklimatisasi bakteri *mix culture*, jenis elektroda karbon *cloth* (bentuk *paper*), dan variasi konsentrasi katolit KMnO_4 .
3. Perubahan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah cair tapioka yang telah mengalami pengolahan limbah metode *Salt Bridge Microbial Fuel Cells* (SBMFCs).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu seperti berikut:

1. Aklimatisasi inokulum mikroba *mix culture* yang terdiri dari 4 jenis mikroba secara umum dapat menaikkan hasil kelistrikan yang diperoleh.
2. Pengaruh variasi konsentrasi katolit KMnO_4 terhadap hasil kelistrikan berbeda-beda pada masing-masing reaktor.
 - Reaktor A (kontrol atau blanko) memiliki titik maksimum hasil kelistrikan pada variasi KMnO_4 25 ppm, yaitu *power density* sebesar $103,85 \text{ mWm}^{-2}$ dan energi listrik sebesar 206,13 Joule.
 - Reaktor B1 memiliki titik maksimum hasil kelistrikan pada variasi KMnO_4 50 ppm, yaitu menunjukkan *power density* sebesar $169,50 \text{ mWm}^{-2}$ dan energi listrik sebesar 190,36 Joule, sedangkan pada reaktor B2 menunjukkan *power density* sebesar $150,34 \text{ mWm}^{-2}$ pada variasi KMnO_4 50 ppm, dan energi listrik sebesar 169,52 Joule pada KMnO_4 10 ppm.
3. Setelah dilakukan pengolahan limbah dengan metode MFCs *Dual chamber*, maka diperoleh COD minimum reaktor B2 sebesar $257,5 \text{ mgL}^{-1}$ pada jam terakhir atau jam ke-60. Hasil nilai yang telah diketahui tersebut, maka dapat ditentukan bahwa reaktor B2 berada di bawah nilai baku mutu limbah sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.05 Tahun 2014 bahwa batas COD maksimum limbah cair tapioka adalah sebesar 300 mgL^{-1} .

B. Saran

Saran yang dapat diberikan agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik, yaitu sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan uji dengan dengan variasi yang berbeda-beda agar dapat diketahui titik optimumnya.
2. Dilakukan pengujian sistem MFC terhadap berbagai jenis elektroda dan uji SEM agar diketahui permukaan elektroda sebelum dan setelah digunakan yang berkaitan dengan adesi mikroba dan konduktivitas elektriknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aelterman, P.; Versichele. M.; Marzorati. M.; Boon. N.; Verstraete. W., Loading Rate and External Resistance Control The Electricity Generation Of Microbial Fuel Cells With Different Three-dimensional Anodes. *Journal Bioresour. Technol* 2008, 99, 8895-8902.
- Afandi, T.; Magdalena Putri.; Grieny Nuradiatmida.; Adzimatur Muslihasari.,; Aplikasi limbah cair tapioka sebagai sumber energi alternatif berupa biogas. *PKMP* 2008, Universitas Negeri Malang.
- Agung R, T.; Winata, S. R., Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Dengan Menggunakan Teknologi Plasma. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 2010, Vol. 2(2): 19-28.
- Alearts, G.; Santika., Metode Penelitian Air. *Usaha Nasional Surabaya* <http://www.dephut.go.id> 1990, diakses pada tanggal 2 Mei 2013.
- Anwari I. M., Glukosa dan Mekanisme Energi. *Polton Sports Science & Performance Lab.* 2007.
- APHA.; AWWA.; WPCF., Standard Methods For Examination Of Water and Wastewater, *American Public Health Administration, Washington DC.* 1976.
- Arwiyanto T.; Asfanudin R.; Wibowo A.; Martoredjo T.; Dalmadiyo G., Penggunaan Bacillus Isolat Lokal Untuk Menekan Penyakit Lincat Tembakau Temanggung. *Berkala Penelitian Hayati* 2007, Temanggung.
- Barnett, J.A.; R.W Payne.; D. Yarrow, L., Yeast : Characteristics and Identification. 3rd eds. UK 2000, Cambridge University Press.
- Bassett, J.; R.C. Denney.; G.H. Jeffery.; dan J. Mendham., Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik, *Penerbit Buku Kedokteran EGC* 1994, Jakarta.
- Bird T., *Kimia Fisika untuk Universitas. Cetakan ke-2* 1993, Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Cal. Mark P.; Dimotakis. Emmanuel D.; Economy. James.; Larson. Susan M.; Rood. Mark J., The Effect Of Chemical Modification Of Activated Carbon Cloth On The Adsorption Capacity Of Organics And Water Vapor. *Journal Sciences* 1995, Urbana : University of Illinois at Urbana-Champaign IL, 61801.

- Carrette, L.; Friedrich, K.A.; Stimming, U., *Fuel Cell-Fundamentals and Applications* 2001. Fuel cell. 1(1):1-35.
- Chae, Kyung, Jung.; Choi.; Mijin.; Ajayi.; Folusho. F.; Park, Wooshin.; Chang, In Seop.; Kim, In S., Mass Transport Through a Proton Exchange Membrane (Nafion) in Microbial Fuel Cells *Energy and Fuels*, 2008, (22): 169-176.
- Chandra, B., Pengolahan Limbah Cair Industri. *Pengantar kesehatan lingkungan* 2005, Jakarta: Penerbit buku kedokteran EGC.
- Chaudhari S. K.; Lovely D. R., Electricity Generation by Direct Oxidation Of Glukose In Mediator-less Microbial Fuel Cell, *Journal Nature Biotechnology* 2003, vol 21, 1229-1232.
- Cheng S.; Liu H.; Logan B.E., *Environ. Sci. Biotechnology* (2006) 110-114.
- Cheng, S.A.; Logan, B.E., Ammonia Treatment of Carbon Cloth Anodes To Enhance Power Generation of Microbial Fuel Cells. *Journal Electrochem. Commun* 2007, 9, 492-496.
- Cheng, Shaoan.; Kiely, Patrick.; Logan, Bruce E., Pre-Acclimation Of A Waste Water Inoculum To Cellulose In An Aqueous-Cathode MEC Improves Power Generation In Air-Cathode MFCs. *Journal Sci and Technol* 2010.
- Cheng. S.; Liu H.; Logan BE., Increased Performance Of Single Chamber Microbial Fuel Cell Using an Improved Cathoda Structure. *Journal Electrochemistry Communications* 2006, 8: 489-494.
- Claus.; Berkeley., Endospore-Forming Rods and Cocci. dalam: Krieg NR dan Jolt JG (eds), *Bergeys Manual of Determinative Bacteriology* 1984. Williams and Wilkins. Baltimore, 529-551.
- Davis, F.; S. P. J. Higson, "Biofuel cells--Recent advances and applications," *Biosens Bioelectron*, vol. 22, pp. 1224-1235, 2007.
- Day, R.A.; Underwood., Analisis Kimia Kuantitatif. 2002, Jakarta:Erlangga.
- Deng, Q.; Li, X.Y.; Zuo, J.E.; Ling, A.; Logan, B.E., Power Generation Using An Activated Carbon Fiber Felt Cathode In An Upflow Microbial Fuel Cell. *Journal Power Sources* 2010, 195, 1130-1135.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Direktorat Jenderal Industri dan Dagang Kecil Menengah: Tipe dan Sumber Pembangkitan Limbah Industri, 2003.

- Di Lorenzo, M.; Scott, K.; Curtis, T.P.; Head, I.M., Effect Of Increasing Anode Surface Area On The Performance Of a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Journal Chem. Eng.* 2010, 156, 40-48.
- Du, Zhuwei.; Li, Haoran.; Gu, Tingyue., A State Of The Art Review On Microbial Fuel Cells: A Promising Technology For Wastewater Treatment And Bioenergy. *Biotechnology Advances* 2007, 25, 464-482.
- Fen, H.L., Physicochemical and Functional Properties of Enzyme Modified Tapioca Starches. *Thesis* 2007, Faculty of Sains, Universiti Sains Malaysia.
- Firdus.; Muchlisin Z.A., Degradation Rate Of Sludge and Water Quality of Tangki Septik (Water Closed) by Using Starbio and Freshwater Catfish as Biodegradator. *Jurnal Natural* 2010, Vol.10, No. 1.
- Fitrialdi., Microbial Fuel Cell Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Bakteri *Escherichia coli*. 2011. Padang.
- Gorby, Y.A.; S. Yanina.; J.S McLean.; K.M Rosso.; D. Moyles., Electrically Conductive Bacterial Nanowires Produced by *Shewanella Oneidensis* Strain MR-I and Other Microorganism. *J. Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2006, 03: 11358-11363.
- Gralnick, Jeffery, A., <http://www.bti.umn.edu/faculty/biogralnick.html>, *Harnessing bacterial respiration* 2010, diakses 1 april 2014.
- Guerrero-Rangel N. dkk., Comparative Study Of Three Cathodic Electron Acceptors On The Performance Mediatorless Microbial Fuel Cell. *Int. Journal Electrical and Power Engineering* 2010, (4) 1: 27-31.
- Hoogers, G., Fuel Cell Technology Handbook Trier University of Applied Sciences. 2002, Jerman: Birkenfeld.
- Idham, F.; Latifah, S., Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell. *Karya Ilmiah* 2009, Bogor: Fakultas Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor.
- Karthikeyan, R.; K.S. Kumar.; M. Murugesan.; S. Berchmans.; V. Yegnaraman., Bioelectrocatalysis of Acetobacter Aceti and Gluconobacter Roseus for Current Generation. *Environmental Science and Technology* 2009, Vol. 43, 8684-8689.
- Khopkar, S.M., Konsep Dasar Kimia Analitik, *UI Press* 2003, Jakarta.

- Kim, B. H.; Park, H. S.; Kim, H. J.; Kim, G. T.; Chang, I. S.; Lee, J.; Phung, N. T., Challenges in Microbial Fuel Cell Development and Operation, *J. Appl Microbiol Biotechnol* 2007, 76: 485 - 494.
- Kim, H. J.; Park., H. S.; Hyun, M. S.; Chang, I. S.; Kim, M.; Kim, B. H., A Mediator-Less Microbial Fuel Cell Using a Metal Reducing Bacterium, *Shewanella putrefaciens*, *J. Enzyme Microb Technol* 2002, 30: 145-152.
- Kininge, Pallavi T. dkk., Microbial Fuel Cell for Production of Bioelectricity from Whey and Biological Waste Treatment. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 2011. ISSN 0976-2612, Vol. 2. Hal. 263-268.
- Kohlmann, Frederick J., What Is Ph, And How It Measured?: A *Technical Handbook For Industry* 2003, Hack company.
- Kurniawati, Laili.; Sanjaya.; I Gusti M., Pengaruh Jenis Bakteri Selulolitik Terhadap Efisiensi Sel Bakar Mikroba. *UNESA Journal of chemistry* 2013, vol. 2 No. 2 May 2013. Surabaya: UNESA.
- Larminie, J.; dan Dicks, A.; Fuel Cell System Explained, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.,Wiley, 2000, New York, 308.
- Lee.; Won Jeon, Seung.; Young, Bo.; Doo Hyun, Park., Effect of Bacterial Cell Size on Electricity Generation In a Single-Compartmented Microbial Fuel Cell. *Biotechnol let* 2010, 32: 483-487.
- Lehninger, albert L. Dasar-dasar Biokimia Jilid 2, 1994, Jakarta: Erlangga.
- Lewis, N.; D.G. Nocera., Powering The Planet: Chemical Challenges In Solar Energy Utilixation. *Journal Sciences* 1995, PNAS 103(43): 15729-15723.
- Li, F.X.; Sharma, Y.; Lei, Y.; Li, B.K., Zhou, Q.X., Microbial Fuel Cells: The Effects Of Configurations, Electrolyte Solutions, and Electrode Materials On Power Generation. *Appl J. Biochem Biotechnol* 2010, 160. 168-181.
- Li, W.-W., Yu, H.-Q., He, Z., Towards Sustainable Wastewater Treatment by Using Microbial Fuel Cells-Centered Technologies. *Energy Environ. Sciences* 2014, 7 (3), 911–924.
- Liu H.; Logan B. E., *Environmental Science Technology* 2004, 38 4040.
- Liu, H., Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from Waste Water. *Anaerobic Boiteknology for Bioenergy Production: Principles and Aplications*, S.K Khanal, Iowa, Blackwell Publishing 2008, 221-243.

- Liu, H.; Cheng, S.; Logan B. E., Power Generation in Fed-Batch Microbial Fuel Cell as a Function of Ionoc Strength, Temperature, and Reactor Configuration. *Journal Environ Sci and Technol* 2005, 39: 5488-5493.
- Logan, B. E., Electricity Production from Xylose in Fed-Batch and Continous-Flow Microbial Fuel Cell, *Journal: Environmental Science and Technology* 2008.
- Logan, B. E., Microbial Fuel Cell: Methodology and Technology, *Journal: Environmental Science and Technology* 2006, 40(17): 5181-5192.
- Logan, B.E. Microbial Fuel Cell. 2008, New Jersey: John & Sons Ltd
- Logan, B.E., Microbial Fuel Cells. *John Wiley & Sons Inc Journal* 2008, Hoboken, New Jersey.
- Logan, B.E.; Murano, C.; Scott, K.; Gray, N.D.; Head, I.M., Electricity Generation From Cysteine In A Microbial Fuel Cell. *Journal Water Res.* 2005, 39, 942-952.
- Lovley, D.R., The Microbe Electric: Conversion Of Organic Matter To Electricity. *Curr. Opin. Biotech* 2008, 19 (6), 564–571.
- Makfoeld, D., Chemical Oxygen Demand. *Kamus Istilah Pangan Nutrisi* 2002, Yogyakarta: Penerbit kanisius.
- Metcalf.; Eddy., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, 4th ed. *Mc Graw-Hill* 2003, Singapore.
- Milasari, N.I.; Ariyani, S.B., Pengolahan Limbah Cair Kadar COD Dan Fenol Tinggi Dengan Proses Anaerob Dan Pengaruh Mikronutrient Cu: Kasus Limbah Industri Jamu Tradisional. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. *Skripsi* 2010.
- Min, B.; Logan, B.E., Continuous Electricity Generation From Domestic Wastewater And Organic Substrates In A Flat Plate Microbial Fuel Cell. *Journal Environmental Sciences & Technology* 2004, 38, 5809-5814.
- Mukminin, Amirul.; Wignyanto.; Hidayat, Nur., Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tapioka Dengan Sistem Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). *J. Teknologi Pertanian Brawijaya* 2003, Vol 4 (2): 91 – 107.
- Murray, R. K.; D. K. Granner.; P.A. Mayer.; V. W. Rodwell., Biokimia Harper. *Edisi ke-24 Diterjemahkan oleh A. Harjono* 2003, EGC. Jakarta.

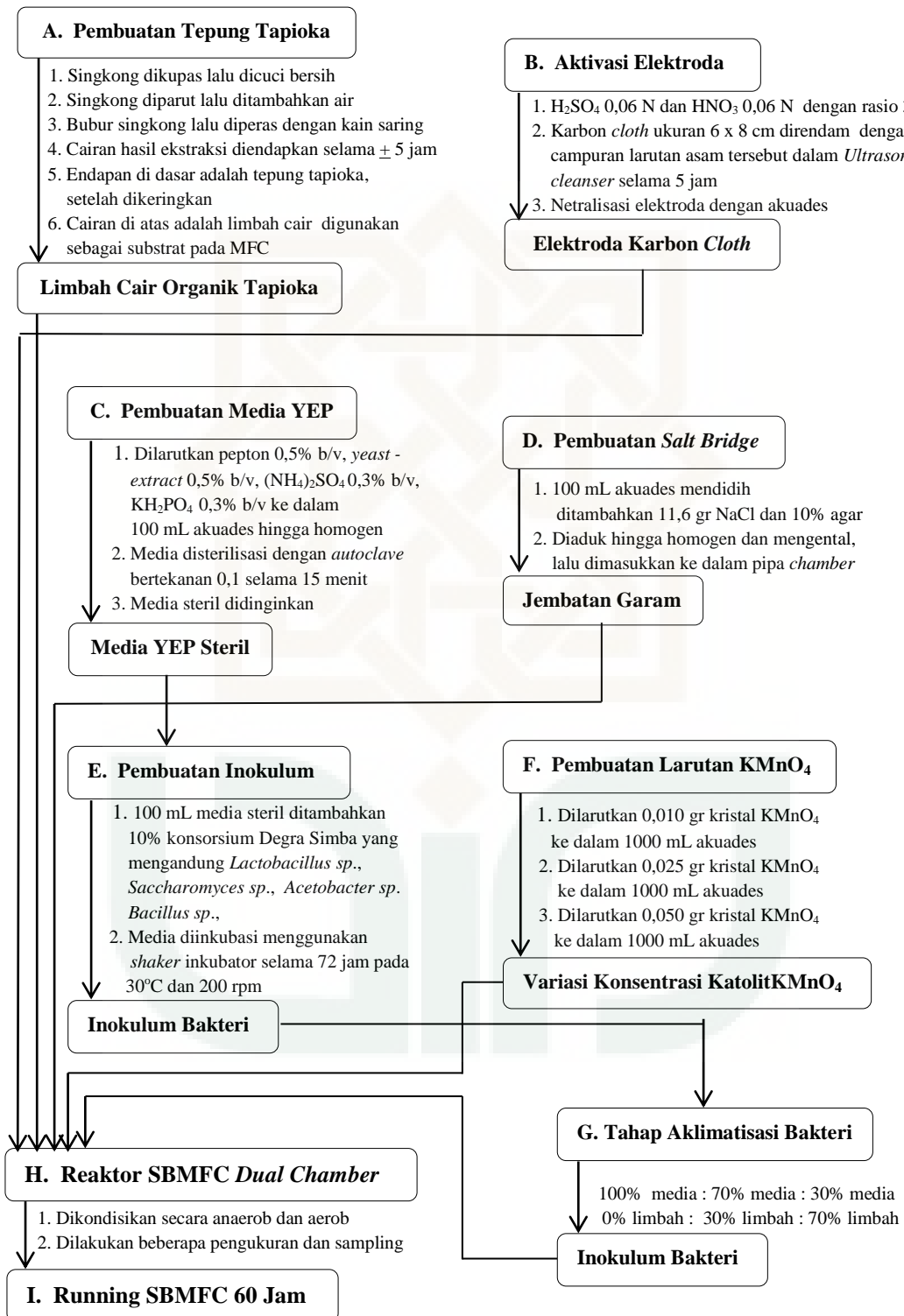
- Muthukumar, S. Shanmuga Priya and T. Sangeetha, 2014. Impact of Salt on Bioelectricity Generation in a Dual-Chambered Microbial Fuel Cell Using Sago-Processing Wastewater. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 5 (4): 376-386.
- Mutiara, L., Pemanfaatan Limbah Cair Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Microbial Fuel Cell. *Lomba Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa ITB* 2007, Bandung.
- Nelson, D.L.; M.M Comx., Lehninger: Principles of Biochemistry 4th Edition. 2008, New York: W.H Freeman and Company 522-549.
- Novitasari, Deni., Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. *Skripsi* 2011, Fakultas Teknik. Depok: Universitas Indonesia.
- Nurida, Lia Isvaricha.; Wignyanto.; Wijana, Susingih., Penentuan Jumlah Penambahan Inokulum dan Bahan Penyangga Terhadap Kualitas Effluent Pada Sistem Pengolahan Limbah Cair Tapioka. 2000, Teknologi Industri Pertanian FTP-UB.
- Permana, dani., R. Haryadi, Hari., E. Putra, Herlian., dkk. Evaluasi Penggunaan Metilen Biru Sebagai Mediator Elektron pada Mikrobial Fuel Cell dengan Biokatalis Acetobacter Aceti. *Jurnal Sains Teknologi Lingkungan* 2013, Bandung: puslit LIPI Bandung.
- Poedjiadi, Dr. Prof. Anna.; Supriyanti, Dr. F.M. Titin., Dasar-dasar Biokimia, 2009, Jakarta: Universitas Indonesia Press (UI-Press).
- Putra, Y., Pengelolaan Limbah Rumah Tangga (Upaya Pendekatan Dalam Arsitektur). *Skripsi Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara: Sumatra Utara* 2011.
- Rabaey K.; G. Lissens.; W. Verstrate., Microbial Fuel Cell: Performance and Perspective. *Journal Sciences* 2004, Belgium: Ghent University.
- Rabaey, K.; Verstraete, W., Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation, *TRENDS in Biotechnology* 2005, 23(6): 291-298.
- Rabaey, K.; G. Lisseens.; S.D. Siciliano.; W. Verstraete., A Microbial Fuel Cell Capable of Converting Glucose to Electricity at High Rate and Efficiency, *Biotechnology Letters* 2003, Vol. 25, 1531-1535
- Rabaey, K.; Angenent, L.; Schroder, U.; Keller, J., Bioelectrochemical Systems: From Extracellular Electron Transfer To Biotechnological Application, 1st ed. *IWA Publishing* 2009, Lodon.

- Rabaey, K.; Boon, N.; Siciliano, S. D.; Verhaege, M.; Verstraete, W., Biofuel Cell Select for Microbial Consortia that Self-Mediate Electron Transfer. *J. Appl. Environ. Microbiol* 2004, 70: 5373-5382.
- Rabaey, K.; Verstraete, W., Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology For Energy Generation. *Journal Trends Biotechnol* 2005, 23 (6), 291–298.
- Rachman, Yulfika., Pengaruh Konsentrasi Substrat Glukosa dan Kalium Permanganat Terhadap Voltase dan Kuat Arus pada Sistem Microbial Fuel Cell dengan Elektroda Karbon dan Seng Menggunakan Kultur Campuran *Saccharomyces cereviceae* dan *Saccharomyces fibuligera*. Skripsi 2013, Bandung: FMIPA UNJANI Cimahi.
- Ramdhani, M., Dasar-dasar Listrik AC. 2003. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.
- Ray, B.; A. Bhunia., Fundamental Food Microbiology 4th edition. *CRC Press* (2008), Taylor & Francis Group, United States of America.
- Reguera, G.; Kevin, D.; Mehta, T.; Nicole, J. S.; Touminen, M. T.; Lovley, D. R., Extracellular Elektron Transfer Via Microbial Nanowires. *Nature*. 2005, 435:1098-1101.
- Sa'adah, N. R.; P, Winarti., Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Lumpur Aktif Proses Anaerob. *Journal* 2009, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Safitri, S., Sistem Perencanaan MFC. *Jurnal* 2009, Depok: FKM UI.
- Schroder, U., Anodic Elektron Transfer Mechanisms in Microbial Fuel Cells and Their Energy Efficiency. *Journal Phys. Chem* 2007, 9: 2619-2629.
- Scott, K.; Cotlarciuc, I.; Head, I.; Katuri, K.P.; Hall, D.; Lakeman, J.B.; Browning, D., Fuel Cell Power Generation From Marine Sediments, Investigation of Cathode Materials. *Journal Chem. Technol. Biotechnol.* 2008, 83, 1244-1254.
- Setiawati, Made Diah., Uji Potensi Konsorsium Bakteri Selulolitik (*Spodoptera Litura*) sebagai Bio-Toilet pada Degradasi Feses Sapi. Skripsi 2011. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Sharma, S.K.; Bulchandani., Comparative Study of Various Substrates and Microorganism in Laboratory Designed Microbial Fuel Cell. *International Journal of Research in Chemistry and Environment* 2012, Vol. 2 issue 3 .

- Shukla, A. K.; Suresh, P.; Berchmans, S.; Rajendran, A., Biological Fuel Cells and Their Applications. *J. Curr Sci*, 2004, 87: 455-468.
- Sincero, Arcadio P., Chemical oxygen Demand. *Physical-Chemical treatment Of Water and Wastewater* 2002, London: Penerbit CRC Press LLC.
- Soeriaatmaja, R.E., Asas-asas Pengolahan Limbah Tapioka. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup 1984, Jakarta.
- Sun, J.J.; Zhao, H.Z.; Yang, Q.Z.; Song, J.; Xue, A., A Novel Layer-By-Layer Self-assembled Carbon Nanotube-based Anode, Preparation, Characterization, and Application In Microbial Fuel Cell. *Journal Electrochim* 2010, 55, 3041-3047.
- Sutapa, I.D.A., Uji Korelasi Pengaruh Limbah Tapioka Terhadap Kualita Air Sumur. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan* 2000, Volume 02, No. 1, 47-65.
- Syamsudin, S. Purwati.; A. Taufick R., Efektivitas Aplikasi Enzim Dalam Sistem Lumpur Aktif Pada Pengolahan Air limbah Pulp Dan Kertas. *Balai Besar Pulp dan Kertas: Bandung. Berita Selulosa*, Vol. 43, No. 2 (2006) 83-92).
- Ter Heijne, A.; Hamelers, H.V.M.; Saakes, M.; Buisman, C.J.N., Performance Of Non-porous Graphite and Titanium-based Anodes In Microbial Fuel Cells. *Journal Electrochim. Acta* 2008, 53, 5697-5703.
- Thomas, S., Fuel Cells: Green Power. *Journal Energy Research* 1999, 10: 18.
- Utama, A.W.; A.M Legowo.; A.N al Baarry., Produksi Alkohol, Nilai ph, dan Produksi Gas Pada Bioetanol Dari Susu Rusak Dengan Campuran Limbah Cair Organik, 2013.
- Wang, X.; Cheng, S.A.; Feng, Y.J.; Merrill, M.D.; Saito, T.; Logan, B.E., Use Of Carbon Mesh Anodes and The Effect of Different Pretreatment Methods on Power Production In Microbial Fuel Cells. *Journal Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 6870-6874.
- Wei, J.; Liang, P.; Huang, X., Recent Progress In Electrodes For Microbial Fuel Cells. *Journal Bioresource Technology* 2011, 07.019.
- Winaya, I Nyoman Suprpta, dkk., Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cell. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram* 2011, vol. 5 no. 1 : (57-63).

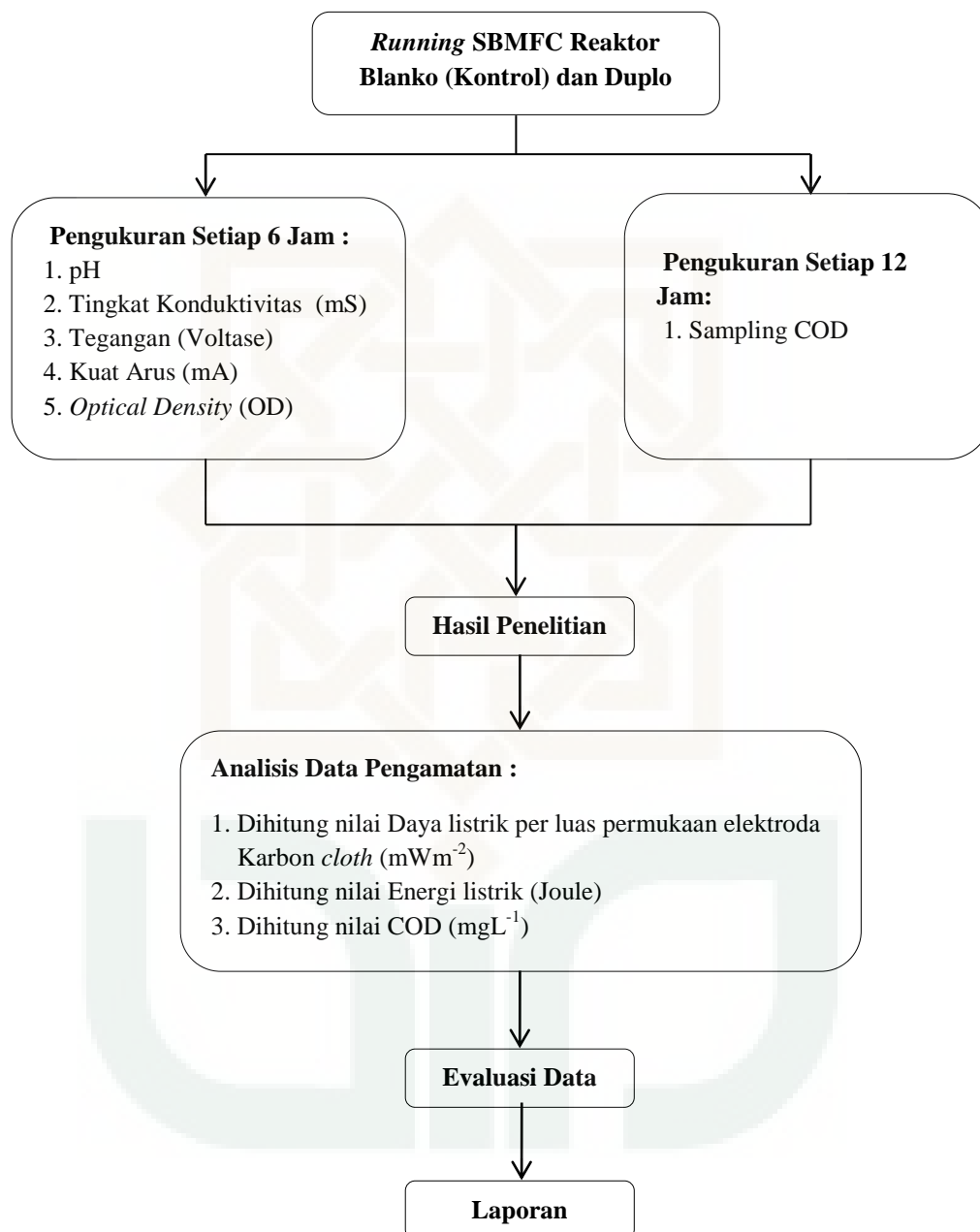
- Yanti, Novi. Pengaruh Penambahan Volume Bakteri *Pseudomonas fluorescens* Terhadap Voltase Sel Bahan Bakar Mikroba. Skripsi 2011. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- You, S.; Q. Zhao.; J. Zhang.; J. Jiang.; S. Zhao., A Microbial Fuel Cell Using Permanganate as The Cathodic Electron Acceptor, *Journal of Power Sources* 2006, Vol. 162, 1409-1415.
- Yu, E.H.; Cheng, S.A.; Scott, K.; Logan, B.E., Microbial Fuel Cell Performance With Non-Pt Cathode Catalysts. *J. Power Sources* 2007, 171, 275-281.
- Zahara, N. C., Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik. Skripsi 2011, Fakultas Teknik, Depok: Universitas Indonesia.
- Zhang, F.; Saito, T.; Cheng, S.A.; Hickner, M.A.; Logan, B.E., Microbial Fuel Cell Cathodes With Poly (dimethylsiloxane) Diffusion Layers Constructed Around Stainless Steel Mesh Current Collectors. *Journal Environ. Sci. Technol* 2010, 44, 1490-1495.
- Zhang, F.; Cheng, S.A.; Pant, D.; Van Bogaert, G.; Logan, B.E., Power Generation Using An Activated Carbon And Metal Mesh Cathode In A Microbial Fuel Cell. *Journal Electrochem* 2009. Commun. 11, 2177-2179.
- Zhang, F.; Saito, T.; Cheng, S.A.; Hickner, M.A.; Logan, B.E., Microbial Fuel Cell Cathodes With Poly (Dimethylsiloxane) Diffusion Layers Constructed Around Stainless Steel Mesh Current Collectors. *Journal Environ. Sci. Technol* 2010, 44, 1490-1495.
- Zhang, Liang.; Zhua, Xun.; Li, Jun.; Liaoa, Qiang.; Yea, Dingding., A Key Laboratory of Low-grade Energy Utilization Technologies and Systems, Chongqing University Chongqing. *Journal* 2011, 400030.
- Zhao, F.; Rahunen, N.; Varcoe.; Chandra.; Avignone-Rossa, C.; Thumser, A.E.; Slade, R.C.T., Activated Carbon Cloth as Anode For Sulfate Removal In A Microbial Fuel Cell. *Journal Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 4971-4976.
- Zuhri, S., Pengolahan Limbah Cair Tapioka Secara Bio-Chemico-Fisis, 1995, Yogyakarta: PAM SKL DepKes RI.

Lampiran 1. Skema dan alur penelitian

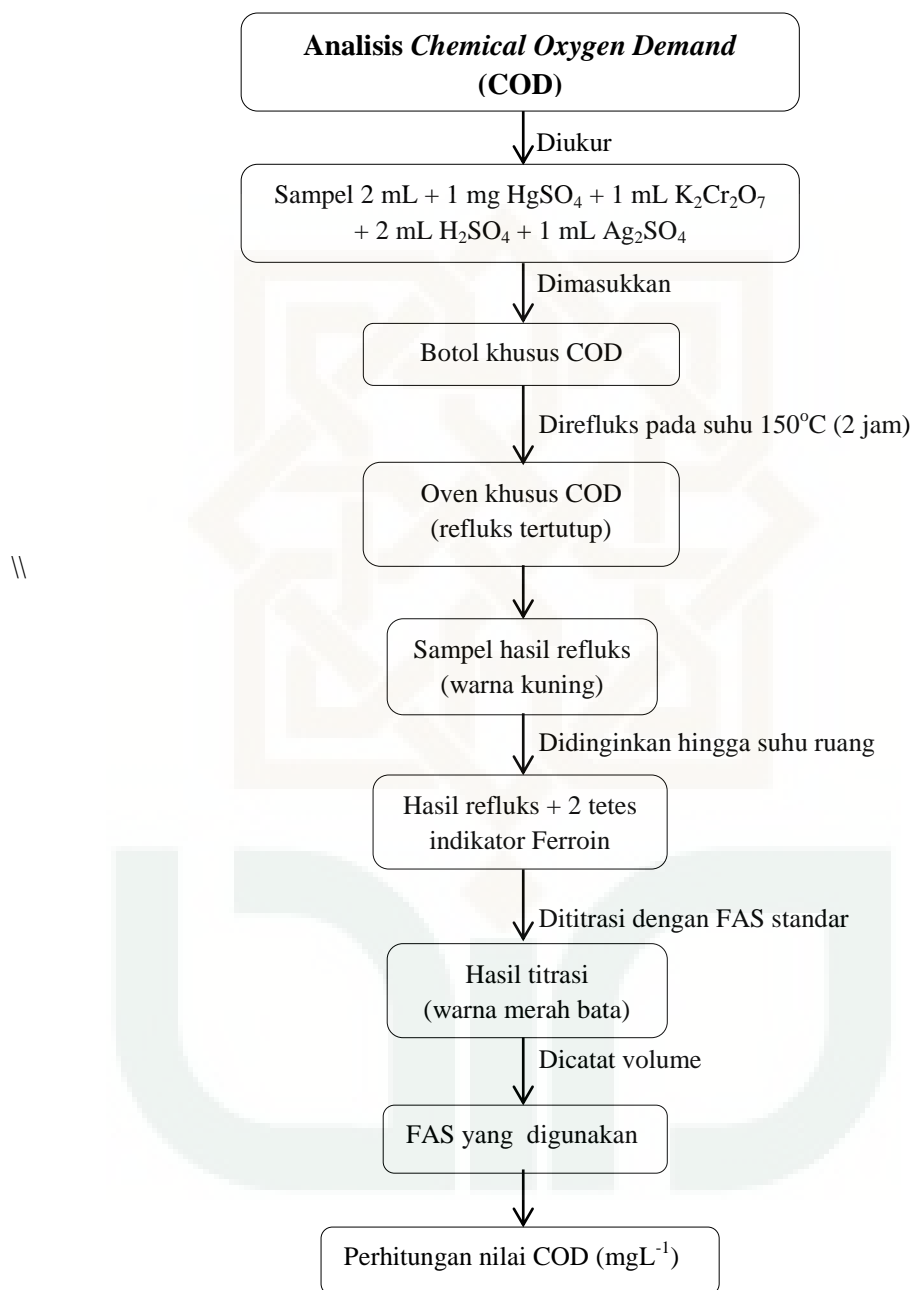


Gambar 1 Skema dan alur penelitian

Lampiran 2. Proses Pengukuran pada *Running* SBMFC Reaktor Blanko (Kontrol) dan Duplo



Gambar 2. Bagan alir proses pengukuran pada *Running* SBMFC Reaktor Blanko (Kontrol) dan Duplo

Lampiran 3. Proses analisis COD (mgL^{-1}) limbah cair tapiokaGambar 3. Bagan alir proses analisis COD (mgL^{-1}) limbah cair tapioka

Lampiran 4. Data Hasil Penelitian

A. Hasil Pengukuran Aklimatisasi Bakteri (Duplo)

Tabel 2.2 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 100% Media YEP
(900 mL media + 100 mL inokulum)

Waktu (Jam)	pH 1	pH 2	pH Rerata	OD 1	OD 2	OD Rerata
00	6,13	6,08	6,11	0,289	0,278	0,284
06	6,14	6,00	6,07	0,350	0,350	0,350
12	6,28	6,27	6,28	0,400	0,440	0,420
18	6,46	6,45	6,46	0,440	0,445	0,443
24	6,50	6,66	6,58	0,467	0,435	0,451
30	6,54	6,72	6,63	0,473	0,460	0,467
36	6,62	6,68	6,65	0,532	0,543	0,538
42	6,90	6,97	6,94	0,554	0,540	0,547
48	7,09	7,04	7,07	0,640	0,620	0,630
54	7,16	7,17	7,17	0,635	0,656	0,646
60	7,20	7,27	7,24	0,799	0,770	0,785

Tabel 2.3 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 70% Media YEP
(600 mL media + 100 mL inokulum + 300 mL limbah)

Waktu (Jam)	pH 1	pH 2	pH Rerata	OD 1	OD 2	OD Rerata
00	5,19	5,27	5,23	0,238	0,219	0,229
06	5,01	4,97	4,99	0,239	0,227	0,233
12	4,82	4,76	4,79	0,237	0,250	0,244
18	4,54	4,69	4,62	0,258	0,347	0,303
24	4,62	4,69	4,66	0,346	0,367	0,357
30	4,60	4,67	4,64	0,559	0,549	0,554
36	4,70	4,80	4,75	0,728	0,762	0,745
42	4,62	4,73	4,68	0,858	0,849	0,854
48	4,61	4,75	4,68	0,829	0,72	0,775
54	4,72	4,80	4,76	0,760	0,858	0,809
60	4,98	5,10	5,04	0,837	0,853	0,845

Tabel 2.4 Aklimatisasi Pertumbuhan Bakteri dalam 30% Media YEP
(200 mL media + 100 mL inokulum + 700 mL limbah)

Waktu (Jam)	pH 1	pH 2	pH Rerata	OD 1	OD 2	OD Rerata
00	4,40	4,39	4,39	0,456	0,432	0,444
06	4,29	4,32	4,31	0,498	0,462	0,480
12	4,11	4,09	4,10	0,587	0,627	0,607
18	4,08	4,07	4,08	0,569	0,589	0,579
24	4,04	4,02	4,03	0,680	0,732	0,706
30	4,00	3,99	3,99	0,712	0,647	0,680
36	4,03	4,00	4,02	0,736	0,538	0,637
42	3,97	3,97	3,97	0,537	0,540	0,539
48	4,01	4,07	4,04	0,469	0,508	0,489
54	4,01	4,06	4,04	0,478	0,447	0,463
60	4,10	4,18	4,14	0,470	0,489	0,480

B. Hasil Pengukuran *Running* Reaktor SBMFC

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

Tabel 2.5 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A)
pada Katolit KMnO_4 10 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	3,75	1,63	0,549	0,138	0,20
06	3,79	1,99	0,559	0,170	0,15
12	3,77	2,10	0,557	0,192	0,17
18	3,77	2,21	0,527	0,168	0,20
24	3,78	2,50	0,557	0,264	0,26
30	3,82	2,60	0,549	0,243	0,22
36	3,80	2,64	0,579	0,234	0,30
42	3,88	2,78	0,617	0,229	0,31
48	3,69	2,94	0,580	0,398	0,35
54	3,93	3,96	0,591	0,434	0,37
60	4,00	3,45	0,607	0,519	0,48

Tabel 2.6 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A)
pada Katolit KMnO_4 25 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,16	1,67	0,387	0,502	0,51
06	4,08	2,07	0,397	0,584	1,15
12	3,75	2,15	0,346	0,640	1,33
18	3,97	2,21	0,413	0,608	1,57
24	3,92	2,20	0,418	0,542	1,43
30	3,99	2,16	0,437	0,587	1,66
36	3,92	3,08	0,354	0,627	1,59
42	4,06	3,21	0,312	0,596	1,58
48	3,99	3,34	0,424	0,589	1,43
54	4,49	3,53	0,451	0,597	1,60
60	4,70	3,78	0,412	0,604	1,58

Tabel 2.7 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A)
pada Katolit KMnO_4 50 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	3,78	1,13	0,408	0,324	0,24
06	3,66	1,70	0,392	0,724	0,59
12	3,59	1,91	0,403	0,385	0,60
18	3,60	1,90	0,433	0,356	0,57
24	3,51	2,17	0,416	0,434	0,80
30	3,53	2,28	0,457	0,500	0,98
36	3,52	2,37	0,490	0,546	1,00
42	3,59	2,38	0,452	0,601	1,61
48	3,60	2,23	0,438	0,403	0,50
54	3,69	2,62	0,442	0,297	0,18
60	3,89	2,75	0,425	0,259	0,21

2. Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1 dan B2)

a. Katolit KMnO_4 Konsentrasi 10 ppm

Tabel 2.8 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B1)
pada Katolit KMnO_4 10 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,07	3,10	0,369	0,235	0,84
06	4,02	3,64	0,419	0,259	0,63
12	3,99	3,84	0,307	0,191	0,51
18	3,96	3,58	0,369	0,208	0,55
24	3,88	3,84	0,372	0,276	0,73
30	3,92	3,87	0,377	0,266	0,71
36	3,88	3,92	0,397	0,285	0,80
42	3,87	3,91	0,416	0,371	0,94
48	3,68	4,08	0,407	0,461	1,01
54	3,88	4,01	0,430	0,529	1,03
60	3,87	4,13	0,410	0,535	1,05

Tabel 2.9 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B2)
pada Katolit KMnO_4 10 ppm

Waktu (Jam)	PH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,10	2,91	0,297	0,265	0,68
06	4,06	3,31	0,353	0,227	0,49
12	4,03	3,84	0,396	0,310	0,83
18	3,98	3,63	0,398	0,347	0,91
24	3,94	4,10	0,375	0,340	0,87
30	3,90	4,24	0,421	0,381	0,95
36	3,91	4,26	0,419	0,395	0,98
42	3,93	4,11	0,447	0,408	1,01
48	3,74	4,33	0,452	0,585	1,06
54	3,91	4,37	0,421	0,643	1,17
60	3,92	4,36	0,437	0,654	1,20

b. Katolit KMnO_4 Konsentrasi 25 ppm

Tabel 2.10 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B1)
pada Katolit KMnO_4 25 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,12	2,08	0,308	0,633	0,72
06	4,12	2,38	0,284	0,749	1,52
12	3,96	2,31	0,319	0,706	1,37
18	4,05	2,35	0,313	0,699	1,39
24	4,01	2,03	0,361	0,678	1,66
30	3,94	2,07	0,352	0,683	1,37
36	3,89	3,03	0,357	0,652	1,58
42	3,92	3,06	0,371	0,637	1,67
48	3,95	3,05	0,368	0,634	1,43
54	4,00	3,01	0,349	0,649	1,33
60	3,97	3,27	0,367	0,640	1,31

Tabel 2.11 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B2)
pada Katolit KMnO_4 25 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,14	2,09	0,348	0,726	0,55
06	4,11	2,34	0,291	0,810	1,51
12	3,99	2,31	0,297	0,765	1,31
18	4,05	2,34	0,345	0,626	1,28
24	3,94	2,28	0,341	0,533	1,05
30	3,96	2,15	0,366	0,562	1,16
36	3,91	3,15	0,384	0,581	1,07
42	3,91	3,11	0,367	0,596	1,35
48	3,92	3,09	0,377	0,646	1,33
54	3,96	3,10	0,398	0,584	1,10
60	3,92	3,38	0,371	0,589	1,15

c. Katolit KMnO_4 Konsentrasi 50 ppm

Tabel 2.12 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B1)
pada Katolit KMnO_4 50 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,07	1,71	0,423	0,705	0,69
06	4,02	1,98	0,443	0,934	1,44
12	3,94	2,06	0,447	0,904	1,80
18	3,91	2,10	0,498	0,746	1,27
24	4,02	2,05	0,579	0,737	1,50
30	3,99	2,24	0,574	0,720	1,32
36	3,93	2,32	0,592	0,714	1,10
42	4,01	2,36	0,566	0,691	1,21
48	4,06	2,42	0,608	0,749	1,20
54	4,26	2,42	0,573	0,765	1,28
60	4,55	2,59	0,580	0,725	1,04

Tabel 2.13 Hasil *Running* Reaktor SBMFC Duplo (B2)
pada Katolit KMnO_4 50 ppm

Waktu (Jam)	pH	DHL (mS)	OD (A)	Tegangan (V)	Kuat arus (mA)
00	4,10	1,68	0,392	0,730	0,72
06	4,01	2,15	0,464	0,866	1,26
12	3,9	2,27	0,475	0,816	1,23
18	3,85	2,34	0,480	0,782	1,25
24	3,88	2,15	0,500	0,844	1,71
30	3,85	2,42	0,538	0,817	1,32
36	3,80	2,47	0,547	0,654	1,11
42	3,85	2,36	0,557	0,628	1,25
48	3,90	2,52	0,584	0,666	1,19
54	4,04	2,62	0,569	0,664	1,27
60	4,25	2,91	0,576	0,659	1,09

C. Hasil Pengukuran Titrimetri Analisis COD

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

Tabel 2.14 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD
Reaktor SBMFC Blanko (A) pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Volume FAS pada Variasi Katolit KMnO_4 (mL)								
	10 ppm			25 ppm			50 ppm		
	1	2	Rerata	1	2	Rerata	1	2	Rerata
0	1,41	1,43	1,420	1,60	1,62	1,610	1,72	1,74	1,730
12	1,57	1,55	1,560	1,71	1,74	1,725	1,81	1,82	1,815
24	1,63	1,65	1,640	1,80	1,81	1,805	1,90	1,85	1,875
36	1,74	1,76	1,750	1,88	1,86	1,870	1,80	1,84	1,820
48	1,82	1,83	1,825	1,91	1,92	1,915	1,87	1,88	1,875
60	1,87	1,85	1,860	1,92	1,93	1,925	1,94	1,93	1,935

2. Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1 dan B2)

Tabel 2.15 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD
Reaktor SBMFC B1 pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Volume FAS pada Variasi Katolit KMnO_4 (mL)								
	10 ppm			25 ppm			50 ppm		
	1	2	Rerata	1	2	Rerata	1	2	Rerata
0	1,58	1,57	1,575	1,62	1,61	1,615	1,69	1,70	1,695
12	1,60	1,62	1,610	1,78	1,79	1,785	1,87	1,85	1,860
24	1,63	1,65	1,640	1,83	1,80	1,815	1,88	1,91	1,895
36	1,76	1,78	1,770	1,86	1,79	1,825	1,89	1,88	1,885
48	1,85	1,87	1,860	1,91	1,89	1,900	1,92	1,92	1,920
60	1,92	1,93	1,925	1,94	1,92	1,930	1,94	1,97	1,955

Tabel 2.16 Hasil Pengukuran Duplo Sampel COD
Reaktor SBMFC B2 pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Volume FAS pada Variasi Katolit KMnO_4 (mL)								
	10 ppm			25 ppm			50 ppm		
	1	2	Rerata	1	2	Rerata	1	2	Rerata
0	1,58	1,60	1,590	1,76	1,78	1,770	1,72	1,70	1,710
12	1,63	1,65	1,640	1,80	1,81	1,805	1,83	1,80	1,815
24	1,68	1,60	1,640	1,74	1,76	1,750	1,89	1,90	1,895
36	1,67	1,69	1,680	1,87	1,86	1,865	1,86	1,87	1,865
48	1,85	1,88	1,865	1,89	1,91	1,900	1,90	1,91	1,905
60	1,94	1,94	1,940	1,94	1,97	1,955	1,97	1,97	1,970

Catatan untuk Analisis COD:

1. Limbah cair tapioka baru (Pengukuran duplo)
 - Volume titran blanko = 1,84 mL dan 1,82 mL
 - Volume titran sampel = 1,1 mL dan 1,1 mL
 - Standarisasi N FAS = 5,18 mL dan 5,15 mL
2. Limbah tapioka saat *running* reaktor SBMFC pada variasi KMnO_4 (Pengukuran duplo)
 - a. KMnO_4 10 ppm
 - Volume titran blanko = 1,97 mL dan 1,99 mL
 - Standarisasi N FAS = 5,10 mL dan 5,07 mL
 - b. KMnO_4 25 ppm
 - Volume titran blanko = 1,98 mL dan 2,00 mL
 - Standarisasi N FAS = 4,82 mL dan 4,80 mL
 - c. KMnO_4 50 ppm
 - Volume titran blanko = 1,99 mL dan 2,00 mL
 - Standarisasi N FAS jam ke-0, ke-12, ke-24 = 4,98 mL dan 5,00 mL
 - Standarisasi N FAS jam ke-36, ke-48, ke-60 = 4,82 mL dan 4,88 mL

Lampiran 5. Data proses perhitungan

A. Perhitungan Pembuatan Reagen**1. HNO₃ pekat p.a Merck**

$$n = \frac{\text{gr}}{\text{mr}} = \frac{1,39 \times 1000}{63} = 22,06$$

$$\begin{aligned} M &= 65\% \times n \\ &= 0,65 \times 22,06 \\ &= 14,34 \text{ M} \end{aligned}$$

Dibutuhkan 1 x 0,06 M atau 0,06 N dalam jumlah 250 mL

HNO₃ 14,34 M

$$M1 \quad \times V1 = M2 \quad \times V2$$

$$14,34 \text{ M} \times V1 = 0,06 \text{ M} \times 250 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{15 \text{ MmL}}{14,34 \text{ M}}$$

$$V1 = 1,05 \text{ mL}$$

Jadi, dipipet 1,05 mL HNO₃ 14,34 M ke dalam labu ukur 250 mL, kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

2. H₂SO₄ pekat p.a Merck

$$n = \frac{\text{gr}}{\text{mr}} = \frac{1,84 \times 1000}{98} = 18,775$$

$$\begin{aligned} M &= 95\% \times n \\ &= 0,95 \times 18,775 \\ &= 17,83 \text{ M} \end{aligned}$$

Dibutuhkan 2 x 0,03 M atau 0,06 N dalam jumlah 750 mL

H₂SO₄ 17,83 M

$$M1 \quad \times V1 = M2 \quad \times V2$$

$$17,83 \text{ M} \times V1 = 0,03 \text{ M} \times 750 \text{ mL}$$

$$V1 = \frac{22,5 \text{ MmL}}{17,83 \text{ M}}$$

$$V1 = 1,26 \text{ mL}$$

Jadi, dipipet 2,52 mL H₂SO₄ 17,83 M ke dalam labu ukur 750 mL, kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

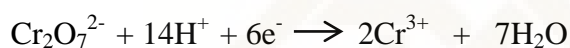
3. Variasi KMnO₄

$$10 \text{ ppm} = \frac{10 \text{ mg}}{\text{L}} = \frac{0,010 \text{ gram}}{1000 \text{ mL}}$$

$$25 \text{ ppm} = \frac{25 \text{ mg}}{\text{L}} = \frac{0,025 \text{ gram}}{1000 \text{ mL}}$$

$$50 \text{ ppm} = \frac{50 \text{ mg}}{\text{L}} = \frac{0,050 \text{ gram}}{1000 \text{ mL}}$$

4. Pembuatan K₂Cr₂O₇ 0,25 N



$$1 \text{ mol K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \sim 1 \text{ mol Cr}_2\text{O}_7^{2-}$$

$$\sim 6 \text{ mol}$$

$$\sim 6 \text{ ekuivalen}$$

$$\sim 6n \text{ atau valensi } 6$$

Mr K₂Cr₂O₇ adalah 294,18 grmol⁻¹

Dibutuhkan K₂Cr₂O₇ 0,25 N dalam 250 mL

$$\text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = V \times M \times n^{-1} \times \text{mr} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{V \times M \times \text{mr}}{6 \times 1000}$$

$$= \frac{250 \times 0,25 \times 294,18}{6 \times 1000}$$

$$= 3,0644 \text{ gram}$$

Jadi ditimbang sebanyak 3,0644 gram K₂Cr₂O₇, kemudian dilarutkan hingga 250 mL dalam labu ukur.

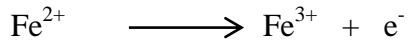
5. Pembuatan reagen Ag₂SO₄ · H₂SO₄

Serbuk Ag₂SO₄ sebanyak 1 gram dilarutkan ke dalam 100 mL H₂SO₄ pekat p.a Merck, kemudian diaduk hingga homogen.

6. Pembuatan FAS 0,1 N

Volume yang dibutuhkan 250 mL

Mr $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 390 \text{ grmol}^{-1}$



1 mol $\text{Fe}^{2+} \sim 1 \text{ mol e}^-$

$\sim 1n$ atau valensi 1

$$\text{Massa Fe}(\text{NH}_4)_2 = V \times M \times n^{-1} \times \text{mr} \times 10^{-3}$$

$$= \frac{V \times M \times \text{mr}}{n \times 1000}$$

$$= \frac{250 \times 0,1 \times 390}{1 \times 1000}$$

$$= 9,75 \text{ gram}$$

Jadi sebanyak 9,75 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 100 mL akuades hingga homogen, kemudian ditambahkan 5 mL H_2SO_4 pekat, Selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL lalu ditambahkan akuades hingga tanda batas. Standarisasi dengan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N sebelum digunakan.

7. Pembuatan indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (Ferroin)

Digunakan labu ukur 100 mL untuk melarutkan 1,485 gram penantrolin monohidrat dan 0,695 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan akuades hingga tanda batas.

B. Perhitungan Nilai Power Density (mWm^{-2})

Persamaan: $P = V \times I$

Keterangan:

V = Tegangan (Voltase)

I = Kuat Arus (Ampere)

P = Daya Listrik (Watt)

Daya listrik dipengaruhi oleh permukaan elektroda karbon cloth (A)

$$\text{Luas A} = 6 \times 8 \text{ cm} = 48 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas A total} = 48 \text{ cm}^2 \times 2 = 96 \text{ cm}^2 = 96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Maka } P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \text{Wm}^{-2} = 10^3 \text{ mWm}^{-2}$$

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

a. Variasi KMnO_4 10 ppm

- Jam ke-0 pada 0,138 V dan 0,20 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,138 \text{ V} \times 0,20 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00287 \text{ Wm}^{-2} = 2,87 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,170 V dan 0,15 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,170 \text{ V} \times 0,15 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00266 \text{ Wm}^{-2} = 2,66 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,192 V dan 0,17 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,192 \text{ V} \times 0,17 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00340 \text{ Wm}^{-2} = 3,40 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,168 V dan 0,20 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,168 \text{ V} \times 0,20 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00350 \text{ Wm}^{-2} = 3,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,264 V dan 0,26 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,264 \text{ V} \times 0,26 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00715 \text{ Wm}^{-2} = 7,15 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,243 V dan 0,22 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,243 \text{ V} \times 0,22 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00557 \text{ Wm}^{-2} = 5,57 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,234 V dan 0,30 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,234 \text{ V} \times 0,30 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00731 \text{ Wm}^{-2} = 7,31 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,229 V dan 0,31 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,229 \text{ V} \times 0,31 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00739 \text{ Wm}^{-2} = 7,39 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,398 V dan 0,35 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,398 \text{ V} \times 0,35 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01451 \text{ Wm}^{-2} = 14,51 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,434 V dan 0,37 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,434 \text{ V} \times 0,37 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01673 \text{ Wm}^{-2} = 16,73 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,519 V dan 0,48 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,519 \text{ V} \times 0,48 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02595 \text{ Wm}^{-2} = 25,95 \text{ mWm}^{-2}$$

b. Variasi KMnO_4 25 ppm

- Jam ke-0 pada 0,502 V dan 0,51 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,502 \text{ V} \times 0,51 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02667 \text{ Wm}^{-2} = 26,67 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,584 V dan 1,15 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,584 \text{ V} \times 1,15 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,06996 \text{ Wm}^{-2} = 69,96 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,640 V dan 1,33 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,640 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08867 \text{ Wm}^{-2} = 88,67 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,608 V dan 1,57 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,608 \text{ V} \times 1,57 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09943 \text{ Wm}^{-2} = 99,43 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,542 V dan 1,43 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,542 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08074 \text{ Wm}^{-2} = 80,74 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,587 V dan 1,66 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,587 \text{ V} \times 1,66 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10150 \text{ Wm}^{-2} = 101,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,627 V dan 1,59 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,627 \text{ V} \times 1,59 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10385 \text{ Wm}^{-2} = 103,85 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,596 V dan 1,58 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,596 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09809 \text{ Wm}^{-2} = 98,09 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,589 V dan 1,43 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,589 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08774 \text{ Wm}^{-2} = 87,74 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,597 V dan 1,60 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,597 \text{ V} \times 1,60 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09950 \text{ Wm}^{-2} = 99,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,604 V dan 1,58 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,604 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09941 \text{ Wm}^{-2} = 99,41 \text{ mWm}^{-2}$$

c. Variasi KMnO_4 50 ppm

- Jam ke-0 pada 0,324 V dan 0,24 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,324 \text{ V} \times 0,24 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00810 \text{ Wm}^{-2} = 8,10 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,724 V dan 0,59 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,724 \text{ V} \times 0,59 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04449 \text{ Wm}^{-2} = 44,49 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,385 V dan 0,60 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,385 \text{ V} \times 0,60 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02406 \text{ Wm}^{-2} = 24,06 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,356 V dan 0,57 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,356 \text{ V} \times 0,57 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02114 \text{ Wm}^{-2} = 21,14 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,434 V dan 0,80 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,434 \text{ V} \times 0,80 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,03617 \text{ Wm}^{-2} = 36,17 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,500 V dan 0,98 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,500 \text{ V} \times 0,98 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05104 \text{ Wm}^{-2} = 51,04 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,546 V dan 1,00 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,546 \text{ V} \times 1,00 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05688 \text{ Wm}^{-2} = 56,88 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,601 V dan 1,61 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,601 \text{ V} \times 1,61 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10079 \text{ Wm}^{-2} = 100,79 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,403 V dan 0,50 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,403 \text{ V} \times 0,50 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02099 \text{ Wm}^{-2} = 20,99 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,297 V dan 0,18 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,297 \text{ V} \times 0,18 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00557 \text{ Wm}^{-2} = 5,57 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,259 V dan 0,21 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,259 \text{ V} \times 0,21 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,00567 \text{ Wm}^{-2} = 5,67 \text{ mWm}^{-2}$$

2. Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1 dan B2)

a. Variasi KMnO_4 10 ppm

▪ Reaktor SBMFC B1

- Jam ke-0 pada 0,235 V dan 0,84 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,235 \text{ V} \times 0,84 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02056 \text{ Wm}^{-2} = 20,56 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,259 V dan 0,63 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,259 \text{ V} \times 0,63 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01700 \text{ Wm}^{-2} = 17,00 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,191 V dan 0,51 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,191 \text{ V} \times 0,51 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01015 \text{ Wm}^{-2} = 10,15 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,208 V dan 0,55 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,208 \text{ V} \times 0,55 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01192 \text{ Wm}^{-2} = 11,92 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,276 V dan 0,73 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,276 \text{ V} \times 0,73 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02098 \text{ Wm}^{-2} = 20,98 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,266 V dan 0,71 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,266 \text{ V} \times 0,71 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01968 \text{ Wm}^{-2} = 19,68 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,285 V dan 0,80 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,285 \text{ V} \times 0,80 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02375 \text{ Wm}^{-2} = 23,75 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,371 V dan 0,94 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,371 \text{ V} \times 0,94 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,03633 \text{ Wm}^{-2} = 36,33 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,461 V dan 1,01 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,461 \text{ V} \times 1,01 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04850 \text{ Wm}^{-2} = 48,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,529 V dan 1,03 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,529 \text{ V} \times 1,03 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05676 \text{ Wm}^{-2} = 56,76 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,535 V dan 1,05 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,535 \text{ V} \times 1,05 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05852 \text{ Wm}^{-2} = 58,52 \text{ mWm}^{-2}$$

▪ Reaktor SBMFC B2

- Jam ke-0 pada 0,265 V dan 0,68 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,265 \text{ V} \times 0,68 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01877 \text{ Wm}^{-2} = 18,77 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,227 V dan 0,49 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,227 \text{ V} \times 0,49 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,01159 \text{ Wm}^{-2} = 11,59 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,310 V dan 0,83 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,310 \text{ V} \times 0,83 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,02680 \text{ Wm}^{-2} = 26,80 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,347 V dan 0,91 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,347 \text{ V} \times 0,91 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,03289 \text{ Wm}^{-2} = 32,89 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,340 V dan 0,87 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,340 \text{ V} \times 0,87 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,03081 \text{ Wm}^{-2} = 30,81 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,381 V dan 0,95 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,381 \text{ V} \times 0,95 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,03770 \text{ Wm}^{-2} = 37,70 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,395 V dan 0,98 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,395 \text{ V} \times 0,98 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04032 \text{ Wm}^{-2} = 40,32 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,408 V dan 1,01 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,408 \text{ V} \times 1,01 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04293 \text{ Wm}^{-2} = 42,93 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,585 V dan 1,06 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,585 \text{ V} \times 1,06 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,06459 \text{ Wm}^{-2} = 64,59 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,643 V dan 1,17 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,643 \text{ V} \times 1,17 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,07836 \text{ Wm}^{-2} = 78,36 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,654 V dan 1,20 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,654 \text{ V} \times 1,20 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08175 \text{ Wm}^{-2} = 81,75 \text{ mWm}^{-2}$$

b. Variasi KMnO_4 25 ppm

▪ Reaktor SBMFC B1

- Jam ke-0 pada 0,633 V dan 0,72 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,633 \text{ V} \times 0,72 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04748 \text{ Wm}^{-2} = 47,48 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,749 V dan 1,52 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,749 \text{ V} \times 1,52 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11859 \text{ Wm}^{-2} = 118,59 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,706 V dan 1,37 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,706 \text{ V} \times 1,37 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10075 \text{ Wm}^{-2} = 100,75 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,699 V dan 1,39 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,699 \text{ V} \times 1,39 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10121 \text{ Wm}^{-2} = 101,21 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,678 V dan 1,66 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,678 \text{ V} \times 1,66 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11724 \text{ Wm}^{-2} = 117,24 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,683 V dan 1,37 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,683 \text{ V} \times 1,37 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09747 \text{ Wm}^{-2} = 97,47 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,652 V dan 1,58 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,652 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10731 \text{ Wm}^{-2} = 107,31 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,637 V dan 1,67 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,637 \text{ V} \times 1,67 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11081 \text{ Wm}^{-2} = 110,81 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,634 V dan 1,43 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,634 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09444 \text{ Wm}^{-2} = 94,44 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,649 V dan 1,33 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,649 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08991 \text{ Wm}^{-2} = 89,91 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,640 V dan 1,31 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,640 \text{ V} \times 1,31 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08733 \text{ Wm}^{-2} = 87,33 \text{ mWm}^{-2}$$

▪ Reaktor SBMFC B2

- Jam ke-0 pada 0,726 V dan 0,55 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,726 \text{ V} \times 0,55 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,04159 \text{ Wm}^{-2} = 41,59 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,810 V dan 1,51 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,810 \text{ V} \times 1,51 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,12741 \text{ Wm}^{-2} = 127,41 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,765 V dan 1,31 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,765 \text{ V} \times 1,31 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10439 \text{ Wm}^{-2} = 104,39 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,626 V dan 1,28 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,626 \text{ V} \times 1,28 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08347 \text{ Wm}^{-2} = 83,47 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,533 V dan 1,05 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,533 \text{ V} \times 1,05 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05829 \text{ Wm}^{-2} = 58,29 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,562 V dan 1,16 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,562 \text{ V} \times 1,16 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,06708 \text{ Wm}^{-2} = 67,08 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,581 V dan 1,07 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,581 \text{ V} \times 1,07 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,06476 \text{ Wm}^{-2} = 64,76 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,596 V dan 1,35 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,596 \text{ V} \times 1,35 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08381 \text{ Wm}^{-2} = 83,81 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,646 V dan 1,33 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,646 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08950 \text{ Wm}^{-2} = 89,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,584 V dan 1,10 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,584 \text{ V} \times 1,10 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,06692 \text{ Wm}^{-2} = 66,92 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,589 V dan 1,15 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,589 \text{ V} \times 1,15 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,07056 \text{ Wm}^{-2} = 70,56 \text{ mWm}^{-2}$$

c. Variasi KMnO_4 50 ppm

▪ Reaktor SBMFC B1

- Jam ke-0 pada 0,705 V dan 0,69 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,705 \text{ V} \times 0,69 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05067 \text{ Wm}^{-2} = 50,67 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,934 V dan 1,44 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,934 \text{ V} \times 1,44 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,14010 \text{ Wm}^{-2} = 140,10 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,904 V dan 1,80 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,904 \text{ V} \times 1,80 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,16950 \text{ Wm}^{-2} = 169,50 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,746 V dan 1,27 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,746 \text{ V} \times 1,27 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09869 \text{ Wm}^{-2} = 98,69 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,737 V dan 1,50 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,737 \text{ V} \times 1,50 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11516 \text{ Wm}^{-2} = 115,16 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,720 V dan 1,32 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,720 \text{ V} \times 1,32 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09900 \text{ Wm}^{-2} = 99,00 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,714 V dan 1,10 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,714 \text{ V} \times 1,10 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08181 \text{ Wm}^{-2} = 81,81 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,691 V dan 1,21 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,691 \text{ V} \times 1,21 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08709 \text{ Wm}^{-2} = 87,09 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,749 V dan 1,20 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,749 \text{ V} \times 1,20 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,09363 \text{ Wm}^{-2} = 93,63 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,765 V dan 1,28 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,765 \text{ V} \times 1,28 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10200 \text{ Wm}^{-2} = 102,00 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,725 V dan 1,04 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,725 \text{ V} \times 1,04 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,07854 \text{ Wm}^{-2} = 78,54 \text{ mWm}^{-2}$$

▪ Reaktor SBMFC B2

- Jam ke-0 pada 0,730 V dan 0,72 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,730 \text{ V} \times 0,72 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,05475 \text{ Wm}^{-2} = 54,75 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-6 pada 0,866 V dan 1,26 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,866 \text{ V} \times 1,26 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11366 \text{ Wm}^{-2} = 113,66 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-12 pada 0,816 V dan 1,23 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,816 \text{ V} \times 1,23 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10455 \text{ Wm}^{-2} = 104,55 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-18 pada 0,782 V dan 1,25 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,782 \text{ V} \times 1,25 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,10182 \text{ Wm}^{-2} = 101,82 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-24 pada 0,844 V dan 1,71 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,844 \text{ V} \times 1,71 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,15034 \text{ Wm}^{-2} = 150,34 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-30 pada 0,817 V dan 1,32 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,817 \text{ V} \times 1,32 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,11234 \text{ Wm}^{-2} = 112,34 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-36 pada 0,654 V dan 1,11 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,654 \text{ V} \times 1,11 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,07562 \text{ Wm}^{-2} = 75,62 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-42 pada 0,628 V dan 1,25 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,628 \text{ V} \times 1,25 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08177 \text{ Wm}^{-2} = 81,77 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-48 pada 0,666 V dan 1,19 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,666 \text{ V} \times 1,19 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08256 \text{ Wm}^{-2} = 82,56 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-54 pada 0,664 V dan 1,27 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,664 \text{ V} \times 1,27 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,08784 \text{ Wm}^{-2} = 87,84 \text{ mWm}^{-2}$$

- Jam ke-60 pada 0,659 V dan 1,09 mA

$$P = \frac{V \times I}{A \text{ total}} = \frac{0,659 \text{ V} \times 1,09 \times 0,001 \text{ A}}{0,0096} = 0,07482 \text{ Wm}^{-2} = 74,82 \text{ mWm}^{-2}$$

C. Perhitungan Nilai Energi Listrik (Joule)

Rumus:

$$P = V \times I$$

$$E = P \times t$$

Keterangan:

P = Daya Listrik (Watt)

E = Energi listrik (Joule)

t = Waktu (sekon)

V = Tegangan (Voltase)

I = Kuat Arus (A)

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

a. Variasi KMnO_4 10 ppm

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,138 V dan 0,20 mA
 $P = V \times I = 0,138 \text{ V} \times 0,20 \times 0,001 \text{ A} = 0,0276 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0276 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0016 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,170 V dan 0,15 mA
 $P = V \times I = 0,170 \text{ V} \times 0,15 \times 0,001 \text{ A} = 0,0255 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0255 \times 10^{-3} \times 21600 = 0,5508 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,192 V dan 0,17 mA
 $P = V \times I = 0,192 \text{ V} \times 0,17 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0326 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0326 \times 10^{-3} \times 43200 = 1,4083 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,168 V dan 0,20 mA
 $P = V \times I = 0,168 \text{ V} \times 0,20 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0336 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0336 \times 10^{-3} \times 64800 = 2,1773 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,264 V dan 0,26 mA
 $P = V \times I = 0,264 \text{ V} \times 0,26 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0686 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0686 \times 10^{-3} \times 86400 = 5,9270 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,243 V dan 0,22 mA
 $P = V \times I = 0,243 \text{ V} \times 0,22 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0535 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0535 \times 10^{-3} \times 108000 = 5,774 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,234 V dan 0,30 mA
 $P = V \times I = 0,234 \text{ V} \times 0,30 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0702 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0702 \times 10^{-3} \times 129600 = 9,0980 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,229 V dan 0,31 mA
 $P = V \times I = 0,229 \text{ V} \times 0,31 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0710 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0710 \times 10^{-3} \times 151200 = 10,735 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,398 V dan 0,35 mA
 $P = V \times I = 0,398 \text{ V} \times 0,35 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1393 \times 10^{-3} \text{ Watt}$

$$E = P \times t = 0,1393 \times 10^{-3} \times 172800 = 24,0710 \text{ Joule}$$

- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,434 V dan 0,37 mA
 $P = V \times I = 0,434 \text{ V} \times 0,37 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1606 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1606 \times 10^{-3} \times 194400 = 31,2206 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,519 V dan 0,48 mA
 $P = V \times I = 0,519 \text{ V} \times 0,48 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2491 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2491 \times 10^{-3} \times 216000 = 53,8056 \text{ Joule}$

b. Variasi KMnO_4 25 ppm

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,502 V dan 0,51 mA
 $P = V \times I = 0,502 \text{ V} \times 0,51 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2560 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2560 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0154 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,584 V dan 1,15 mA
 $P = V \times I = 0,584 \text{ V} \times 1,15 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6716 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,6716 \times 10^{-3} \times 21600 = 14,5066 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,640 V dan 1,33 mA
 $P = V \times I = 0,640 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8512 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8512 \times 10^{-3} \times 43200 = 36,7718 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,608 V dan 1,57 mA
 $P = V \times I = 0,608 \text{ V} \times 1,57 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9546 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9546 \times 10^{-3} \times 64800 = 61,8555 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,542 V dan 1,43 mA
 $P = V \times I = 0,542 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7751 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7751 \times 10^{-3} \times 86400 = 66,9652 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,587 V dan 1,66 mA
 $P = V \times I = 0,587 \text{ V} \times 1,66 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9744 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9744 \times 10^{-3} \times 108000 = 105,2374 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,627 V dan 1,59 mA
 $P = V \times I = 0,627 \text{ V} \times 1,59 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9969 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9969 \times 10^{-3} \times 129600 = 129,2021 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,596 V dan 1,58 mA
 $P = V \times I = 0,596 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9417 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9417 \times 10^{-3} \times 151200 = 142,3820 \text{ Joule}$

- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,589 V dan 1,43 mA
 $P = V \times I = 0,589 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8423 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8423 \times 10^{-3} \times 172800 = 145,5442 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,597 V dan 1,60 mA
 $P = V \times I = 0,597 \text{ V} \times 1,60 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9552 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9552 \times 10^{-3} \times 194400 = 185,6909 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,604 V dan 1,58 mA
 $P = V \times I = 0,604 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9543 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9543 \times 10^{-3} \times 216000 = 206,1331 \text{ Joule}$

c. Variasi KMnO_4 50 ppm

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,324 V dan 0,24 mA
 $P = V \times I = 0,324 \text{ V} \times 0,24 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0778 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0778 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0047 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,724 V dan 0,59 mA
 $P = V \times I = 0,724 \text{ V} \times 0,59 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4272 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,4272 \times 10^{-3} \times 21600 = 9,2266 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,385 V dan 0,60 mA
 $P = V \times I = 0,385 \text{ V} \times 0,60 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2310 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2310 \times 10^{-3} \times 43200 = 9,9792 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,356 V dan 0,57 mA
 $P = V \times I = 0,356 \text{ V} \times 0,57 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2029 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2029 \times 10^{-3} \times 64800 = 13,1479 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,434 V dan 0,80 mA
 $P = V \times I = 0,434 \text{ V} \times 0,80 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3472 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3472 \times 10^{-3} \times 86400 = 29,9981 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,500 V dan 0,98 mA
 $P = V \times I = 0,500 \text{ V} \times 0,98 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4900 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,4900 \times 10^{-3} \times 108000 = 52,9200 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,546 V dan 1,00 mA
 $P = V \times I = 0,546 \text{ V} \times 1,00 \times 0,001 \text{ mA} = 0,5460 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,5460 \times 10^{-3} \times 129600 = 70,7616 \text{ Joule}$

- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,601 V dan 1,61 mA
 $P = V \times I = 0,601 \text{ V} \times 1,61 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9676 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9676 \times 10^{-3} \times 151200 = 146,3026 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,403 V dan 0,50 mA
 $P = V \times I = 0,403 \text{ V} \times 0,50 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2015 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2015 \times 10^{-3} \times 172800 = 34,8192 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,297 V dan 0,18 mA
 $P = V \times I = 0,297 \text{ V} \times 0,18 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0535 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0535 \times 10^{-3} \times 194400 = 10,3926 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,259 V dan 0,21 mA
 $P = V \times I = 0,259 \text{ V} \times 0,21 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0544 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0544 \times 10^{-3} \times 216000 = 11,7504 \text{ Joule}$

2. Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1 dan B2)

a. Variasi KMnO_4 10 ppm

▪ Reaktor SBMFC B1

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,235 V dan 0,84 mA
 $P = V \times I = 0,235 \text{ V} \times 0,84 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1974 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1974 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0118 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,259 V dan 0,63 mA
 $P = V \times I = 0,259 \text{ V} \times 0,63 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1632 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1632 \times 10^{-3} \times 21600 = 3,5245 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,191 V dan 0,51 mA
 $P = V \times I = 0,191 \text{ V} \times 0,51 \times 0,001 \text{ mA} = 0,0974 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,0974 \times 10^{-3} \times 43200 = 4,2081 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,208 V dan 0,55 mA
 $P = V \times I = 0,208 \text{ V} \times 0,55 \times 0,001 = 0,1144 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1144 \times 10^{-3} \times 64800 = 7,4131 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,276 V dan 0,73 mA
 $P = V \times I = 0,276 \text{ V} \times 0,73 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2015 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2015 \times 10^{-3} \times 86400 = 17,4079 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,266 V dan 0,71 mA
 $P = V \times I = 0,266 \text{ V} \times 0,71 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1889 \times 10^{-3} \text{ Watt}$

$$E = P \times t = 0,1889 \times 10^{-3} \times 108000 = 20,3969 \text{ Joule}$$

- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,285 V dan 0,80 mA
 $P = V \times I = 0,285 \text{ V} \times 0,80 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2280 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2280 \times 10^{-3} \times 129600 = 29,5488 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,371 V dan 0,94 mA
 $P = V \times I = 0,371 \text{ V} \times 0,94 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3487 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3487 \times 10^{-3} \times 151200 = 52,7295 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,461 V dan 1,01 mA
 $P = V \times I = 0,461 \text{ V} \times 1,01 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4656 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,4656 \times 10^{-3} \times 172800 = 80,4574 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,529 V dan 1,03 mA
 $P = V \times I = 0,529 \text{ V} \times 1,03 \times 0,001 \text{ mA} = 0,5449 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,5449 \times 10^{-3} \times 194400 = 105,9227 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,535 V dan 1,05 mA
 $P = V \times I = 0,535 \text{ V} \times 1,05 \times 0,001 \text{ mA} = 0,5617 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,5617 \times 10^{-3} \times 216000 = 121,3380 \text{ Joule}$

▪ Reaktor SBMFC B2

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,265 V dan 0,68 mA
 $P = V \times I = 0,265 \text{ V} \times 0,68 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1802 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1802 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0108 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,227 V dan 0,49 mA
 $P = V \times I = 0,227 \text{ V} \times 0,49 \times 0,001 \text{ mA} = 0,1112 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,1112 \times 10^{-3} \times 21600 = 2,4026 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,310 V dan 0,83 mA
 $P = V \times I = 0,310 \text{ V} \times 0,83 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2573 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2573 \times 10^{-3} \times 43200 = 11,1154 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,347 V dan 0,91 mA
 $P = V \times I = 0,347 \text{ V} \times 0,91 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3158 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3158 \times 10^{-3} \times 64800 = 20,4619 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,340 V dan 0,87 mA
 $P = V \times I = 0,340 \text{ V} \times 0,87 \times 0,001 \text{ mA} = 0,2958 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,2958 \times 10^{-3} \times 86400 = 25,5571 \text{ Joule}$

- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,381 V dan 0,95 mA
 $P = V \times I = 0,381 \text{ V} \times 0,95 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3619 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3619 \times 10^{-3} \times 108000 = 39,0906 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,395 V dan 0,98 mA
 $P = V \times I = 0,395 \text{ V} \times 0,98 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3871 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3871 \times 10^{-3} \times 129600 = 50,1682 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,408 V dan 1,01 mA
 $P = V \times I = 0,408 \text{ V} \times 1,01 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4121 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,4121 \times 10^{-3} \times 151200 = 62,3065 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,585 V dan 1,06 mA
 $P = V \times I = 0,585 \text{ V} \times 1,06 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6201 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,6201 \times 10^{-3} \times 172800 = 107,1533 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,643 V dan 1,17 mA
 $P = V \times I = 0,643 \text{ V} \times 1,17 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7523 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7523 \times 10^{-3} \times 194400 = 146,2491 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,654 V dan 1,20 mA
 $P = V \times I = 0,654 \text{ V} \times 1,20 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7848 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7848 \times 10^{-3} \times 216000 = 169,5168 \text{ Joule}$

b. Variasi KMnO_4 25 ppm

- **Reaktor SBMFC B1**
- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,633 V dan 0,72 mA
 $P = V \times I = 0,633 \text{ V} \times 0,72 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4558 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,4558 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0273 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,749 V dan 1,52 mA
 $P = V \times I = 0,749 \text{ V} \times 1,52 \times 0,001 \text{ mA} = 1,1385 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,1385 \times 10^{-3} \times 21600 = 24,5912 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,706 V dan 1,37 mA
 $P = V \times I = 0,706 \text{ V} \times 1,37 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9672 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9672 \times 10^{-3} \times 43200 = 41,7839 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,699 V dan 1,39 mA
 $P = V \times I = 0,699 \text{ V} \times 1,39 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9716 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9716 \times 10^{-3} \times 64800 = 62,9603 \text{ Joule}$

- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,678 V dan 1,66 mA
 $P = V \times I = 0,678 \text{ V} \times 1,66 \times 0,001 \text{ mA} = 1,1255 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,1255 \times 10^{-3} \times 86400 = 97,2415 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,683 V dan 1,37 mA
 $P = V \times I = 0,683 \text{ V} \times 1,37 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9357 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9357 \times 10^{-3} \times 108000 = 101,0567 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,652 V dan 1,58 mA
 $P = V \times I = 0,652 \text{ V} \times 1,58 \times 0,001 \text{ mA} = 1,030 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,030 \times 10^{-3} \times 129600 = 133,5087 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,637 V dan 1,67 mA
 $P = V \times I = 0,637 \text{ V} \times 1,67 \times 0,001 \text{ mA} = 1,0638 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,0638 \times 10^{-3} \times 151200 = 160,8450 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,634 V dan 1,43 mA
 $P = V \times I = 0,634 \text{ V} \times 1,43 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9066 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9066 \times 10^{-3} \times 172800 = 156,6639 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,649 V dan 1,33 mA
 $P = V \times I = 0,649 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8632 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8632 \times 10^{-3} \times 194400 = 167,8002 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,640 V dan 1,31 mA
 $P = V \times I = 0,640 \text{ V} \times 1,31 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8384 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8384 \times 10^{-3} \times 216000 = 181,0944 \text{ Joule}$
- **Reaktor SBMFC B2**
- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,726 V dan 0,55 mA
 $P = V \times I = 0,726 \text{ V} \times 0,55 \times 0,001 \text{ mA} = 0,3993 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,3993 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0239 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,810 V dan 1,51 mA
 $P = V \times I = 0,810 \text{ V} \times 1,51 \times 0,001 \text{ mA} = 1,223 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,223 \times 10^{-3} \times 21600 = 26,4190 \text{ Joule}$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,765 V dan 1,31 mA
 $P = V \times I = 0,765 \text{ V} \times 1,31 \times 0,001 \text{ mA} = 1,0021 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,0021 \times 10^{-3} \times 43200 = 43,2929 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,626 V dan 1,28 mA

$$P = V \times I = 0,626 \text{ V} \times 1,28 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8013 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,8013 \times 10^{-3} \times 64800 = 51,9229 \text{ Joule}$$

- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,533 V dan 1,05 mA

$$P = V \times I = 0,533 \text{ V} \times 1,05 \times 0,001 \text{ mA} = 0,5596 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,5596 \times 10^{-3} \times 86400 = 48,3538 \text{ Joule}$$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,562 V dan 1,16 mA

$$P = V \times I = 0,562 \text{ V} \times 1,16 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6519 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,6519 \times 10^{-3} \times 108000 = 70,4074 \text{ Joule}$$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,581 V dan 1,07 mA

$$P = V \times I = 0,581 \text{ V} \times 1,07 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6217 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,6217 \times 10^{-3} \times 129600 = 80,5684 \text{ Joule}$$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,596 V dan 1,35 mA

$$P = V \times I = 0,596 \text{ V} \times 1,35 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8046 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,8046 \times 10^{-3} \times 151200 = 121,6555 \text{ Joule}$$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,646 V dan 1,33 mA

$$P = V \times I = 0,646 \text{ V} \times 1,33 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8592 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,8592 \times 10^{-3} \times 172800 = 148,4663 \text{ Joule}$$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,584 V dan 1,10 mA

$$P = V \times I = 0,584 \text{ V} \times 1,10 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6424 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,6424 \times 10^{-3} \times 194400 = 124,8826 \text{ Joule}$$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,589 V dan 1,15 mA

$$P = V \times I = 0,589 \text{ V} \times 1,15 \times 0,001 \text{ mA} = 0,6773 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,6773 \times 10^{-3} \times 216000 = 146,3076 \text{ Joule}$$

c. Variasi KMnO_4 50 ppm

▪ Reaktor SBMFC B1

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,705 V dan 0,69 mA

$$P = V \times I = 0,705 \text{ V} \times 0,69 \times 0,001 \text{ mA} = 0,4864 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 0,4864 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0292 \text{ Joule}$$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,934 V dan 1,44 mA

$$P = V \times I = 0,934 \text{ V} \times 1,44 \times 0,001 \text{ mA} = 1,3450 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 1,3450 \times 10^{-3} \times 21600 = 29,0511 \text{ Joule}$$
- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,904 V dan 1,80 mA

$$P = V \times I = 0,904 \text{ V} \times 1,80 \times 0,001 \text{ mA} = 1,6272 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$E = P \times t = 1,6272 \times 10^{-3} \times 43200 = 70,2950 \text{ Joule}$$

- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,746 V dan 1,27 mA
 $P = V \times I = 0,746 \text{ V} \times 1,27 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9474 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9474 \times 10^{-3} \times 64800 = 61,3915 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,737 V dan 1,50 mA
 $P = V \times I = 0,737 \text{ V} \times 1,50 \times 0,001 \text{ mA} = 1,1055 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,1055 \times 10^{-3} \times 86400 = 95,5152 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,720 V dan 1,32 mA
 $P = V \times I = 0,702 \text{ V} \times 1,32 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9266 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9266 \times 10^{-3} \times 108000 = 100,0771 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,714 V dan 1,10 mA
 $P = V \times I = 0,714 \text{ V} \times 1,10 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7854 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7854 \times 10^{-3} \times 129600 = 101,7878 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,691 V dan 1,21 mA
 $P = V \times I = 0,691 \text{ V} \times 1,21 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8361 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8361 \times 10^{-3} \times 151200 = 126,4198 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,749 V dan 1,20 mA
 $P = V \times I = 0,749 \text{ V} \times 1,20 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8988 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8988 \times 10^{-3} \times 172800 = 155,3126 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,765 V dan 1,28 mA
 $P = V \times I = 0,765 \text{ V} \times 1,28 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9792 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9792 \times 10^{-3} \times 194400 = 190,3565 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,725 V dan 1,04 mA
 $P = V \times I = 0,725 \text{ V} \times 1,04 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7540 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7540 \times 10^{-3} \times 216000 = 162,8640 \text{ Joule}$

▪ **Reaktor SBMFC B2**

- Jam ke-0 (1 menit = 60 sekon) pada 0,730 V dan 0,72 mA
 $P = V \times I = 0,730 \text{ V} \times 0,72 \times 0,001 \text{ mA} = 0,5256 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,5256 \times 10^{-3} \times 60 = 0,0315 \text{ Joule}$
- Jam ke-6 (21600 sekon) pada 0,866 V dan 1,26 mA
 $P = V \times I = 0,866 \text{ V} \times 1,26 \times 0,001 \text{ mA} = 1,0912 \times 10^{-3} \text{ Watt}$

$$E = P \times t = 1,0912 \times 10^{-3} \times 21600 = 23,5690 \text{ Joule}$$

- Jam ke-12 (43200 sekon) pada 0,816 V dan 1,23 mA
 $P = V \times I = 0,816 \text{ V} \times 1,23 \times 0,001 \text{ mA} = 1,0037 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,0037 \times 10^{-3} \times 43200 = 43,3598 \text{ Joule}$
- Jam ke-18 (64800 sekon) pada 0,782 V dan 1,25 mA
 $P = V \times I = 0,782 \text{ V} \times 1,25 \times 0,001 \text{ mA} = 0,9775 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,9775 \times 10^{-3} \times 64800 = 63,3420 \text{ Joule}$
- Jam ke-24 (86400 sekon) pada 0,844 V dan 1,71 mA
 $P = V \times I = 0,844 \text{ V} \times 1,71 \times 0,001 \text{ mA} = 1,4432 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,4432 \times 10^{-3} \times 86400 = 124,6959 \text{ Joule}$
- Jam ke-30 (108000 sekon) pada 0,817 V dan 1,32 mA
 $P = V \times I = 0,817 \text{ V} \times 1,32 \times 0,001 \text{ mA} = 1,0784 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 1,0784 \times 10^{-3} \times 108000 = 116,4715 \text{ Joule}$
- Jam ke-36 (129600 sekon) pada 0,654 V dan 1,11 mA
 $P = V \times I = 0,654 \text{ V} \times 1,11 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7259 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7259 \times 10^{-3} \times 129600 = 94,0818 \text{ Joule}$
- Jam ke-42 (151200 sekon) pada 0,628 V dan 1,25 mA
 $P = V \times I = 0,628 \text{ V} \times 1,25 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7850 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7850 \times 10^{-3} \times 151200 = 118,6920 \text{ Joule}$
- Jam ke-48 (172800 sekon) pada 0,666 V dan 1,19 mA
 $P = V \times I = 0,666 \text{ V} \times 1,19 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7925 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7925 \times 10^{-3} \times 172800 = 136,9509 \text{ Joule}$
- Jam ke-54 (194400 sekon) pada 0,664 V dan 1,27 mA
 $P = V \times I = 0,664 \text{ V} \times 1,27 \times 0,001 \text{ mA} = 0,8433 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,8433 \times 10^{-3} \times 194400 = 163,9375 \text{ Joule}$
- Jam ke-60 (216000 sekon) pada 0,659 V dan 1,09 mA
 $P = V \times I = 0,659 \text{ V} \times 1,09 \times 0,001 \text{ mA} = 0,7183 \times 10^{-3} \text{ Watt}$
 $E = P \times t = 0,7183 \times 10^{-3} \times 216000 = 155,1550 \text{ Joule}$

D. Perhitungan Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Rumus :

$$\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(a-b) \times \text{NFAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}}$$

Keterangan:

- a = Volume titran Blanko (mL)
 b = Volume titran Sampel (mL)
 N FAS = N FAS yang telah distandarisasi (N)
 BeO₂ = 8
 P = Faktor Pengenceran (mL)

1. Analisis COD Limbah Cair Tapioka Baru (duplo)

$$\text{Volume titran blanko} = (1,83 + 1,1,82) \text{ mL} : 2 = 1,825 \text{ mL}$$

$$\text{Volume titran sampel} = (1,1 + 1,1) \text{ mL} : 2 = 1,1 \text{ mL}$$

$$\text{Standarisasi N FAS} = (5,245 + 5,260) \text{ mL} : 2 = 5,252 \text{ mL}$$

$$\text{N FAS} = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ N}}{V \text{ FAS yang terpakai}} = \frac{2 \text{ mL} \times 0,25 \text{ N}}{5,252 \text{ mL}} = 0,095 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times \text{P}}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,825-1,10) \times 0,095 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 6887,5 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

2. Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO₄ 10 ppm

$$\text{Volume titran blanko} = (1,97 + 1,99) \text{ mL} : 2 = 1,980 \text{ mL}$$

$$\text{Standarisasi N FAS} = (5,10 + 5,07) \text{ mL} : 2 = 5,085 \text{ mL}$$

$$\text{N FAS} = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ N}}{V \text{ FAS yang terpakai}} = \frac{2 \text{ mL} \times 0,25 \text{ N}}{5,085 \text{ mL}} = 0,098 \text{ N}$$

a. Running Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,420 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times \text{P}}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,420) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 5488 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,560 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times \text{P}}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,560) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 4116 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,640 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,640) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3332 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,750 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,750) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2254 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,825 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,825) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1519 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,860 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,860) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1176 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

b. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,575 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,575) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3969 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,610 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,610) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3626 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,640 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,640) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3332 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,770 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,770) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2058 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,860 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,860) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1176 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,925 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,925) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 539 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

c. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,590 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,590) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3822 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,640 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,640) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3332 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,640 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,640) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3332 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,680 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,680) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2940 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,865 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,865) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1127 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,940 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,980-1,940) \times 0,098 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 392 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

3. Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO_4 25 ppm

Volume titran blanko = $(1,98 + 2,00) \text{ mL} : 2 = 1,990 \text{ mL}$

Standarisasi N FAS = $(4,82 + 4,80) \text{ mL} : 2 = 4,81 \text{ mL}$

$$\text{N FAS} = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ N}}{V \text{ FAS yang terpakai}} = \frac{2 \text{ mL} \times 0,25 \text{ N}}{4,81 \text{ mL}} = 0,104 \text{ N}$$

a. Running Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,610 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,610) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3952 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,725 mL

$$\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}}$$

$$= \frac{(1,990-1,725) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2756 \text{ mgL}^{-1}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,805 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,805) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1924 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,870 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,870) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1248 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,915 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,915) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 780 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,925 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,925) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 676 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

b. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,615 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,615) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3900 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,785 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,785) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2132 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,815 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,815) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1820 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,825 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,825) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1716 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,900 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,900) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 936 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,930 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,930) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 624 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

c. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,770 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,770) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2288 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,805 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,805) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1924 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,750 mL

$$\begin{aligned}\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,750) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2496 \text{ mgL}^{-1}\end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,865 mL

$$\begin{aligned}\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,865) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1300 \text{ mgL}^{-1}\end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,900 mL

$$\begin{aligned}\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,900) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 936 \text{ mgL}^{-1}\end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,955 mL

$$\begin{aligned}\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,990-1,955) \times 0,104 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 364 \text{ mgL}^{-1}\end{aligned}$$

4. Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO_4 50 ppm

Volume titran blanko = $(1,99 + 2,00) \text{ mL} : 2 = 1,995 \text{ mL}$

Stdrisasi N FAS jam ke-0, ke-12, ke-24 = $(4,98 + 5,00) \text{ mL} : 2 = 4,990 \text{ mL}$

Stdrisasi N FAS jam ke-36, ke-48, ke-60 = $(4,82 + 4,88) \text{ mL} : 2 = 4,850 \text{ mL}$

$$\text{N FAS} = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ N}}{V \text{ FAS yang terpakai}} = \frac{2 \text{ mL} \times 0,25 \text{ N}}{4,990 \text{ mL}} = 0,100 \text{ N}$$

$$\text{N FAS} = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ N}}{V \text{ FAS yang terpakai}} = \frac{2 \text{ mL} \times 0,25 \text{ N}}{4,850 \text{ mL}} = 0,103 \text{ N}$$

a. Running Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,730 mL

$$\text{COD (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{(a-b) \times \text{N FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}}$$

$$= \frac{(1,995-1,730) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2650 \text{ mgL}^{-1}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,815 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,815) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1800 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,875 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,875) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1200 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,820 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,820) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1802,5 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,875 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,875) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1236 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,935 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,935) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 618 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

b. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,695 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,695) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 3000 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,860 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,860) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1350 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,895 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,895) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1000 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,885 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,885) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1133 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,920 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,920) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 772,5 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,955 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,955) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 412 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

c. Running Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

- Jam ke-0, Volume titran sampel adalah 1,710 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,710) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 2850 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-12, Volume titran sampel adalah 1,815 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,815) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1800 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-24, Volume titran sampel adalah 1,895 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,895) \times 0,100 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1000 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-36, Volume titran sampel adalah 1,865 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,865) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 1339 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-48, Volume titran sampel adalah 1,905 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,905) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 927 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

- Jam ke-60, Volume titran sampel adalah 1,970 mL

$$\begin{aligned} \text{COD (mgL}^{-1}\text{)} &= \frac{(a-b) \times N \text{ FAS} \times 1000 \times \text{BeO}_2 \times P}{V \text{ sampel}} \\ &= \frac{(1,995-1,970) \times 0,103 \times 1000 \times 8 \times 25}{2} = 257,5 \text{ mgL}^{-1} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Tingkat Efisiensi Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

1. Persentase COD Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO_4 10 ppm

a. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 5488 mgL^{-1} dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 1176 mgL^{-1} , maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(5488 - 1176) \text{ mg/L} \times 100\%}{5488 \text{ mg/L}} = 78,57\% \end{aligned}$$

b. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 3969 mgL⁻¹ dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 539 mgL⁻¹, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(3969 - 539) \text{ mg/L} \times 100\%}{3969 \text{ mg/L}} = 86,42\% \end{aligned}$$

c. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 3822 mgL⁻¹ dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 392 mgL⁻¹, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(3822 - 392) \text{ mg/L} \times 100\%}{3822 \text{ mg/L}} = 89,74\% \end{aligned}$$

2. Persentase COD Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO₄ 25 ppm**a. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)**

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 3952 mgL⁻¹ dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 676 mgL⁻¹, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(3952 - 676) \text{ mg/L} \times 100\%}{3952 \text{ mg/L}} = 82,89\% \end{aligned}$$

b. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 3900 mgL⁻¹ dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 624 mgL⁻¹, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(3900 - 624) \text{ mg/L} \times 100\%}{3900 \text{ mg/L}} = 84\% \end{aligned}$$

c. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 2288 mgL⁻¹ dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 364 mgL⁻¹, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(2288 - 364) \text{ mg/L} \times 100\%}{2288 \text{ mg/L}} = 84,10\% \end{aligned}$$

3. Persentase COD Reaktor SBMFC pada Katolit KMnO_4 50 ppm

a. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 2650 mgL^{-1} dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 618 mgL^{-1} , maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(2650 - 618) \text{ mg/L} \times 100\%}{2650 \text{ mg/L}} = 76,68\% \end{aligned}$$

b. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 3000 mgL^{-1} dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar 412 mgL^{-1} , maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(3000 - 412) \text{ mg/L} \times 100\%}{3000 \text{ mg/L}} = 86,27\% \end{aligned}$$

c. Persentase COD Reaktor SBMFC untuk Duplo (B2)

Pada Jam ke-0 nilai COD sebesar 2850 mgL^{-1} dan pada jam ke-60 nilai COD sebesar $257,5 \text{ mgL}^{-1}$, maka nilai persentasenya adalah:

$$\begin{aligned} \text{COD (\%)} &= \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir}) \times 100\%}{\text{COD awal}} \\ &= \frac{(2850 - 257,5) \text{ mg/L} \times 100\%}{2850 \text{ mg/L}} = 90,96\% \end{aligned}$$

Lampiran 6. Data hasil perhitungan

A. Nilai *Power Density* (mWm^{-2}) Reaktor SB *Microbial Fuel Cell* (MFC) *Dual Chamber* pada Variasi Katolit KMnO_4 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm

Tabel 4.1 Nilai *Power Density* (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC
Blanko atau Kontrol (A)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan mWm^{-2}		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	2,87	26,67	8,10
2	06	2,66	69,96	44,49
3	12	3,40	88,67	24,06
4	18	3,50	99,43	21,14
5	24	7,15	80,74	36,17
6	30	5,57	101,50	51,04
7	36	7,31	103,85	56,88
8	42	7,39	98,09	100,79
9	48	14,51	87,74	20,99
10	54	16,73	99,50	5,57
11	60	25,95	99,41	5,67

Tabel 4.2 Nilai *Power Density* (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC Duplo (B1)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan mWm^{-2}		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	20,56	47,48	50,67
2	06	17,00	118,59	140,10
3	12	10,15	100,75	169,50
4	18	11,92	101,21	98,69
5	24	20,98	117,24	115,16
6	30	19,68	97,47	99,00
7	36	23,75	107,31	81,81
8	42	36,33	110,81	87,09
9	48	48,50	94,44	93,63
10	54	56,76	89,91	102,00
11	60	58,52	87,33	78,54

Tabel 4.3 Nilai *Power Density* (mWm^{-2}) Reaktor SBMFC Duplo (B2)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan mWm^{-2}		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	18,77	41,59	54,75
2	06	11,59	127,41	113,66
3	12	26,80	104,39	104,55
4	18	32,89	83,47	101,82
5	24	30,81	58,29	150,34
6	30	37,70	67,08	112,34
7	36	40,32	64,76	75,62
8	42	42,93	83,81	81,77
9	48	64,59	89,50	82,56
10	54	78,36	66,92	87,84
11	60	81,75	70,56	74,82

B. Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SB *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dual Chamber pada Variasi Katolit KMnO_4 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm

Tabel 4.4 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC
Blanko atau Kontrol (A)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan Joule		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	0,0016	0,0154	0,0047
2	06	0,5508	14,5066	9,2266
3	12	1,4083	36,7718	9,9792
4	18	2,1773	61,8555	13,1479
5	24	5,9270	66,9652	29,9981
6	30	5,7740	105,2374	52,9200
7	36	9,0980	129,2021	70,7616
8	42	10,7350	142,3820	146,3026
9	48	24,0710	145,5442	34,8192
10	54	31,2206	185,6909	10,3926
11	60	53,8056	206,1331	11,7504

Tabel 4.5 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC Duplo (B1)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan Joule		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	0,0118	0,0273	0,0292
2	06	3,5245	24,5912	29,0511
3	12	4,2081	41,7839	70,2950
4	18	7,4131	62,9603	61,3915
5	24	17,4079	97,2415	95,5152
6	30	20,3969	101,0567	100,0771
7	36	29,5488	133,5087	101,7878
8	42	52,7295	160,8450	126,4198
9	48	80,4574	156,6639	155,3126
10	54	105,9227	167,8002	190,3565
11	60	121,3380	181,0944	162,8640

Tabel 4.6 Nilai Energi Listrik (Joule) Reaktor SBMFC Duplo (B2)

No.	Waktu (Jam)	Dalam Satuan Joule		
		10 ppm	25 ppm	50 ppm
1	00	0,0108	0,0239	0,0315
2	06	2,4026	26,4190	23,5690
3	12	11,1154	43,2929	43,3598
4	18	20,4619	51,9229	63,3420
5	24	25,5571	48,3538	124,6959
6	30	39,0906	70,4074	116,4715
7	36	50,1682	80,5684	94,0818
8	42	62,3065	121,6555	118,6920
9	48	107,1533	148,4663	136,9509
10	54	146,2491	124,8826	163,9375
11	60	169,5168	146,3076	155,1550

C. Nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Analisis COD Reaktor SBMFC Blanko atau Kontrol (A) pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Dalam Satuan mgL^{-1}		
	10 ppm	25 ppm	50 ppm
0	5488	3952	2650
12	4116	2756	1800
24	3332	1924	1200
36	2254	1248	1802,5
48	1519	780	1236
60	1176	676	618

2. Reaktor SBMFC untuk Duplo (B1 dan B2)

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Analisis COD Reaktor SBMFC B1 pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Dalam Satuan mgL^{-1}		
	10 ppm	25 ppm	50 ppm
0	3969	3900	3000
12	3626	2132	1350
24	3332	1820	1000
36	2058	1716	1133
48	1176	936	772,5
60	539	624	412

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Analisis COD
Reaktor SBMFC B2 pada Variasi Katolit KMnO_4

Jam	Dalam Satuan mgL^{-1}		
	10 ppm	25 ppm	50 ppm
0	3822	2288	2850
12	3332	1924	1800
24	3332	2496	1000
36	2940	1300	1339
48	1127	936	927
60	392	364	257,5

Catatan untuk Analisis COD:

Limbah cair tapioka awal :

COD = $6887,5 \text{ mgL}^{-1}$

pH = $\pm 4-4,3$

D. Nilai Persentase Efisiensi *Chemical Oxygen Demand* (COD)

1. Reaktor SBMFC untuk Blanko atau Kontrol (A)

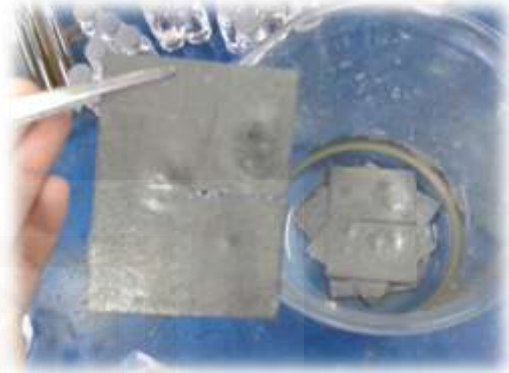
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Persentase COD Reaktor SBMFC
pada Variasi Katolit KMnO_4

mgL^{-1}	Dalam Satuan %		
	A	B1	B2
10	78,57	86,42	89,74
25	82,89	84,00	84,10
50	76,68	86,27	90,96

Lampiran 7. Foto hasil dokumentasi



Gambar 5.1 Aktivasi Karbon *cloth* dalam *Ultrasonic batch*



Gambar 5.2 Netralisasi Elektroda Karbon *cloth* dengan akuades



Gambar 5.3 Pengukuran luas elektroda Karbon *cloth*



Gambar 5.4 Preparasi bahan Singkong



Gambar 5.5 Proses pembuatan bubur Singkong



Gambar 5.6 Proses penyaringan (ekstraksi) bubur singkong



Gambar 5.7 Proses Pengendapan dan Limbah padat Tapioka



Gambar 5.8 Preparasi bahan pembuatan Jembatan Garam



Gambar 5.9 Pembuatan Jembatan Garam di atas *hot plate*



Gambar 5.10 Preparasi bahan pembuatan Media YEP



Gambar 5.11 Media YEP yang akan disterilisasi



Gambar 5.12 Inokulum mikroba *mix culture* dalam media YEP



Gambar 5.13 Aklimatisasi mikroba pada 100% media dalam 0% limbah



Gambar 5.14 Aklimatisasi mikroba pada 70% media dalam 30% limbah



Gambar 5.15 Aklimatisasi mikroba pada 30% media dalam 70% limbah



Gambar 5.16 Inokulum hasil aklimatisasi dari 100% media YEP



Gambar 5.17 Inokulum hasil aklimatisasi dari 70% media YEP



Gambar 5.18 Inokulum hasil aklimatisasi dari 30% media YEP



Gambar 5.19 Alat sterilisasi *Autoclave*



Gambar 5.20 Spektrofotometer Uv-Vis



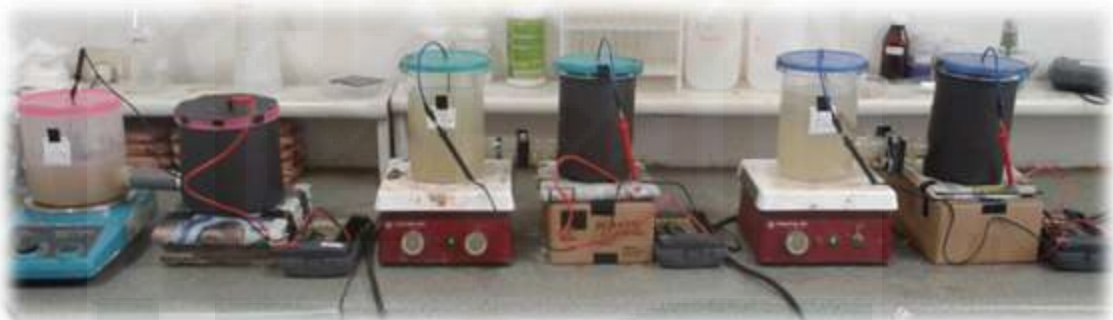
Gambar 5.21 Alat ukur pH dan tingkat konduktivitas



Gambar 5.22 Pipet Volumetrik ukuran 1 mL



Gambar 5.23 Multimeter Digital merek Sanwa



Gambar 5.24 *Running* reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm



Gambar 5.25 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm



Gambar 5.26 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm (Blanko atau Kontrol)



Gambar 5.27 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm B1 dan B2 (Duplo)



Gambar 5.26 Sampling COD reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm



Gambar 5.27 Inokulum mikroba dari *Running* reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10 ppm



Gambar 5.28 *Running* reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 25 ppm



Gambar 5.29 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 25 ppm (Blanko atau Kontrol)



Gambar 5.30 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 25 ppm B1 dan B2 (Duplo)



Gambar 5.31 Sampling COD reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 25 ppm dan KMnO_4 10 ppm (botol kecil)



Gambar 5.32 *Running* reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 50 ppm



Gambar 5.33 *Running* reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 50 ppm (Blanko atau Kontrol)



Gambar 5.34 Hasil *Running* setelah 60 jam reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 50 ppm B1 dan B2 (Duplo)



Gambar 5.35 Sampling COD reaktor SBMFC pada variasi katolit KMnO_4 10, 25 dan 50 ppm (botol kecil)



Gambar 5.36 Perbandingan KMnO_4 awal dengan KMnO_4 akhir (setelah running SBMFC)



Gambar 5.37 Pengenceran sampel COD



Gambar 5.38 Preparasi pereaksi uji COD



Gambar 5.39 Uji COD sampel-limbah tapioka ($KMnO_4$ 10 ppm)



Gambar 5.40 Uji COD sampel-limbah tapioka ($KMnO_4$ 25 ppm)



Gambar 5.41 Uji COD sampel-limbah tapioka ($KMnO_4$ 50 ppm)



Gambar 5.42 Uji COD sebelum dilakukan titrasi titrimetri



Gambar 5.43 Uji COD setelah dilakukan titrasi titrimetri

CURRICULUM VITAE

Wisnu Muliawati

I am a hospitable, hard worker, humble, cooperative, responsive, responsible, like to work with target, under pressure and working with the team.

A. Personal Information

Name : Wisnu Muliawati
Sex : Female
Place, Date of Birth : Fakfak, October 09 1993
Citizenship : Indonesia
Height, weight : 162 cm, 52 kg
Religion : Moeslem
Status : Single
Blood Type : A
Current address : Santan gang 2 no. 22 Jl. Adisucipto –
Maguwoharjo, Yogyakarta
Home address : Kebunagung RT 02/ RW 09, Sine Sragen, Jawa
Tengah
No Telp : 085725527064
E-mail : wisnu_muliawati@yahoo.com

B. Educational Background

Elementary School : SDN 2 Remu Sorong Papua
SDN 19 Sragen Jateng
Junior High School : MTs N 1 Sragen Central of Java
Senior High School : MAN 1 Sragen Central of Java
Academy : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta (semester VII)

C. Capability

1. Language (Indonesian, English, and Arabic).
2. Computerization (MS Word, MS Excel, MS Power).
3. Internet
4. Karate and admin of match

D. Organization

- 2007 – 2008 : DKP MTs Negeri 1 Sragen
2010 – 2011 : DAP MA Negeri 1 Sragen
2011 – 2012 : INKAI UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2011 – 2013 : DPU Daarut Tauhid Cabang Yogyakarta
2011 – 2013 : BEM PS Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Sincenery

My regard

Wisnu Muliawati