



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU
DI SURABAYA MENGGUNAKAN KOMBINASI
*MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs) DAN
ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR)***

VALIANTO ROJULUN AFIF
0321154000043

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU
DI SURABAYA MENGGUNAKAN KOMBINASI
MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs) DAN
*ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR)***

VALIANTO ROJULUN AFIF
0321154000043

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

**TOFU INDUSTRIAL WASTEWATER
TREATMENT IN SURABAYA USING
COMBINATION OF MICROBIAL FUEL CELLS
(MFCs) AND ANAEROBIC BAFFLED REACTOR
(ABR)**

VALIANTO ROJULUN AFIF
0321154000043

SUPERVISOR
Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DI
SURABAYA MENGGUNAKAN KOMBINASI *MICROBIAL FUEL
CELLS (MFCs) DAN ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR)*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Teknik Lingkungan
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

VALIANTO ROJULUN AFIF

NRP. 0321154000043

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19710818 199703 2 001



PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DI SURABAYA MENGGUNAKAN MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs) DAN ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR)

Nama Mahasiswa : Valianto Rojulun Afif
NRP : 0321154000043
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Surabaya memiliki industri kecil sebanyak 174 unit dan 10 unit diantaranya merupakan industri tahu. Sebagian besar industri tahu di Surabaya belum memiliki IPAL yang standar, sehingga *effluent* yang keluar dari IPAL belum memenuhi baku mutu menurut Pergub Jatim No.72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Hal ini dikarenakan adanya kendalanya biaya untuk pembangunan IPAL standar dan luas lahan yang dimiliki. Limbah cair industri tahu memiliki kandungan BOD sebesar 2725,3 mg/L dan COD sebesar 4468,7 mg/L, dan dapat menyebabkan penurunan daya lingkungan jika kinerja unit IPAL kurang efektif karena kurang memenuhi standar. Berdasarkan permasalahan tersebut, limbah cair tahu diolah dengan unit kombinasi antara *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan *Microbial Fuel Cells* (MFCs). Tujuan dari penelitian ini, antara lain menganalisis pengaruh dari waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi *removal* COD dan BOD pada unit kombinasi MFCs dan ABR, menganalisis pengaruh dari jenis anoda terhadap produksi energi listrik dari unit kombinasi MFCs dan ABR, dan Menghitung produksi energi listrik dari unit kombinasi MFCs dan ABR. Tahap penelitian ini terdiri dari tahap aklimatisasi dan tahap *running* reaktor. Aklimatisasi dilakukan selama 11 hari diawali dengan konsentrasi COD sebesar 518,4 mg/L kemudian ditingkatkan secara bertahap setiap hari hingga pada hari terakhir mencapai 1030,4 mg/L. Hasil dari penelitian ini, antara lain waktu tinggal memberikan pengaruh terhadap efisiensi *removal* senyawa organik, semakin lama waktu tinggal maka semakin besar efisiensi *removal* senyawa organik yang didapat. Efisiensi *removal* COD tertinggi didapat pada waktu tinggal 16 jam

dengan menggunakan anoda karbon yaitu sebesar 79,55%. Jenis anoda memberikan pengaruh terhadap produksi energi listrik, pada penelitian ini anoda *zinc* menghasilkan tegangan yang lebih tinggi pada masing – masing varian waktu tinggal dibandingkan dengan anoda karbon. Energi listrik yang dihasilkan dari masing – masing varian, antara lain untuk anoda *zinc* pada waktu tinggal 8 jam sebesar 1,38 mW.jam, pada waktu tinggal 12 jam sebesar 4,17 mW.jam, dan pada waktu tinggal 16 jam sebesar 1,83 mW.jam. Sedangkan, untuk anoda karbon pada waktu tinggal 8 jam sebesar 1,44 mW.jam, pada waktu tinggal 12 jam sebesar 1,64 mW.jam, dan pada waktu tinggal 16 jam sebesar 1,11 mW.jam.

Kata kunci: anaerobic baffled reactor, energi listrik, industri tahu, limbah cair tahu, microbial fuel cells

TOFU INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT IN SURABAYA USING COMBINATION OF MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs) AND ANAEROBIC BAFFLED REACTOR (ABR)

Nama Mahasiswa : Valianto Rojulun Afif
NRP : 0321154000043
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Surabaya has 174 small scale industries and 10 of them are tofu industries. Most of the tofu industry in Surabaya does not yet have a standard WWTP, so the effluent that comes out of the WWTP does not meet the quality standards according to East Java Governor Regulation No.72 of 2013 concerning Wastewater Quality Standards for Industry and /or Other Business Activities. This is because there are constraints on the cost of building a standard WWTP and the amount of land it has. Tofu industry liquid waste has a BOD content of 2725.3 mg/L and COD of 4468.7 mg/L, and can cause a decrease in environmental power if the performance of the WWTP unit is less effective because it does not meet the standards. Based on these problems, tofu liquid waste is treated with a combination unit between Anaerobic Baffled Reactors (ABR) and Microbial Fuel Cells (MFCs). The objectives of this study include analyzing the effect of hydraulic residence time on the removal efficiency of COD and BOD on a combination unit of MFCs and ABR, analyzing the effect of anode type on the production of electrical energy from a combination unit of MFCs and ABR, and calculating the production of electrical energy from a combination unit MFCs and ABR. The research phase consisted of the acclimatization stage and the reactor running stage. Acclimatization was carried out for 11 days starting with a COD concentration of 518.4 mg / L and then gradually increased every day until the last day reached 1030.4 mg / L. The results of this study, among others, residence time has an effect on the removal efficiency of organic compounds, the longer the residence time, the greater the removal efficiency of organic compounds obtained. The

highest COD removal efficiency was obtained at a residence time of 16 hours using a carbon anode of 79.55%. The type of anode provides an influence on the production of electrical energy, in this study zinc anode produced voltage higher than carbon anode. The electrical energy generated from each variant, for example zinc anode at a residence time of 8 hours is 1.38 mW hours, at a residence time of 12 hours at 4.17 mW hours, and at a residence time of 16 hours at 1.83 mW hours. Whereas, for carbon anode at 8 hours residence time is 1.44 mW hours, at 12 hours residence time is 1.64 mW hours, and at residence time 16 hours is 1.11 mW hours.

Keyword(s): tofu liquid waste, anaerobic baffled reactor, microbial fuel cells

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program studi Teknik Lingkungan Strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan – kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Proses penyusunan laporan ini juga tidak lepas dari bantuan orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan setiap saat sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan laporan tepat waktu, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

- 1) Ibu Bieby Vojjant Tangahu, ST., MT., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang senantiasa memberi bimbingan dan arahan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
- 2) Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT., Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST., MT., Ph.D., dan Bapak Welly Herumuti, ST., M.Sc. selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulis dapat mengerjakan tugas akhir dengan baik.
- 3) Teman – teman angkatan 2015 yang senantiasa menemani dalam pengerjaan tugas akhir.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan karunia-Nya dan membalas segala amal budi serta kebaikan pihak – pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini dan semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pihak – pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 19 Desember 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sektor Industri Tahu di Surabaya	5
2.2. Proses Pembuatan Tahu	5
2.3. Karakteristik Limbah Cair Tahu di Surabaya	5
2.4. <i>Microbial Fuel Cells</i>	6
2.5. <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	7
2.6. Proses yang Terjadi dalam Reaktor.....	8
2.7. Metabolisme Mikroorganisme dalam MFCs.....	10
2.8. Elektroda dalam MFCs.....	12
2.9. Jenis Anoda untuk MFCs	13
2.10. Jenis Katoda untuk MFCs	13
2.11. Penghubung Jembatan Garam	14
2.12. Pengaruh Waktu Tinggal.....	14
2.13. Pengaruh Pengenceran	15
2.14. Larutan Elektrolit	15

2.15. Pengaruh Jarak Antar Elektroda	16
2.16. Produksi Energi Listrik.....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	17
3.2. Kerangka Penelitian	17
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	19
3.4. Pelaksanaan Penelitian.....	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Proses Aklimatisasi	35
4.2. Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Efisiensi <i>Removal</i>	38
4.3. Pengaruh Jenis Anoda terhadap Produksi Energi Listrik.....	42
4.4. Produksi Energi Listrik.....	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN A	65
LAMPIRAN B	73
LAMPIRAN C	77
BIOGRAFI PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	MFCs Menggunakan Jembatan Garam	7
Gambar 2.2	Macam – Macam Transfer Elektron pada MFCs ...	9
Gambar 2.3	Metabolisme Mikroorganisme dalam MFCs	12
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	19
Gambar 3.2	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Uji Reaktor	21
Gambar 3.	Ilustrasi Reaktor Penelitian	27
Gambar 3.4	Tampak Atas Reaktor Penelitian.....	27
Gambar 3.5	Tampak Samping Reaktor Penelitian.....	28
Gambar 3.6	Tampak Depan Reaktor	28
Gambar 3.7	Jembatan Garam.....	29
Gambar 3.8	Titik <i>Outlet</i> Saluran Pembuangan Limbah Cair Tahu	30
Gambar 3.9	Proses Pengambilan Sampel Menggunakan Timba.....	30
Gambar 3.10	<i>Reactor Flow Direction</i>	32
Gambar 4.1	Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tinggal 8 Jam.....	36
Gambar 4.2	Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tinggal 12 Jam.....	36
Gambar 4.3	Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tinggal 16 Jam.....	37
Gambar 4.4	Pengecekan Gas Karbon Dioksida dengan Api.....	38
Gambar 4.5	Efisiensi <i>Removal</i> COD.....	39
Gambar 4.6	Efisiensi <i>Removal</i> BOD.....	39
Gambar 4.8	Hasil Pengukuran Tegangan Waktu Tinggal 12 Jam.....	44

Gambar 4.9	Hasil Pengukuran Tegangan Waktu Tinggal 16 Jam	44
Gambar 4.10	Perbandingan Tegangan Antara <i>Zinc</i> dan Karbon	45
Gambar 4.11	Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 8 Jam	46
Gambar 4.12	Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 12 Jam ...	46
Gambar 4.13	Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 16 Jam ...	47
Gambar 4.11	Produksi Energi Listrik Masing – Masing Varian .	50
Gambar 4.12	Perbandingan Beban COD dan Total Daya Varian Anoda <i>Zinc</i>	52
Gambar 4.13	Perbandingan Beban COD dan Total Daya Varian Anoda Karbon	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Limbah Cair Tahu di Surabaya.....	6
Tabel 2.2	Kriteria Desain ABR.....	8
Tabel 3.1	Matriks Variabel Penelitian	32
Tabel 3.2	Waktu Pengukuran Masing – Masing Waktu Tinggal.....	33
Tabel 4.1	Perbandingan COD Outlet dengan Baku Mutu	41
Tabel 4.2	Perbandingan BOD Outlet dengan Baku Mutu	41
Tabel 4.3	Produksi Daya Anoda <i>Zinc</i> Waktu Tinggal 8 Jam	49
Tabel 4.4	Produksi Daya Anoda <i>Zinc</i> Waktu Tinggal 12 Jam..	49
Tabel 4.5	Produksi Daya Anoda <i>Zinc</i> Waktu Tinggal 16 Jam..	49
Tabel 4.6	Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 8 Jam	49
Tabel 4.7	Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 12 Jam.....	50
Tabel 4.8	Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 16 Jam	50
Tabel 4.9	Perbandingan Total Daya Anoda <i>Zinc</i> dan Karbon..	51
Tabel 4.10	Beban COD pada Kompartemen ke - 6	52
Tabel 4.11	Nilai Masing – Masing Varian Penelitian	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan pusat pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Timur karena lokasi dari Kota Surabaya terletak di jalur perdagangan Kawasan Timur dan Kawasan Barat Indonesia. Potensi perdagangan yang dimiliki oleh Kota Surabaya sangat kuat sehingga banyak sektor perekonomian yang salah satunya adalah sektor perindustrian (Istifadah, *et. al.*, 2017).

Menurut Pemerintah Kota Surabaya, pada tahun 2015 Surabaya memiliki jumlah industri kecil sebanyak 174 unit, dan sebanyak 10 unit yang beroperasi adalah industri tahu. Industri Pada umumnya industri tahu di Surabaya masih memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang sederhana untuk limbah cair yang dihasilkan, sehingga *effluent* yang dihasilkan masih belum memenuhi baku mutu (Pamungkas *and* Slamet, 2017).

Permasalahan yang menjadi penyebab sebagian besar industri tahu belum memiliki IPAL yang sesuai standar adalah kendala biaya untuk pembangunan, operasional dan perawatan dari IPAL standar tersebut (Rizky, 2013). Masalah lain yang dimiliki adalah industri tahu memiliki luas area yang terbatas untuk membangun IPAL sehingga sulit bagi mereka untuk membangun IPAL sebagai unit pengolah limbah cair di dalam industri tahu tersebut (Pamungkas *and* Slamet, 2017).

Segala keterbatasan yang dimiliki menimbulkan banyaknya industri tahu yang membuang limbahnya dalam keadaan belum memenuhi baku mutu sedangkan limbah cair industri tahu memiliki kandungan yang berbahaya bagi lingkungan khususnya badan air, yaitu kandungan pencemar BOD dan COD yang cukup tinggi, untuk kandungan BOD rata – rata sebesar 2725,3 mg/L dan COD sebesar 4468,7 mg/L (Pamungkas *and* Slamet, 2017). Dengan kandungan pencemar organik yang tinggi, limbah cair tahu dapat menyebabkan berbagai macam permasalahan yaitu menjadi sumber penyakit berupa penyakit gatal – gatal, diare, kolera, radang usus dan penyakit lainnya jika digunakan oleh masyarakat secara langsung. Selain itu, adapun dampak penurunan daya lingkungan jika dibuang langsung ke badan air, sehingga limbah

cair tahu perlu pengolahan untuk mengurangi risiko beban pencemar yang ada (Kaswinarni, 2007).

Berdasarkan permasalahan diatas, perlu adanya teknologi yang sesuai untuk diaplikasikan agar limbah cair industri tahu dapat terolah sebelum dibuang ke badan air. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan unit pengolahan air limbah yang cocok untuk diaplikasikan pada industri skala kecil salah satunya industri tahu karena memiliki beberapa keunggulan antara lain memiliki desain yang sederhana, tanpa ada pemisahan khusus, tanpa bahan isian, dan tidak ada bahan yang bergerak. Disamping itu, ABR memiliki kelemahan yaitu kinerja dalam meremoval kandungan organik relatif kecil karena kontak antar mikroba dengan limbah terkadang kurang sempurna karena tidak merata (Djarwanti, 2015). Oleh karena itu pada penelitian ini, ABR dikombinasikan dengan *Micobial Fuel Cells* (MFCs) yang merupakan unit pengolahan air limbah dengan menggunakan mikroorganisme sebagai agen pengoksidasi kandungan organik yang dikonversi menjadi elektron kemudian ditransfer ke anoda menuju katoda melalui kawat sirkuit (Logan , 2009). MFCs memiliki efisiensi pengolahan yang relatif rendah karena mikroorganisme di dalam reaktor MFCs kurang mampu untuk mencerna kandungan organik dalam bentuk kompleks. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan proses hidrolisis untuk mengubah kandungan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga memaksimal proses pencernaan kandungan organik oleh mikroorganisme agar efisiensi dalam MFCs dalam memproduksi energi listrik dapat meningkat (Velasquez – Orta, *et. al.*, 2009). Unit ABR dapat digunakan sebagai tempat terjadinya proses hidrolisis kandungan organik pada air limbah sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Proses hidrolisis ini akan terjadi pada bagian tangki pengendap dari ABR (Rambe, 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh dari waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi *removal* COD dan BOD pada unit kombinasi MFCs dan ABR ?
2. Bagaimana pengaruh dari jenis anoda terhadap produksi energi listrik dari unit kombinasi MFCs dan ABR ?

3. Berapa energi listrik yang dihasilkan dari unit kombinasi antara MFCs dan ABR ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini, antara lain :

1. Menentukan adanya pengaruh dari waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi *removal* COD dan BOD pada unit kombinasi MFCs dan ABR.
2. Menentukan adanya pengaruh dari jenis anoda terhadap produksi energi listrik dari unit kombinasi MFCs dan ABR.
3. Menghitung produksi energi listrik dari unit kombinasi MFCs dan ABR.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini, antara lain :

- a. Industri tahu yang diteliti adalah Industri Tahu berada di Jalan Kedung Tarukan No. 12, Pacar Keling, Surabaya.
- b. Parameter yang diteliti adalah kandungan DO, pH, BOD, COD, tegangan, arus, dan daya.
- c. Teknologi pengolahan yang digunakan adalah kombinasi *stack* MFCs *double chamber* dan ABR dengan sistem aliran kontinyu.
- d. Variabel penelitian ini, antara lain waktu tinggal dan jenis anoda.
- e. Waktu tinggal hidrolis pada penelitian ini, antara lain 8 jam, 12 jam, dan 16 jam.
- f. Jenis anoda yang digunakan adalah karbon dan *zinc*.
- g. Jenis katoda yang digunakan adalah tembaga.
- h. Rangkaian elektroda dipasang pada kompartemen anoda ujung outlet.
- i. Baku mutu BOD sebesar 150 mg/L dan COD sebesar 300 mg/L yang mengacu pada Pergub Jatim No.72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini, antara lain :

- a. Memberikan inovasi pengolahan limbah cair untuk industri tahu di Surabaya.
- b. Memberikan suplai energi listrik untuk menunjang kegiatan industri tahu di Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sektor Industri Tahu di Surabaya

Surabaya memiliki jumlah industri tahu yang beroperasi sebanyak 10 unit dan terbagi menjadi industri tahu besar, sedang, dan kecil. Industri tahu besar menghasilkan tahu sebanyak 500 kg setiap hari, industri tahu sedang memproduksi tahu sebanyak 100 – 500 kg setiap hari, dan industri tahu kecil memproduksi tahu sebanyak dibawah 100 kg setiap hari. Sebagian besar industri tahu di Surabaya belum memiliki unit IPAL yang standar sehingga *effluent* yang dihasilkan masih belum memenuhi baku mutu sedangkan jika *effluent* yang belum memenuhi baku mutu tersebut dibuang ke badan air maka akan menyebabkan terjadinya penurunan daya lingkungan (Pamungkas, 2017). Terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab dari banyaknya industri tahu di Surabaya yang belum memiliki IPAL antara lain kendala biaya untuk pembangunan, operasional dan perawatan dari IPAL tersebut (Rizky, 2013) dan kendala sempitnya area industri tahu untuk pembangunan IPAL (Pamungkas, 2017).

2.2. Proses Pembuatan Tahu

Proses pembuatan tahu terdiri dari beberapa tahap yang pertama yaitu perendaman dengan tujuan agar air terserap oleh kedelai sehingga mudah dihancurkan saat penggilingan. Setelah direndam, air rendaman ditiriskan kemudian dilakukan proses penggilingan serta ditambahkan air panas saat proses penggilingan. Kemudian ditambahkan air dan dipanaskan sampai mendidih selama beberapa menit. Kemudian bubur kedelai disaring dalam keadaan panas dengan kain saring dan sisa larutan diperas menggunakan alat *press* hingga diperoleh sari kedelai. Kemudian ditambahkan penggumpal pada sari kedelai hingga menggumpal. Setelah menggumpal, dimasukkan ke dalam cetakan tahu (Nanda, 2016). Proses pemanasan, penyaringan dan pencetakan merupakan tahap yang menghasilkan limbah cair tahu (Kurnianto, *et. al.*, 2017).

2.3. Karakteristik Limbah Cair Tahu di Surabaya

Limbah cair yang dihasilkan dari industri tahu Surabaya memiliki kandungan pencemar yang berbahaya jika tidak diolah

dan dibuang langsung ke badan air tanpa ada pengolahan. Berikut karakteristik dari kandungan rata – rata limbah cair industri tahu di Surabaya.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Cair Tahu di Surabaya

Parameter	Nilai	Satuan
pH	4,4	
TSS	1116,7	mg/L
BOD	2725,3	mg/L
COD	4468,7	mg/L
Nitrogen	679,91	mg/L
Pospat	162,58	mg/L
CO ₂	1916,7	mg/L
HCO ₃	813,3	mg/L

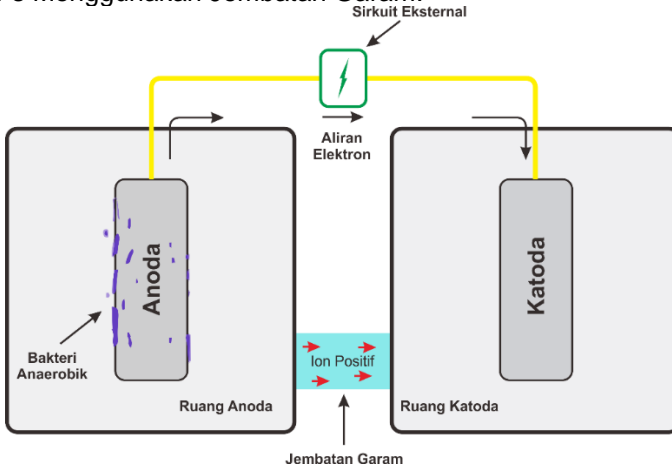
(Sumber : Pamungkas, 2017)

Berdasarkan **Tabel 2.1**, didapat bahwa limbah cair tahu di Surabaya memiliki rasio BOD/COD diatas 0,5 yaitu 0,61 sehingga limbah tersebut bersifat *biodegradable*. Unit pengolah yang tepat untuk diaplikasikan adalah unit yang memanfaatkan mikroorganismenya untuk mengolah polutan organik dalam limbah cair.

2.4. Microbial Fuel Cells

Microbial Fuel Cells (MFCs) adalah unit pengolah air limbah dengan menggunakan mikroorganismenya untuk mengolah kandungan pencemar dalam air limbah kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Mikroorganismenya yang berperan di dalam MFCs untuk mengkonversi senyawa organik menjadi energi listrik adalah bakteri elektrogenik (Ibrahim, *et. al.*, 2019). Energi listrik yang dihasilkan dari mikroorganismenya melalui proses pencernaan kandungan organik akan ditransfer dari anoda menuju katoda melalui kawat sirkuit (Logan, 2009). Pada penelitian ini, jenis MFCs yang digunakan adalah MFCs *double chamber*, MFCs *double chamber* memiliki dua ruang yaitu ruang anodik yang berfungsi sebagai tempat limbah cair tahu diolah dan ruang katodik yang berfungsi sebagai tempat untuk larutan elektrolit. Kedua ruang ini dipisahkan dengan jembatan garam. Ruang anodik menampung substrat atau limbah cair dan mikroorganismenya yang kemudian menjadi tempat proses pengolahan termasuk proses hidrolisis,

glikolisis, fermentasi, dan respirasi. Ruang katoda merupakan ruang yang kontak antara elektron dan ion hidrogen (H^+) dengan oksigen secara langsung kemudian membentuk air. Jembatan garam merupakan penghubung antara ruang anoda dan ruang katoda yang berperan untuk transfer ion proton dari ruang anoda menuju ruang katoda (Parkash, 2015). Berikut gambaran dari MCFs Menggunakan Jembatan Garam.



Gambar 2.1 MFCs Menggunakan Jembatan Garam
(Sumber : Parkash, 2015)

2.5. *Anaerobic Baffled Reactor*

Proses dalam reaktor *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah penggabungan beberapa proses seperti sedimentasi yaitu proses pengendapan dengan penguraian lumpur secara parsial dalam kompartemen yang sama, walaupun pada dasarnya hanya merupakan suatu kolam sedimentasi tanpa bagian-bagian yang bergerak atau penambahan bahan-bahan kimia. Proses yang terjadi didalam ruang pertama ABR atau sering disebut dengan *settling tank* dimana terjadi proses reaksi hidrolisis dan pada ruang-ruang berikutnya terjadi proses penguraian akibat air limbah kontak dengan mikroorganisme atau disebut sebagai reaksi acidogenesis (Herawati and Wibawa, 2010).

Proses pembuatan desain ABR harus memperhatikan beberapa komponen yang menjadi kriteria desain antara lain beban organik, waktu tinggal hidrolis (HRT) di tangki pengendap,

waktu tinggal hidrolis (HRT) di reaktor bersekat dan kecepatan aliran ke atas (*upflow*) sehingga didapat ABR yang layak secara fungsional untuk diaplikasikan dalam mengolah limbah cair tahu. Pada penelitian ini, kriteria desain ABR mengacu pada Sasse (1998) sebagai berikut.

Tabel 2.2 Kriteria Desain ABR

Kriteria	Nilai	Satuan
Beban Organik	< 5	kg COD/m ³ .hari
HRT di Tangki Pengendap	1,5	Jam
HRT di Reaktor Bersekat	≥ 8	Jam
Kecepatan <i>Upflow</i>	1,4 – 2	m/jam

(Sumber : Sasse, 1998)

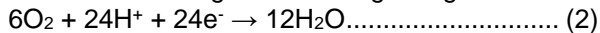
2.6. Proses yang Terjadi dalam Reaktor

Microbial Fuel Cells (MFCs) umumnya terdiri dari anoda, katoda, katalis berupa mikroorganisme, dan sirkuit elektrik untuk menyempurnakan sistem. Proses yang terjadi pada MFCs sangat ditentukan oleh aktivitas metabolik dari mikroorganisme yang hidup dalam suatu air limbah. Ruang anoda dari MFCs merupakan tempat dimana mikroorganisme dalam air limbah melakukan aktivitas metabolik. Mikroorganisme mengkonversi kandungan organik dalam air limbah melalui aktivitas metaboliknya. Aktivitas metabolik dari bakteri menghasilkan energi listrik pada anoda kemudian ditransfer menuju katoda melalui sirkuit elektrik disisi lain proses ini juga menghasilkan kation. Kation ditransfer menuju ruang katoda menggunakan partisi pertukaran kation (Tamakloe, *et. al.*, 2015).

Kompartemen anoda mengandung mikroorganisme yang mengolah substrat tanpa kehadiran oksigen atau dalam kondisi anaerobik. Substrat yang diolah mikroorganisme bersifat organik sebagai contoh glukosa. Berikut reaksi yang terjadi di dalam ruang anoda ketika mikroorganisme mengolah glukosa.

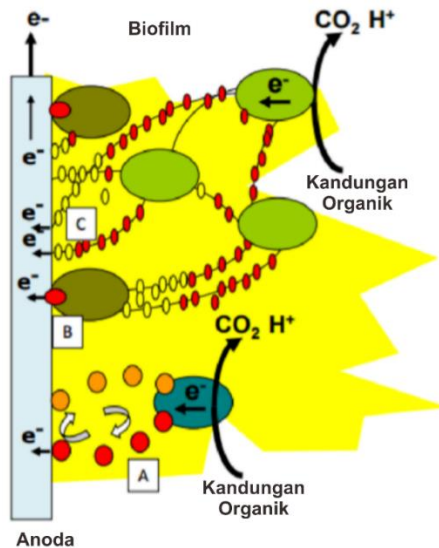


Ruang katoda pada MFCs berkontak langsung dengan oksigen dan menerima ion H⁺ dari ruang anoda. Berikut reaksi yang terjadi dalam katoda ketika mikroorganisme mengolah glukosa.



Reaksi tersebut menghasilkan elektron yang kemudian ditransfer dari ruang anoda menuju ruang katoda melalui sirkuit elektrik (Timotius, 2016).

Proses transfer elektron dari bakteri menuju anoda dapat berlangsung secara langsung dan tidak langsung. Proses transfer elektron secara tidak langsung dapat dilakukan melalui oksidasi dari produk sampingan yang dihasilkan dari metabolisme bakteri. Proses transfer elektron secara langsung dapat dilakukan melalui kontak langsung antara membran terluar mikroorganisme dan permukaan anoda, proses ini berlangsung dengan bantuan protein membran *cytochrome c* dari mikroorganisme tersebut. Proses transfer elektron secara langsung juga dapat dilakukan melalui koneksi konduktif ekstraseluler yang dimiliki oleh suatu mikroorganisme, yaitu pili konduktif dari suatu mikroorganisme. Berikut gambaran dari proses transfer elektron yang terjadi dalam reaktor (Santoro, *et. al.*, 2017).



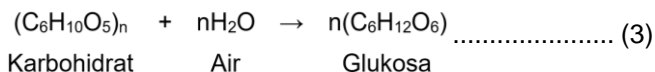
Gambar 2.2 Macam – Macam Transfer Elektron pada MFCs
(Sumber : Santoro, *et. al.*, 2017)

Poin A merupakan ilustrasi dari transfer elektron secara tidak langsung, poin B merupakan ilustrasi dari transfer elektron secara

langsung melalui protein membran *cytochrome c* dan poin C merupakan ilustrasi dari transfer elektron secara langsung melalui pili konduktif dari suatu mikroorganisme.

2.7. Metabolisme Mikroorganisme dalam MFCs

Proses metabolisme mikroorganisme dalam MFCs terdiri dari hidrolisis, glikolisis, fermentasi, metanogenesis dan tahap terakhir yaitu respirasi dimana mikroorganisme memproduksi karbon dioksida (CO₂), ion H⁺ dan elektron (e⁻). Tahap awal yaitu senyawa organik kompleks dihidrolisis oleh bakteri hidrolitik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Hidrolisis merupakan tahap awal dalam pengolahan secara anaerobik dimana bahan organik akan diolah oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah diuraikan oleh mikroorganisme pada tahap fermentasi. Proses hidrolisis ini terjadi di ruang pertama ABR atau disebut sebagai tangki pengendap (Rambe, 2016). Berikut gambaran dari reaksi hidrolisis dengan karbohidrat sebagai contoh.



Menurut Perwitasari dan Cahyo (2009), reaksi hidrolisis juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

- a. Suhu

Suhu mempengaruhi berjalannya reaksi hidrolisis, semakin meningkat suhu saat reaksi hidrolisis berjalan maka semakin cepat reaksi hidrolisis tersebut berlangsung. Dengan menggunakan suhu yang lebih tinggi maka waktu reaksi dapat dipercepat.
- b. Katalisator

Penggunaan katalisator dapat diterapkan dengan menambahkan asam pada reaksi, antara lain asam klorida, asam sulfat, asam sulfit, asam nitrat atau asam lain. Semakin banyak konsentrasi asam yang ditambahkan maka semakin cepat reaksi hidrolisis berlangsung. Pada penelitian ini, hidrolisis akan berlangsung dengan bantuan bakteri hidrolitik sebagai katalis untuk proses hidrolisis kandungan organik pada air limbah.

c. Waktu

Waktu berjalannya proses hidrolisis berpengaruh pada jumlah produk hidrolisis yang dihasilkan, semakin lama proses hidrolisis berlangsung maka semakin banyak produk hidrolisis yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan kesempatan reaktan untuk bereaksi semakin besar sehingga produk yang dihasilkan akan besar juga.

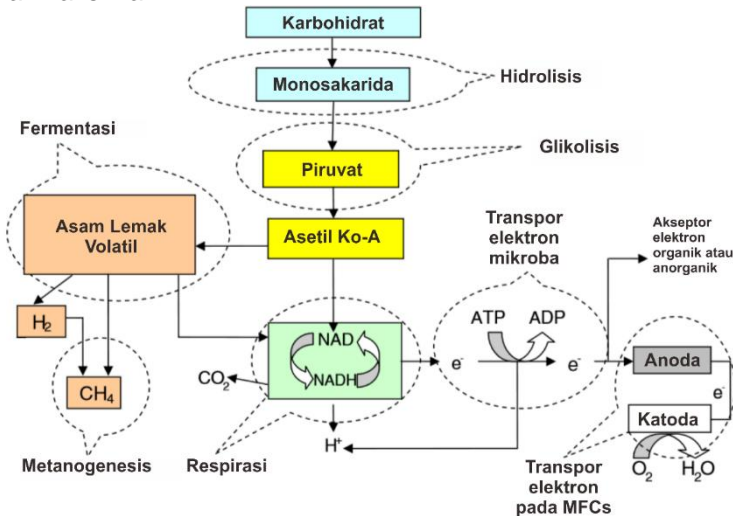
d. Netralisasi

Proses hidrolisis akan terus berlangsung dalam memecah senyawa kompleks menjadi lebih sederhana jika tidak dihentikan. Cara untuk menghentikan proses hidrolisis adalah dengan menurunkan suhu reaksi dan penambahan reaktan penetral asam seperti Na_2CO_3 (Natrium Karbonat).

Proses hidrolisis terjadi jika air limbah mengandung senyawa karbohidrat polimer seperti sukrosa, pati dan molase. Pada proses yang membutuhkan hidrolisis, mikroorganisme mengalami kehilangan energi karena proses hidrolisis tersebut. Setelah proses hidrolisis, senyawa yang diuraikan akan diproses lebih lanjut oleh mikroorganisme melalui proses fermentasi pada ruang anoda pada kondisi anaerobik (Torres, *et. al.*, 2007). Pada proses fermentasi, senyawa organik yang merupakan hasil reaksi dari mikroorganisme digunakan sebagai akseptor elektron. Produk umum dari proses fermentasi adalah asam lemak volatil (propionat, asetat dan butirrat) dan juga karbon dioksida (CO_2), hidrogen (H_2) dan produk organik lain. Asam lemak volatil kemudian dikonsumsi oleh mikroorganisme respiratori anoda. Pengonsumsi asam lemak volatil oleh mikroorganisme dapat menghasilkan elektron yang ditransfer menuju anoda pada MFCs. Kehilangan energi oleh mikroorganisme karena proses hidrolisis dan fermentasi berpengaruh pada efisiensi dari MFCs. Efisiensi MFCs akan lebih tinggi jika substrat yang diolah oleh mikroorganisme lebih sederhana (Velasquez – Orta, *et. al.*, 2011).

Pada penelitian ini, rangkaian elektroda dipasang pada kompartemen anoda di ujung outlet. Hal ini dikarenakan menurut Rambe (2016), masing – masing proses metabolisme mikroba memiliki tempat terjadi. Untuk proses hidrolisis terjadi pada bagian bak pengendap dari ABR. Untuk proses glikolisis, proses fermentasi, dan respirasi terjadi sepanjang kompartemen anoda

sehingga pada kompartemen terakhir dari ABR, senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu mencapai bentuk yang paling sederhana. Bentuk senyawa organik yang sederhana dapat memudahkan mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah cair tahu, sehingga energi listrik yang dihasilkan dapat mencapai nilai maksimal.



Gambar 2.3 Metabolisme Mikroorganisme dalam MFCs
(Sumber : Velasquez – Orta, *et. al.*, 2011)

2.8. Elektroda dalam MFCs

Elektroda merupakan kunci dari komponen MFCs dimana bakteri tumbuh sebagai biofilm. Kinerja MFCs tergantung dari biofilm yang ada pada elektroda tersebut (Xie, *et. al.*, 2015). Terdapat beberapa persyaratan dari logam yang baik untuk dijadikan sebagai elektroda untuk MFCs, antara lain memiliki konduktivitas listrik yang baik, memiliki luas permukaan yang luas, tidak korosif, biokompatibel dan bersifat stabil secara kimiawi maupun mekanis agar mendapatkan hasil yang dapat direproduksi. Hal yang harus diperhatikan dalam memasang elektroda untuk MFCs adalah jarak antara elektroda yang harus memiliki jarak sedekat mungkin untuk mencegah kebocoran listrik dan mengurangi nilai hambatan internal (Chang, 2005). Selain itu,

meningkatkan ukuran dari elektroda akan memicu peningkatan energi yang dihasilkan sehingga ukuran dari elektroda menjadi faktor penting yang mempengaruhi produksi energi dan resistansi internal dari MFCs karena interaksi antara mikroorganisme dan permukaan elektroda. Pada penelitian ini, material dari sirkuit penghubung antara anoda dan katoda adalah tembaga karena tembaga memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sehingga efektif digunakan sebagai sirkuit penghubung antara anoda dan katoda (Radi *and* Al-Fetlawi, 2017).

2.9. Jenis Anoda untuk MFCs

Material anoda yang digunakan secara signifikan memberikan pengaruh pada pembentukan biofilm dan transfer elektron antara mikroorganisme dan akseptor elektron (Mustakeem, 2015). Bahan yang digunakan sebagai anoda untuk MFCs harus bersifat konduktif yaitu mudah menghantarkan listrik dan biokompatibel yaitu sesuai dengan mikroba atau tidak akan mematikan mikroba karena sifatnya. Material anoda yang paling sesuai adalah karbon dalam bentuk lempeng grafit (padat, batang atau granula), dalam bentuk material berserat atau fiber dan dalam bentuk *glass carbon* (Hermayanti *and* Nugraha, 2014). Material karbon cocok digunakan sebagai anoda karena memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi, area permukaan spesifik, biokompatibilitas, stabilitas kimia dan harga yang murah (Wei, *et. al.*, 2011).

Material yang juga dapat dijadikan anoda yaitu *zinc*, *zinc* merupakan anoda yang baik dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia dan biokimia dan karena itu mikroba dalam MFCs dapat menghasilkan energi yang tinggi (Cek, 2017). *Zinc* memiliki kekuatan adsorpsi yang baik sehingga dapat membuat mikroba menempel pada permukaannya dalam jumlah besar (Radi *and* Al-Fetlawi, 2017).

2.10. Jenis Katoda untuk MFCs

Katoda terletak di ruang katoda pada MFCs dan menerima elektron dari anoda melalui sirkuit elektrik eksternal. Elektron ini akan mereduksi oksigen untuk memproduksi air sebagai produk akhir di ruang katoda (Logan, *et. al.*, 2006).

Katoda sangat berperan penting dalam peningkatan energi listrik yang dihasilkan, semakin besar ukuran dari katoda maka energi yang dihasilkan juga meningkat. Tenaga yang dihasilkan

berbanding lurus dengan luas area dari katoda, namun dampak dari peningkatan luas area terhadap energi listrik yang dihasilkan bergantung pada beban organik yang diolah dan konduktivitas (Cheng *and* Logan, 2011).

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah tembaga. Tembaga sangat tidak cocok digunakan sebagai anoda karena memiliki sifat logam berat yang dapat mengganggu aktivitas dari mikroba yang ada pada anoda, maka dari itu tembaga lebih cocok digunakan sebagai katoda (Ashoka *and* Bhat, 2012).

Penggunaan tembaga sebagai elektroda memberikan energi listrik yang lebih besar jika dibandingkan dengan logam lainnya karena tembaga memiliki konduktivitas yang tinggi dan resistansi elektrik yang lemah (Radi *and* Al-Fetlawi, 2017).

2.11. Penghubung Jembatan Garam

Jembatan garam merupakan penghubung antara ruang anoda dan ruang katoda. Jembatan garam terbuat dari agar dan natirum klorida (Sevda *and* Sreekrishnan, 2012). Jembatan garam memiliki fungsi sama seperti membran pertukaran proton (Smallman *and* Bishop, 2000). Jembatan garam juga memiliki peran dalam menjaga kelangsungan dari proses transfer elektron melalui sirkuit elektrik eksternal dan aliran ion – ion melalui larutan sebagai akibat dari redoks yang spontan dan terjadi pada kedua elektroda (Hermayanti *and* Nugraha, 2014). Peran jembatan garam sangat penting untuk menjaga kestabilan kinerja mikroorganismenya karena jika ion H^+ yang dihasilkan oleh reaksi tidak ditransfer menuju ruang katoda maka pH dalam ruang anoda akan menurun sehingga kinerja mikroorganismenya akan terganggu, maka dari itu jembatan garam memiliki peran yang penting dalam sistem MFCs (Verma, 2002). Pada penelitian ini, jembatan garam yang digunakan memiliki bentuk “U” dengan ukuran melintang yaitu 0,5 cm x 0,5 cm.

2.12. Pengaruh Waktu Tinggal

Waktu tinggal merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi penyisihan kandungan COD dan produksi listrik dalam reaktor (Septyana *and* Samudro, 2013). Menurut Rinaldi, *et. al.* (2014), semakin lama waktu tinggal maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar dan efisiensi removal kandungan organik dalam air limbah. Pada penelitian kali ini,

tangki pengendap memiliki waktu tinggal selama 1,5 jam (Sasse, 1998) dan ruang bersekat memiliki variasi waktu tinggal yang berbeda – beda antara lain 6 jam, 8 jam, dan 10 jam. HRT di ruang bersekat memiliki interval waktu 2 jam, dan HRT paling kecil adalah 6 jam kurang dari HRT minimum yang ditetapkan menurut Sasse (1998), hal ini bertujuan agar mengetahui kemampuan dari kombinasi antara MFCs dan ABR dalam menurunkan konsentrasi kandungan organik dengan waktu tinggal dibawah kriteria minimum.

2.13. Pengaruh Pengenceran

Pengenceran sampel merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya efisiensi removal kandungan organik dalam sampel. Semakin besar konsentrasi COD influen maka semakin kecil efisiensi penyisihan COD yang terjadi (Borja, *et. al.*, 2012). Penurunan COD terbesar terjadi pada konsentrasi COD pada sampel yang paling rendah, hal ini disebabkan oleh semakin rendah konsentrasi COD influen, semakin rendah jumlah substrat yang terkandung dalam limbah cair sehingga beban organik yang harus diuraikan oleh mikroorganisme semakin kecil. Jika pembebanan hidrolis dan organik ditingkatkan maka efisiensi penyisihan COD akan menurun karena jumlah mikroorganisme pengurai aktif dalam limbah cair terbatas sehingga kemampuan mendegradasi substrat terbatas (Purwono, *et. al.*, 2015).

2.14. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit pada MFCs berada di dalam ruang katoda dan memiliki fungsi sebagai akseptor elektron (Ardhianto, *et. al.*, 2014). Jenis larutan elektrolit yang digunakan pada sistem MFCs mempengaruhi produksi listrik karena MFCs merupakan sistem bioelektrokimia yaitu sistem yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang melibatkan reaksi redoks dengan memanfaatkan mikroba sehingga dibutuhkan oksidator pada kompartemen katoda untuk menangkap elektron yang dihasilkan dari kompartemen anoda (Jia, *et. al.*, 2014). Jenis larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah Larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,1 M karena memiliki potensial reduksi standar yang besar (Hermayanti *and* Nugraha, 2014).

2.15. Pengaruh Jarak Antar Elektroda

Jarak elektroda merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan kinerja MFCs (Ibrahim, *et. al.*, 2017). Semakin jauh jarak antara anoda dan katoda maka semakin sedikit energi listrik yang dihasilkan (Ashoka *and* Bhat, 2012). Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak antara anoda dan katoda semakin memungkinkan terjadi kebocoran energi listrik dan memperbesar hambatan internal.

2.16. Produksi Energi Listrik

Listrik yang dihasilkan dari unit pengolahan pada penelitian ini diukur menggunakan *multimeter* digital (spesifikasi multimeter dilampirkan) yang memiliki fitur *voltmeter* untuk mengukur tegangan dan *amperemeter* untuk mengukur arus. Hasil tegangan dan arus diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung daya yang dihasilkan. Prosedur perhitungan daya dapat dilihat pada rumus sebagai berikut.

$$P = V \times I \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- P adalah daya (W)
- V adalah tegangan (V)
- I adalah arus (mA)

Unit kombinasi ABR dan MFCs menghasilkan total energi listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menunjang kebutuhan listrik. Prosedur perhitungan total energi listrik yang dihasilkan dapat dilihat pada rumus sebagai berikut.

$$P_{tot} = \sum_{n-1}^1 \left(\frac{P_n + P_{n+1}}{2} \right) \times T \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- P_{tot} adalah total energi yang dihasilkan dalam kurun waktu tertentu (mW.jam)
- n adalah frekuensi pengukuran
- P_n adalah pengukuran daya ke – n (mW)
- P_{n+1} adalah pengukuran daya setelah ke – n (mW)
- T adalah selang waktu antara P_n dan P_{n+1}

Perhitungan energi yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengetahui potensi dari unit pengolahan untuk diaplikasikan.

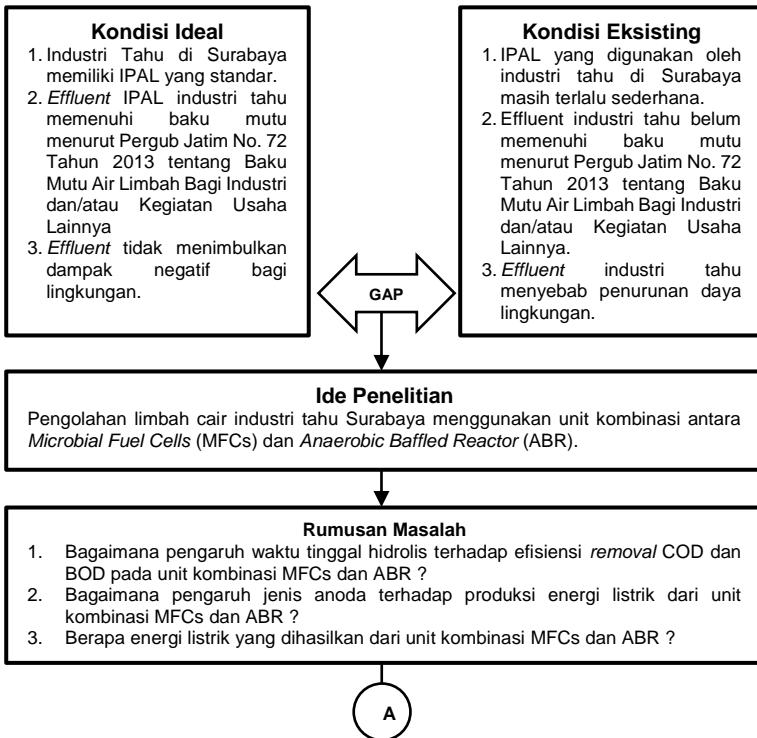
BAB 3 METODE PENELITIAN

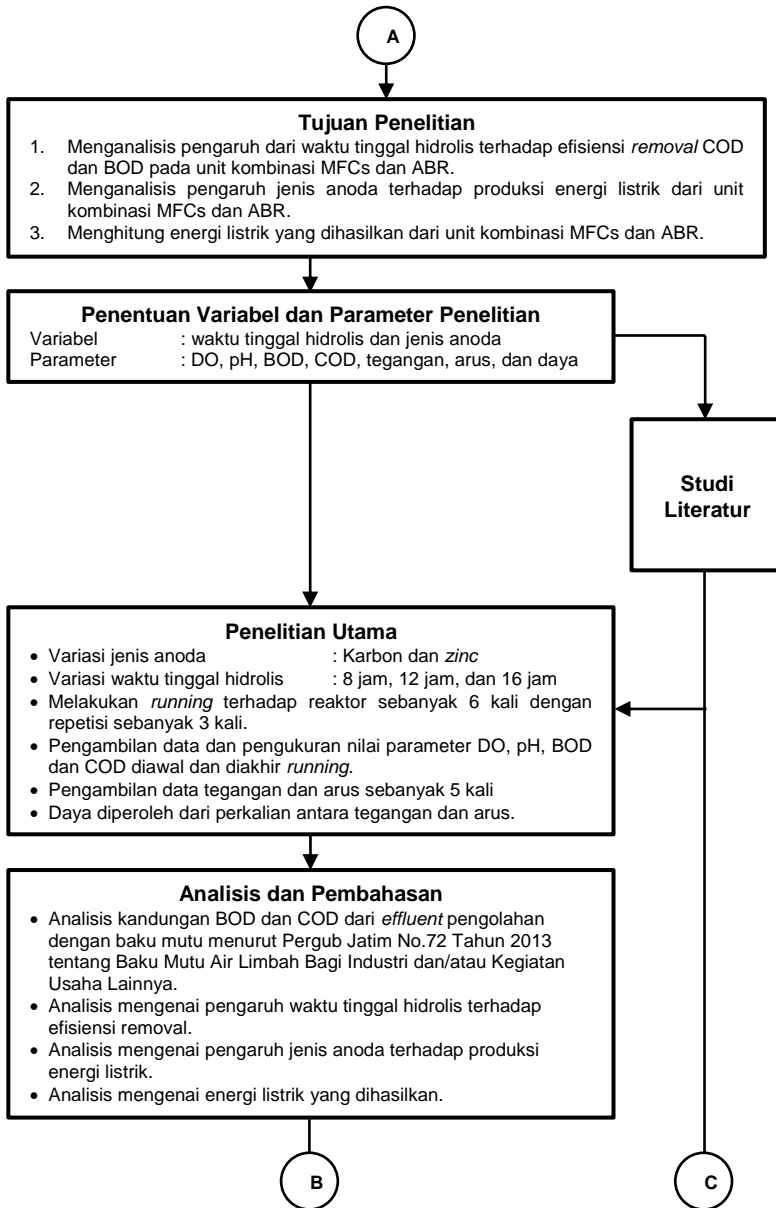
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

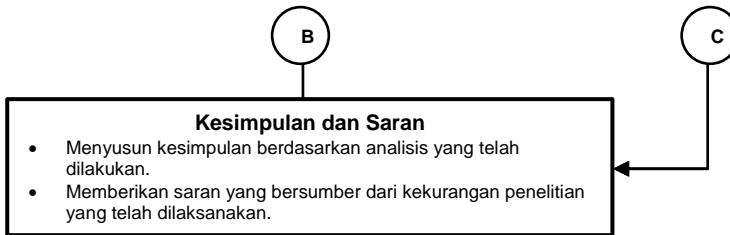
Penelitian akan dilaksanakan selama total 4 bulan yang dimulai tanggal 26 September 2019 hingga tanggal 5 Desember 2019. Tempat pelaksanaan penelitian adalah di Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Surabaya.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berperan penting dalam pelaksanaan penelitian ini. Berikut gambaran dari kerangka penelitian kali ini yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1** sebagai berikut.







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

A. Alat

- Uji Kandungan BOD
 - Botol Winkler
 - Lemari Inkubasi
 - Labu Pengenceran 500 mL
 - Pipet Volumetrik 1 mL, dan 10 mL
 - Labu Ukur 100 mL;
 - Labu Erlenmeyer 250 mL
 - Buret
 - Statif
 - Pipet Tetes
 - Propipet
- Uji Kandungan COD
 - Tabung Vial
 - Labu Erlenmeyer 100 mL
 - Pipet Ukur 10 mL
 - Propipet
 - Pipet Tetes
 - *Heating Block*
- Pembuatan Jembatan Garam
 - Injektor 100 mL

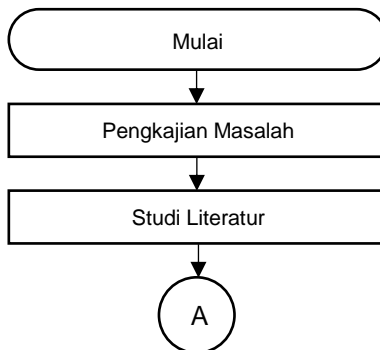
B. Bahan

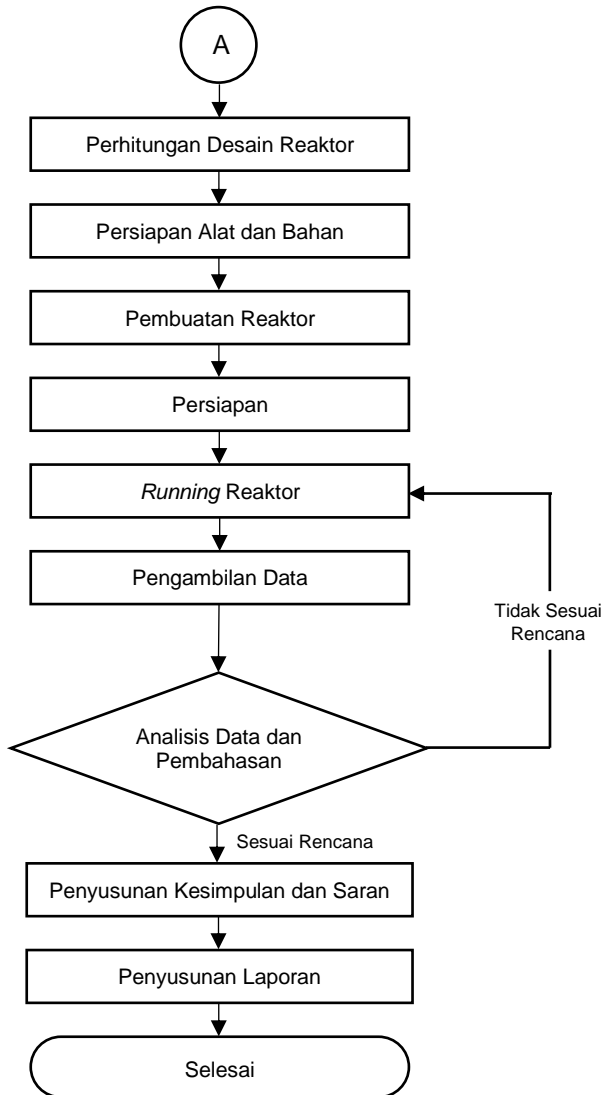
- Uji Kandungan BOD
 - Aquadest
 - Larutan Buffer Fosfat
 - Larutan Magnesium Klorida
 - Larutan Kalsium
 - Larutan Asam Sulfat
 - Larutan Natrium Hidroksida
 - Larutan Natrium Sulfat
 - Larutan Asam Asetat

- Klorida
- Larutan Feri Klorida
- Larutan Suspensi Bibit Mikroba
- Larutan Air Pengencer
- Larutan Glukosa - Asam Glutamat
- Uji Kandungan COD
 - Aquadest
 - Serbuk Kalium Dikromat
 - Serbuk Merkuri (II) Sulfat
 - Larutan Asam Sulfat 1 M
 - Serbuk Perak Sulfat
 - Larutan Asam Sulfamat
 - Larutan Kalium Hidrogen Ftalat
- Pembuatan Jembatan Garam
 - Larutan Natrium Klorida 0,1 M
 - *Nutrient Agar*
 - Aquadest

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Tahap pelaksanaan penelitian secara garis besar terdiri dari persiapan, pembuatan reaktor, *running* reaktor, pengambilan data, analisis data dan kesimpulan. Gambaran dari diagram alir pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2** sebagai berikut.





Gambar 3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Uji Reaktor

Penjelasan lebih lanjut dari setiap langkah pelaksanaan disajikan pada poin – poin sebagai berikut.

A. Pengkajian Masalah

Pada tahap ini dilakukan pengkajian masalah secara umum mengenai pencemaran limbah kemudian dilakukan pengkajian secara spesifik mengenai sumber penghasil limbah dan penyebab dari munculnya sumber tersebut. Masalah yang dikaji pada penelitian kali ini adalah banyaknya industri tahu di Surabaya yang membuang limbahnya secara langsung ke sungai tanpa ada pengolahan karena kendala biaya dan luas lahan yang dimiliki untuk pengadaan IPAL.

B. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang dapat menunjang untuk memecahkan permasalahan yang telah dikaji. Studi literatur dilakukan melalui literasi terhadap buku dan jurnal. Literatur yang digunakan pada penelitian ini merupakan literatur – literatur yang memuat tentang gambaran dari industri tahu di Surabaya dan limbah cair yang dihasilkan dari industri tahu tersebut serta unit pengolahan limbah cair industri tahu khususnya ABR dan MFCs.

C. Perhitungan Desain Reaktor

Pada penelitian ini, reaktor direncanakan memiliki dimensi yang sama, namun debitnya berbeda sesuai dengan HRTnya untuk penelitian pendahuluan. Reaktor penelitian ini terdiri dari tangki pengendap dan ruang bersekat sebagai ruang anoda. Perhitungan dilakukan dengan acuan yaitu kriteria desain ABR. Perhitungan dimulai dari dimensi ruang bersekat untuk mengetahui volume dari reaktor sehingga didapat debit dari masing – masing HRT, setelah didapat debit dari masing – masing HRT kemudian dilakukan perhitungan terhadap dimensi tangki pengendap. Berikut perhitungan dari ruang bersekat dari ABR.

- Perhitungan Ruang Bersekat :
Direncanakan :
 - Debit = 0,01875 mL/detik
 - HRT = 12 jam
 - V_{up} = 4,5 cm/jam
 - Rasio Panjang : Lebar tiap Kompartemen adalah 2 : 1
 - Jumlah ruang direncanakan sebanyak 6 buah

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume Reaktor} &= \text{Debit} \times \text{HRT} \dots\dots\dots (3) \\ &= 0,01875 \text{ mL/detik} \times 12 \text{ jam} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{liter} \times \\ &\quad 3600 \text{ detik/jam} \\ &= 810 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{surface}} &= \frac{\text{Debit}}{v_{\text{up}}} \dots\dots\dots (4) \\ &= \frac{0,01875 \text{ mL/detik} \times 1 \text{ cm}^3/\text{mL} \times 3600 \text{ detik/jam}}{4,5 \text{ cm/jam}} \\ &= 12,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= \sqrt{A_{\text{surface}} \times \text{Rasio}} \dots\dots\dots (5) \\ &= \sqrt{12,5 \text{ cm}^2 \times 2} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &= \frac{\text{Panjang}}{\text{Rasio}} \dots\dots\dots (6) \\ &= \frac{5 \text{ cm}}{2} \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada penelitian ini, lebar dari kompartemen diperpanjang menjadi 3 cm untuk ruang *downflow*. Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &= 3 \text{ cm} \\ \text{Tinggi Total} &= \frac{\text{Volume Reaktor}}{A_{\text{surface}}} \dots\dots\dots (7) \\ &= \frac{810 \text{ cm}^3}{15 \text{ m}^2} \\ &= 54 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Tiap Ruang} &= \frac{\text{Tinggi Total}}{\text{Jumlah Ruang}} \dots\dots\dots (8) \\ &= \frac{54 \text{ m}}{6} \\ &= 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sehingga didapat dimensi tiap ruang bersekat adalah 5 cm x 3 cm x 9 cm dengan jumlah sebanyak 6 buah.

Selanjutnya dilakukan perhitungan debit untuk HRT 8 jam (Q_8), dan 16 jam (Q_{16}). Berikut perhitungan untuk Q_8 dan Q_{16} .

$$\begin{aligned} Q_8 &= \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{HRT}} \dots\dots\dots (9) \\ &= \frac{810 \text{ cm}^3}{8 \text{ jam}} \\ &= 101,25 \text{ cm}^3/\text{jam} \\ &= 0,028125 \text{ mL/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{16} &= \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{HRT}} \dots\dots\dots (10) \\
&= \frac{810 \text{ cm}^3}{16 \text{ jam}} \\
&= 50,625 \text{ cm}^3/\text{jam} \\
&= 0,014063 \text{ mL/detik}
\end{aligned}$$

Sehingga didapat Q_8 sebesar 0,028125 mL/detik, Q_{12} sebesar 0,01875 mL/detik, dan Q_{16} sebesar 0,014063 mL/detik. Setelah didapat debit untuk masing – masing HRT, kemudian dihitung dimensi bak pengendap untuk masing – masing HRT. Berikut perhitungan dari bak pengendap pada reaktor penelitian ini.

- Perhitungan Bak Pengendap untuk HRT 8 Jam :
Direncanakan :
 - Q_8 = 0,028125 mL/detik
 - HRT = 1,5 jam (Sasse, 1998)
 - Lebar = 5 cm (sesuai dengan lebar ruang bersekat)
 - Tinggi = 9 cm (sesuai dengan tinggi ruang bersekat)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
\text{Volume Bak} &= Q_8 \times \text{HRT} \dots\dots\dots (11) \\
&= 0,028125 \text{ mL/detik} \times 1,5 \text{ jam} \times 1 \text{ cm}^3/\text{mL} \times \\
&\quad 3600 \text{ detik/jam} \\
&= 151,875 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang Bak} &= \frac{\text{Volume Bak}}{\text{Lebar} \times \text{Tinggi}} \dots\dots\dots (12) \\
&= \frac{151,875 \text{ cm}^3}{5 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}} \\
&= 3,375 \text{ cm} \\
&\approx 3,4 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Sehingga didapat dimensi bak pengendap untuk HRT 8 jam adalah 5 cm x 3,4 cm x 9 cm.

- Perhitungan Bak Pengendap untuk HRT 12 jam :
Direncanakan :
 - Q_{12} = 0,01875 mL/detik
 - HRT = 1,5 jam (Sasse, 1998)
 - Lebar = 5 cm (sesuai dengan lebar ruang bersekat)
 - Tinggi = 9 cm (sesuai dengan tinggi ruang bersekat)

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak} &= Q_{12} \times \text{HRT} \dots\dots\dots (13) \\ &= 0,01875 \text{ mL/detik} \times 1,5 \text{ jam} \times 1 \text{ cm}^3/\text{mL} \times \\ &\quad 3600 \text{ detik/jam} \end{aligned}$$

$$= 101,25 \text{ cm}^3$$

$$\text{Panjang Bak} = \frac{\text{Volume Bak}}{\text{Lebar} \times \text{Tinggi}} \dots\dots\dots (14)$$

$$= \frac{101,25 \text{ cm}^3}{5 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}}$$

$$= 2,25 \text{ cm}$$

Sehingga didapat dimensi bak pengendap untuk HRT 12 jam adalah 5 cm x 2,25 cm x 9 cm.

- Perhitungan Bak Pengendap untuk HRT 16 jam :

Direncanakan :

- Q_{16} = 0,014063 mL/detik
- HRT = 1,5 jam (Sasse, 1998)
- Lebar = 5 cm (sesuai dengan lebar ruang bersekat)
- Tinggi = 9 cm (sesuai dengan tinggi ruang bersekat)

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak} &= Q_{16} \times \text{HRT} \dots\dots\dots (15) \\ &= 0,014063 \text{ mL/detik} \times 1,5 \text{ jam} \times 1 \text{ cm}^3/\text{mL} \times \\ &\quad 3600 \text{ detik/jam} \end{aligned}$$

$$= 75,9375 \text{ cm}^3$$

$$\text{Panjang Bak} = \frac{\text{Volume Bak}}{\text{Lebar} \times \text{Tinggi}} \dots\dots\dots (16)$$

$$= \frac{75,9375 \text{ cm}^3}{5 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}}$$

$$= 1,6875 \text{ cm}$$

$$\approx 1,7 \text{ cm}$$

Sehingga didapat dimensi bak pengendap untuk HRT 16 jam adalah 5 cm x 1,7 cm x 9 cm.

Ruang katoda direncanakan memiliki panjang dan lebar yang sama serta tinggi sesuai dengan tinggi ruang bersekat. Jumlah ruang katoda direncanakan sama dengan jumlah kompartemen ruang bersekat. Berikut ukuran dari ruang katoda.

Panjang = 3 cm (sama dengan lebar ruang bersekat)

Lebar = 3 cm (sama dengan panjang)

Tinggi = 9 cm (sama dengan tinggi ruang bersekat)

Sehingga didapat dimensi ruang katoda adalah 3 cm x 3 cm x 9 cm dengan jumlah sebanyak 6 buah.

Anoda yang digunakan pada penelitian ini antara lain karbon dan *zinc*. Panjang dan lebar dari anoda untuk penelitian ini adalah setengah kali dari tinggi dan lebar kompartemen sehingga didapat dimensi anoda *zinc* yang digunakan adalah 1,5 cm x 4,5 cm x 0,2 cm sedangkan anoda karbon adalah 1,5 cm x 4,5 cm x 0,5 cm dan dipasang pada tepi kompartemen.

Katoda yang digunakan pada penelitian ini adalah tembaga dengan dimensi sama dengan anoda sehingga didapat dimensi katoda yaitu 1,5 cm x 4,5 cm x 0,2 cm.

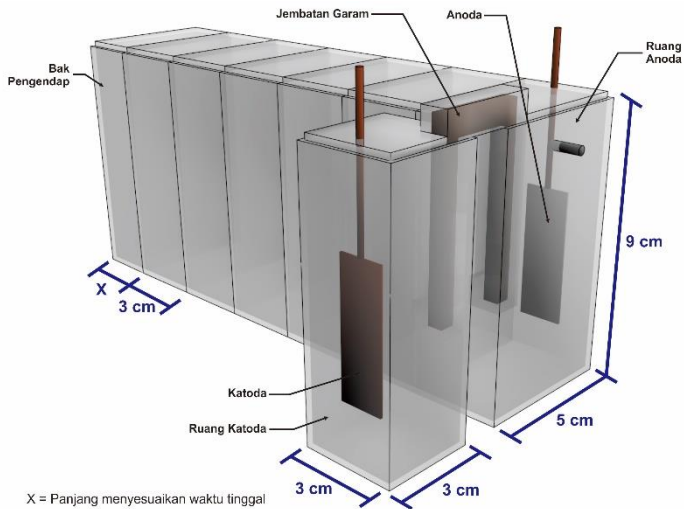
Jembatan yang digunakan pada penelitian ini memiliki bentuk "U" dengan ukuran melintang 0,5 cm x 0,5 cm dengan massa agar sebesar 10 gram yang dilarutkan dalam larutan garam NaCl 0,1 M sebanyak 200 mL.

D. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan terhadap alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian utama. Alat dan bahan disiapkan sesuai dengan daftar alat dan bahan yang dimuat pada poin sebelumnya di bab ini.

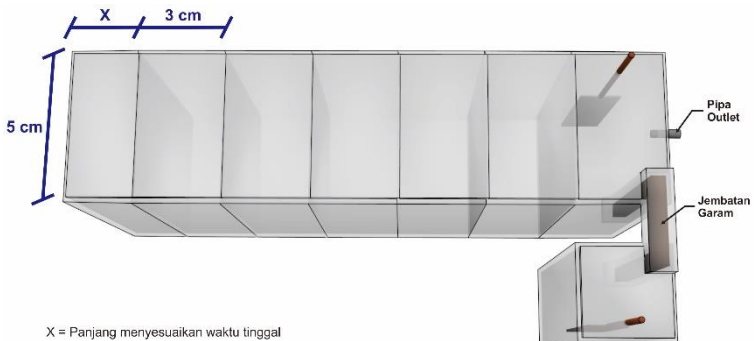
E. Pembuatan Reaktor

Reaktor pada penelitian ini menggunakan dinding berbahan akrilik. Akrilik pada awalnya berbentuk sebuah papan berukuran 1 m x 1 m kemudian dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian disusun sehingga membentuk kotak yang memiliki dimensi berbeda – beda sesuai dengan peruntukannya. Setelah dipotong, kemudian potongan – potongan tersebut dirangkai sehingga membentuk ruang – ruang sesuai dengan perencanaan. Dalam perangkaiannya, ruang – ruang yang telah dibentuk kemudian dirangkai satu sama lain sehingga menjadi kompartemen – kompartemen yang menjadi satu unit. Bagian dalam dari kompartemen – kompartemen tersebut diberi lubang sehingga limbah cair dapat mengalir dari kompartemen satu menuju kompartemen lainnya sehingga proses pengolahan limbah cair oleh mikroorganisme dapat terjadi. Gambaran, tampak atas, tampak samping, dan tampak depan dari reaktor yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar – gambar sebagai berikut.



Gambar 3.3 Ilustrasi Reaktor Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.3**, dapat dilihat bahwa reaktor terdiri 1 buah tangki pengendap yang terletak pada bagian awal reaktor, 6 buah kompartemen anoda yang berisi 1 buah anoda di ujung akhir, dan 1 buah kompartemen katoda yang berisi 1 buah katoda. Kompartemen anoda dan katoda dihubungkan dengan jembatan berbentuk “U”.



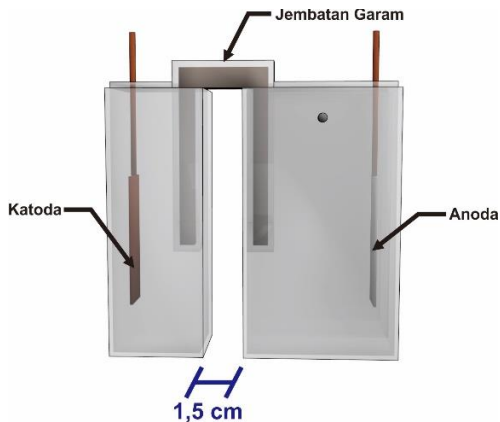
Gambar 3.4 Tampak Atas Reaktor Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.4**, dapat dilihat bahwa anoda terletak pada sisi samping kiri ruang anoda terakhir sedangkan katoda terletak pada sisi samping kanan ruang katoda. Kedua elektroda ini memiliki tangkai yang beberapa bagian berada di luar reaktor sehingga dapat digunakan sebagai media pengambilan data sehingga dapat digunakan sebagai media pengambilan data tegangan, arus, dan daya menggunakan *Multimeter*.



Gambar 3.5 Tampak Samping Reaktor Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.5**, dapat dilihat bahwa masing – masing kompartemen memiliki ukuran yang sama yaitu panjang sebesar 3 cm, lebar sebesar 5 cm, dan tinggi sebesar 9 cm.

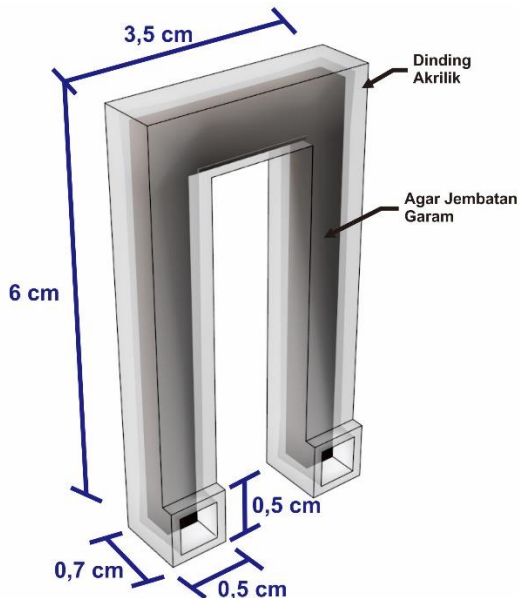


Gambar 3.6 Tampak Depan Reaktor

Berdasarkan **Gambar 3.6**, dapat dilihat bahwa kompartemen anoda dan kompartemen katoda memiliki jarak sebesar 1,5 cm yang dipisahkan oleh jembatan garam.

Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan jembatan garam sebagai penghubung antara ruang anoda dan ruang katoda. Prosedur pembuatan jembatan garam yaitu melarutkan sebanyak 10 g *Nutrient Agar* (NA) ke dalam 200 mL larutan NaCl 0,1 M lalu dididihkan selama 10 menit. Setelah homogen, larutan dituang ke dalam akrilik berbentuk “U” dengan ukuran melintang 0,5 cm x 0,5 cm kemudian didiamkan hingga mengeras (Hermayanti *and* Nugraha, 2014).

Kompartemen anoda dan katoda dihubungkan dengan jembatan garam yang memiliki fungsi sebagai media transfer ion hidrogen (H^+) dari kompartemen anoda menuju kompartemen katoda. Gambaran dari jembatan garam yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.7** sebagai berikut.



Gambar 3.7 Jembatan Garam

F. Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan yang terdiri dari tahap pengambilan sampel, pengenceran sampel, dan aklimatisasi. Pada tahap pengambilan sampel, teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *quota sampling* yaitu mengambil sampel dengan jumlah tertentu. Pengambilan sampel dilakukan pada titik *outlet* saluran pembuangan limbah cair industri tahu. Berikut gambaran dari *outlet* saluran pembuangan limbah cair tahu.



Gambar 3.8 Titik *Outlet* Saluran Pembuangan Limbah Cair Tahu

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan timba berulang kali kemudian ditampung dalam jirigen berukuran 30 Liter. Gambaran dari proses pengambilan sampel dapat dilihat pada **Gambar 3.9** sebagai berikut.



Gambar 3.9 Proses Pengambilan Sampel Menggunakan Timba

Tahap aklimatisasi dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme pada reaktor dengan cara menambahkan substrat

dengan konsentrasi yang ditingkatkan secara bertahap setiap hari hingga konsentrasi mikroorganisme memenuhi perbandingan *food to mass ratio*. Konsentrasi substrat yang ditambahkan memiliki nilai interval COD sebesar 500 mg/L dengan nilai COD awal sebesar 500 mg/L hingga mencapai batas konsentrasi yang bisa diterima. Menurut Sasse (1998), ABR memiliki batas beban COD yaitu sebesar 0,84 kg/m³.hari, sehingga konsentrasi COD tertinggi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 1276,8 mg/L. Setiap hari dilakukan analisis kandungan COD untuk mengetahui efisiensi removal COD. Reaktor siap dijalankan ketika efisiensi removal dalam keadaan konstan. Sebelum menjalankan penelitian utama, sampel diencerkan hingga konsentrasi CODnya mencapai kurang lebih 1000 mg/L kemudian dimasukkan ke dalam wadah berukuran 2 Liter. Sampel dialirkan ke dalam reaktor secara gravitasi dengan debit yang diatur sesuai debit masing – masing reaktor.

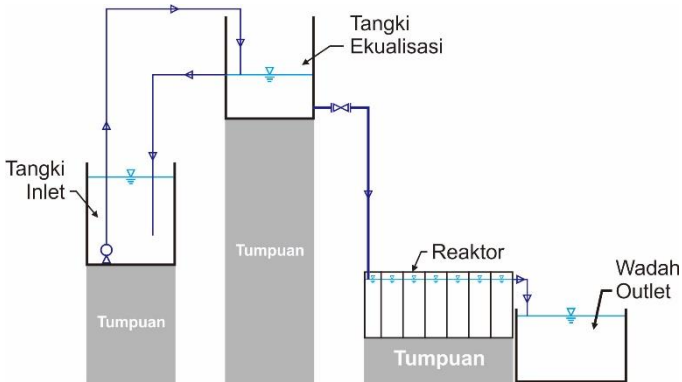
Batasan dari proses aklimatisasi pada penelitian ini adalah persentase removal COD mengalami fase stasioner dan kondisi reaktor menjadi anaerobik. Persentase removal COD yang memasuki angka stasioner selama beberapa beberapa hari menunjukkan kesiapan reaktor untuk dilakukan *running* karena fase stasioner menunjukkan bahwa kondisi bakteri sudah siap untuk mengolah limbah sesuai dengan target konsentrasi.

Kondisi anaerobik pada reaktor ditandai dengan kemunculan gas metan (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂). Pada penelitian ini, pengujian kondisi anaerobik hanya fokus pada kandungan gas karbon dioksida. Keberadaan gas karbon dioksida diuji dengan menggunakan api, jika api tersebut padam maka di ruang tersebut terdapat gas karbon dioksida. Pengujian keberadaan gas karbon dioksida dilakukan pada setiap ruang pada reaktor.

G. Running Reaktor

Pada tahap ini dilakukan *running* terhadap reaktor sehingga dapat dilakukan pengambilan data. Proses *running* dilakukan dengan cara mengalirkan limbah dari tangki inlet ke dalam tangki ekualisasi menggunakan pompa kemudian dari tangki ekualisasi limbah mengalir ke dalam reaktor secara gravitasi, setelah mencapai waktu tinggal yang telah ditentukan air limbah akan mengalir keluar dan ditampung dalam wadah outlet. Gambaran

dari arah aliran dalam reaktor (*reactor flow direction*) ketika proses *running* dapat dilihat pada **Gambar 3.10** sebagai berikut.



Gambar 3.10 *Reactor Flow Direction*

Jumlah *running* yang dilakukan sesuai dengan perpaduan antara variabel yang telah ditentukan yaitu waktu tinggal hidrolis dan jenis anoda. Variabel waktu tinggal hidrolis terdiri dari waktu tinggal selama 8 jam, waktu tinggal selama 12 jam, dan waktu tinggal selama 16 jam. Variabel jenis anoda terdiri dari dua variasi yaitu *zinc* dan karbon. Jumlah varian waktu tinggal hidrolis dan jenis anoda menentukan jumlah kebutuhan reaktor pada penelitian ini. Berikut tabel matriks variabel penelitian untuk memperjelas kebutuhan *running* pada penelitian ini.

Tabel 3.1 Matriks Variabel Penelitian

Variabel	Anoda Karbon	Anoda Zinc	Reaktor Kontrol
Waktu Tinggal Hidrolis 8 jam	Kode Reaktor : 8K	Kode Reaktor : 8Z	Kode Reaktor : 8Kon
Waktu Tinggal Hidrolis 12 jam	Kode Reaktor : 12K	Kode Reaktor : 12Z	Kode Reaktor : 12Kon
Waktu Tinggal Hidrolis 16 jam	Kode Reaktor : 16K	Kode Reaktor : 16Z	Kode Reaktor : 16Kon

Berdasarkan **Tabel 3.1**, jumlah reaktor yang dibutuhkan adalah sebanyak 9 buah terdiri dari 6 reaktor untuk *running* variabel dan 3 reaktor untuk reaktor kontrol. Repetisi dilakukan pada masing – masing *running* sebanyak 3 kali agar memperoleh data efisiensi removal COD dan BOD yang representatif.

H. Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data supaya dapat dilakukan analisis data pada tahap selanjutnya. Data yang diambil meliputi kandungan BOD, kandungan COD, tegangan, arus, dan daya.

Pengambilan data kandungan BOD dan COD dilakukan diawal dan diakhir *running* dengan cara mengambil 100 mL sampel melalui bak *outlet* yang berada di bagian *outlet* reaktor. Setelah diambil, dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui nilai dari kandungan BOD dan COD. Prosedur pengujian BOD mengacu pada *Standard Method* 5210 dan prosedur pengujian COD mengacu pada *Standard Method* 5220.

Pengambilan data tegangan dan arus dilakukan dengan menggunakan AVO Meter sebanyak 4 kali dan masing – masing varian waktu tinggal memiliki titik pengambilan waktu yang berbeda. Titik pengambilan masing – masing varian waktu tinggal dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3.2 Waktu Pengukuran Masing – Masing Waktu Tinggal

Waktu Tinggal	Pengukuran ke – 1	Pengukuran ke – 2	Pengukuran ke – 3	Pengukuran ke – 4
8 Jam	Jam ke – 2	Jam ke – 4	Jam ke – 6	Jam ke – 8
12 Jam	Jam ke – 3	Jam ke – 6	Jam ke – 9	Jam ke – 12
16 Jam	Jam ke – 4	Jam ke – 8	Jam ke – 12	Jam ke – 16

Untuk data daya didapat dari hasil perkalian antara data tegangan dan data arus yang telah diperoleh sesuai dengan **Rumus 1**.

I. Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil aklimatisasi dan hasil *running*. Hasil aklimatisasi yang telah diperoleh berupa kurva *removal* COD setiap hari kemudian dilakukan analisis. Sedangkan hasil *running*, beberapa data yang didapat, antara lain data efisiensi *removal* COD dan BOD, tegangan, arus, dan daya. Analisis yang dilakukan, antara lain mengenai pengaruh dari waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi *removal* COD dan BOD, pengaruh dari jenis anoda terhadap produksi energi listrik, dan energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, untuk mengetahui potensi

MFCs dilakukan komparasi efisiensi *removal* COD antara unit kombinasi MFCs dan ABR dengan unit kontrol ABR. Untuk mengetahui kelayakan kemampuan reaktor dilakukan komparasi antara hasil *outlet* COD dan BOD yang didapat dengan baku mutu menurut Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Setelah dilakukan analisis kemudian dilakukan pembahasan untuk menjelaskan lebih detail mengenai hasil dari analisis yang telah dilakukan.

J. Penyusunan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dan penyusunan saran berdasarkan kekurangan dari penelitian yang telah dilakukan sebagai upaya evaluasi supaya penelitian selanjutnya berjalan lebih baik.

K. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan laporan penelitian berdasarkan hasil yang telah didapat. Tahap ini merupakan tahap terakhir dari penelitian yang dilakukan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 26 September 2019 hingga 5 Desember 2019. Penelitian ini dilaksanakan pada beberapa tempat antara lain *Workshop*, Laboratorium Pemulihan Air, dan Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

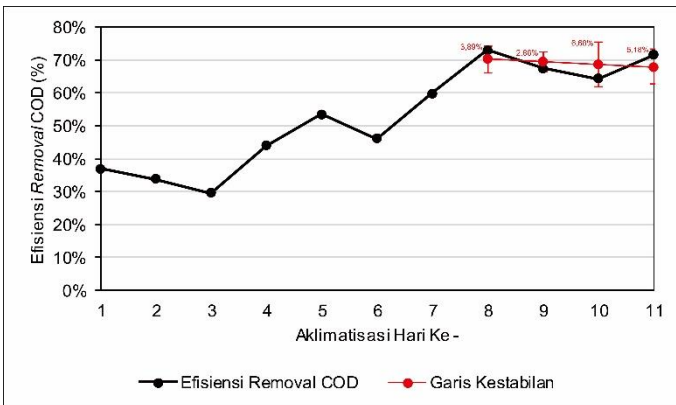
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 reaktor yang memiliki dimensi berbeda – beda menyesuaikan dengan debit dan waktu tinggal masing – masing. Reaktor dioperasikan menggunakan pompa untuk mengalirkan limbah cair dari tangki inlet menuju tangki ekualisasi kemudian dialirkan secara gravitasi dari tangki inlet menuju reaktor. Limbah cair yang keluar ditampung didalam tangki outlet. Sampel diambil ketika sebelum *running* dan setelah *running* kemudian dilakukan uji terhadap parameter – parameter, antara lain kandungan COD, kandungan BOD, pH, dan DO. Parameter lain yang diuji, antara lain tegangan, arus, dan daya. Parameter tegangan dan arus diuji menggunakan *multimeter* digital pada masing – masing waktu pengambilan data yang telah ditentukan. Parameter daya didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan **Rumus 1**.

Tahap penelitian terdiri dari tahap aklimatisasi untuk proses adaptasi mikroorganisme dalam reaktor supaya mampu mengolah limbah dengan konsetnrasi yang ditentukan dan tahap *running* reaktor untuk memperoleh data yang kemudian diolah.

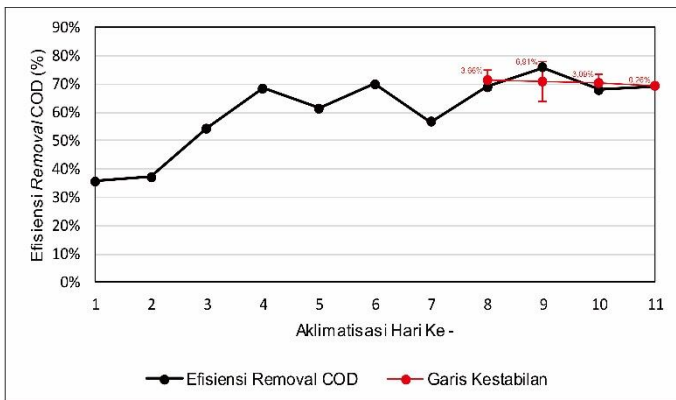
4.1. Proses Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan suatu proses penyesuaian diri bagi mikroorganisme dengan menambahkan limbah mengandung senyawa organik yang ditingkatkan secara bertahap dengan tujuan agar mikroorganisme dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan ketika proses *running* pada kompartemen anoda berlangsung sehingga mikroorganisme dapat mencerna senyawa organik secara optimal (Muliawati, 2015). Aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan selama 11 hari. Dimulai dari konsentrasi kurang lebih 500 mg/L kemudian setiap harinya ditingkatkan hingga mencapai konsentrasi kurang lebih 1000 mg/L. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara mengalirkan limbah dengan

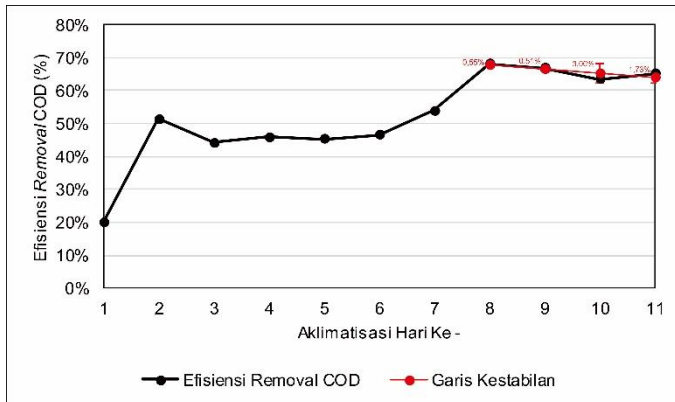
konsentrasi yang telah ditentukan ke dalam reaktor secara gravitasi dan dilakukan pengambilan sampel di awal proses dan di akhir proses untuk diuji kandungan CODnya. Batasan dari proses aklimatisasi adalah kestabilan dari efisiensi penurunan kadar COD pada limbah. Menurut Herald (2010), titik akhir dari proses aklimatisasi adalah ketika efisiensi penurunan kadar COD mencapai angka stabil dengan tingkat fluktuasi kurang lebih 10%. Hasil dari proses aklimatisasi dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, **Gambar 4.2**, dan **Gambar 4.3** sebagai berikut.



Gambar 4.1 Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tinggal 8 Jam



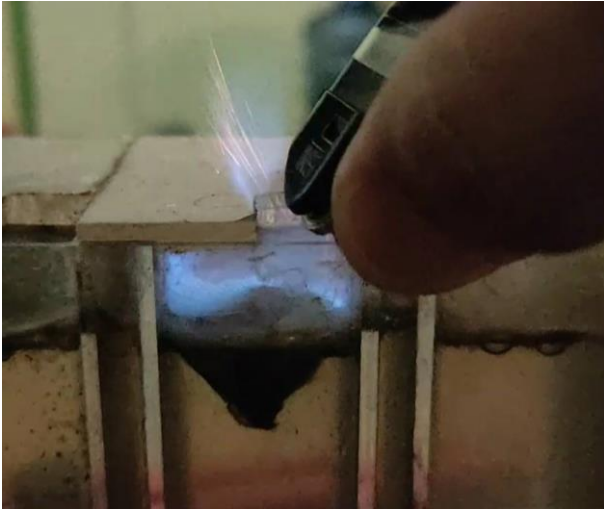
Gambar 4.2 Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tinggal 12 Jam



Gambar 4.3 Hasil Proses Aklimatisasi Waktu Tenggat 16 Jam

Berdasarkan **Gambar 4.1**, **Gambar 4.2**, dan **Gambar 4.3**, titik stabil efisiensi penurunan kadar COD pada air limbah terjadi pada 4 hari terakhir dengan tingkat fluktuasi kurang lebih 10%. Aklimatisasi diawali dengan konsentrasi COD sebesar 518,4 mg/L kemudian ditingkatkan secara bertahap setiap harinya hingga pada 4 hari terakhir nilai konsentrasi COD limbah cair tahu mencapai rata – rata sebesar kurang lebih 1000 mg/L. Detail dari hasil aklimatisasi dapat dilihat pada **Lampiran B**.

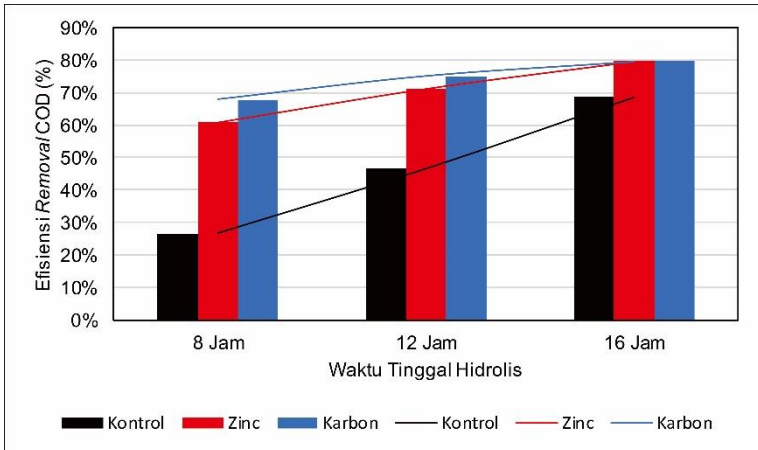
Reaktor ABR bekerja dalam kondisi anaerobik, sehingga prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme anaerobik untuk mendegradasi senyawa organik dalam air limbah. Reaktor ABR mencapai kondisi anaerobik ketika proses degradasi senyawa organik menghasilkan gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) (Tchobanoglous, *et. al.*, 2003). Gas metana (CH_4) dihasilkan melalui proses metanogenesis oleh bakteri metanogenesis, sedangkan gas karbon dioksida (CO_2) dihasilkan melalui proses fermentasi dan asidogenesis (Myrasandri *and* Syafila, 2012). Parameter yang dipilih untuk memastikan kondisi anaerobik reaktor adalah keberadaan gas karbon dioksida. Keberadaan gas karbon dioksida dalam reaktor diuji dengan menyulutkan api, jika api tersebut padam maka di dalam reaktor tersebut terdapat gas karbon dioksida sehingga kondisi reaktor tersebut sudah anaerobik. Pengecekan gas karbon dioksida pada reaktor dapat dilihat pada **Gambar 4.4** sebagai berikut.



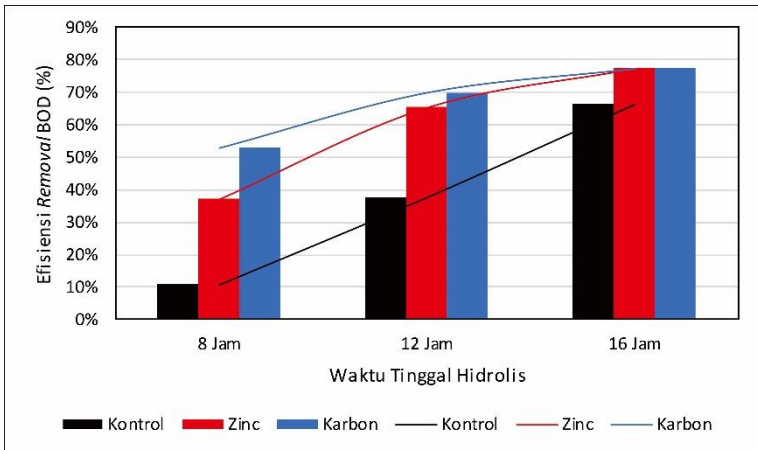
Gambar 4.4 Pengecekan Gas Karbon Dioksida dengan Api

4.2. Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Efisiensi Removal

Waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu unit pengolahan untuk mengolah air limbah sehingga mendegradasi kandungan organik sebelum air limbah tersebut dibuang ke lingkungan (Susilo, *et. al.*, 2015). Waktu tinggal merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi penyisihan kandungan COD, BOD, dan produksi energi listrik dalam reaktor (Septyana *and* Samudro, 2013). Menurut Rinaldi, *et. al.* (2014), semakin lama waktu tinggal maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar dan efisiensi removal kandungan organik semakin tinggi karena semakin lama waktu tinggal maka semakin lama kontak antara limbah dengan mikroorganisme yang ada di dalam unit pengolahan sehingga mikroorganisme tersebut semakin maksimal dalam mendegradasi senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Pada penelitian ini, waktu tinggal dari setiap reaktor memiliki variasi yang berbeda – beda, antara lain waktu tinggal selama 8 jam, waktu tinggal selama 12 jam, dan waktu tinggal selama 16 jam. Efisiensi *removal* terhadap COD dan BOD pada masing – masing varian waktu tinggal dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** sebagai berikut.



Gambar 4.5 Efisiensi *Removal* COD



Gambar 4.6 Efisiensi *Removal* BOD

Berdasarkan **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6**, efisiensi *removal* meningkat secara simultan hal ini dikarenakan semakin lama waktu tinggal air limbah dalam reaktor, maka semakin lama pula kontak antara mikroorganisme dengan air limbah sehingga pengolahan dapat berlangsung secara maksimal (Susilo, *et. al.*, 2015). Selain itu, dapat dilihat bahwa persentase *removal* COD

dan BOD unit kombinasi MFCs dan ABR lebih tinggi dari pada unit tunggal ABR. Hal ini dikarenakan unit MFCs menggunakan anoda sebagai media pengolah, sedangkan anoda itu sendiri juga merupakan media tumbuh untuk mikroorganisme penghasil energi listrik dalam reaktor sehingga mikroorganisme tersebut juga ikut berperan dengan mikroorganisme lain dalam ABR untuk mendegradasi senyawa organik dalam air limbah. Bakteri pada kompartemen anoda akan mencerna senyawa organik dan menghasilkan elektron yang kemudian ditransfer pada elektroda (Prayogo, *et. al.*, 2017).

Persentase penurunan kadar COD pada reaktor dengan menggunakan elektroda karbon lebih tinggi dibandingkan dengan *zinc*, hal ini terjadi karena karbon memiliki pori – pori yang menyebabkan daya adsorpsinya kuat sehingga mikroorganisme dalam reaktor dalam tumbuh melekat pada karbon tersebut dan membantu dalam mendegradasi kandungan COD pada air limbah. Karbon memiliki sifat *biocompatible* sehingga cocok digunakan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme secara melekat (Wei, *et. al.*, 2011).

Persentase *removal* COD dan BOD tertinggi didapat pada varian anoda karbon dengan waktu tinggal 16 jam dengan nilai berturut – turut sebesar 79,55% dan 77,46%, sedangkan persentase *removal* COD dan BOD terendah didapat pada varian kontrol dengan waktu tinggal 8 jam dengan nilai berturut – turut sebesar 26,57% dan 10,69%. Detail dari efisiensi *removal* COD dan BOD dapat dilihat pada **Lampiran B**.

Pada penelitian ini, jenis pengolahan yang digunakan adalah pengolahan biologis sehingga limbah harus bersifat *biodegradable*. Limbah *biodegradable* memiliki rasio BOD/COD antara 0,2 – 0,5 (Samudro *and* Mangkoedihardjo, 2010), limbah cair tahu yang diolah memiliki nilai rasio BOD/COD sebesar 0,39 sehingga limbah cair tahu pada penelitian ini dapat diolah menggunakan pengolahan biologis.

Jenis variasi yang layak untuk diaplikasikan yaitu yang menghasilkan nilai COD outlet dan BOD outlet yang memenuhi baku mutu menurut Pergub Jatim No. 72 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Berdasarkan hasil *running*, varian – varian yang menghasilkan COD outlet memenuhi baku mutu, antara lain kontrol dengan

waktu tinggal 16 jam, anoda *zinc* dengan waktu tinggal 12 jam dan 16 jam, serta anoda karbon dengan waktu tinggal 12 jam dan 16 jam, sedangkan sisanya menghasilkan outlet yang tidak memenuhi baku mutu. Perbandingan antara nilai COD *outlet* dengan baku mutu dapat dilihat **Tabel 4.1** sebagai berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan COD Outlet dengan Baku Mutu

Varian	COD Inlet (mg/L)	COD Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Keterangan
Kontrol HRT 8 Jam	915,2	672	300	Tidak Memenuhi
Kontrol HRT 12 Jam	915,2	489,6	300	Tidak Memenuhi
Kontrol HRT 16 Jam	915,2	288	300	Memenuhi
<i>Zinc</i> HRT 8 Jam	984	384	300	Tidak Memenuhi
<i>Zinc</i> HRT 12 Jam	984	283,2	300	Memenuhi
<i>Zinc</i> HRT 16 Jam	984	201,6	300	Memenuhi
Karbon HRT 8 Jam	1196,8	384	300	Tidak Memenuhi
Karbon HRT 12 Jam	1196,8	297,6	300	Memenuhi
Karbon HRT 16 Jam	1196,8	244,8	300	Memenuhi

Pada parameter BOD, varian – varian yang menghasilkan outlet memenuhi baku mutu, antara lain kontrol dengan waktu tinggal 16 jam, anoda *zinc* dengan waktu tinggal 12 jam dan 16 jam, serta anoda karbon dengan waktu tinggal 12 jam dan 16 jam, sedangkan sisanya menghasilkan outlet yang tidak memenuhi baku mutu. Perbandingan antara nilai COD *outlet* dengan baku mutu dapat dilihat **Tabel 4.2** sebagai berikut.

Tabel 4.2 Perbandingan BOD Outlet dengan Baku Mutu

Varian	BOD Inlet (mg/L)	BOD Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Keterangan
Kontrol HRT 8 Jam	341,4	304,2	150	Tidak Memenuhi
Kontrol HRT 12 Jam	341,4	212,7	150	Tidak Memenuhi
Kontrol HRT 16 Jam	341,4	114,6	150	Memenuhi
<i>Zinc</i> HRT 8 Jam	355,3	223,4	150	Tidak Memenuhi

Varian	BOD Inlet (mg/L)	BOD Outlet (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Keterangan
Zinc HRT 12 Jam	355,3	123	150	Memenuhi
Zinc HRT 16 Jam	355,3	80,2	150	Memenuhi
Karbon HRT 8 Jam	432,1	203,1	150	Tidak Memenuhi
Karbon HRT 12 Jam	432,1	129,3	150	Memenuhi
Karbon HRT 16 Jam	432,1	97,4	150	Memenuhi

4.3. Pengaruh Jenis Anoda terhadap Produksi Energi Listrik

Mircobial Fuel Cells (MFCs) merupakan sebuah unit pengolahan yang dapat menghasilkan listrik dengan prinsip konversi air limbah oleh mikroorganismen menjadi energi listrik (Logan, 2009). Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik adalah jenis anoda.

Bahan elektroda yang digunakan sebagai anoda untuk MFCs harus bersifat konduktif yaitu mudah menghantarkan listrik dan biokompatibel yaitu sesuai dengan mikroba atau tidak akan mematikan mikroba karena sifatnya (Hermayanti *and* Nugraha, 2014). Pada penelitian ini, jenis anoda yang digunakan adalah *zinc* dan karbon, sedangkan untuk katoda yang digunakan adalah tembaga.

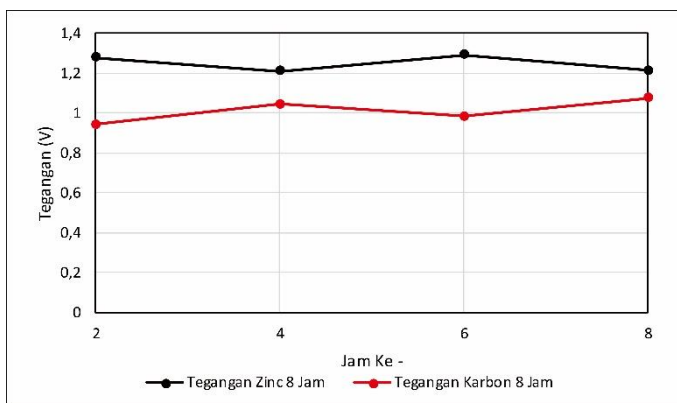
Zinc merupakan anoda yang baik dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia dan biokimia dan karena itu mikroba dalam MFCs dapat menghasilkan energi yang tinggi (Cek, 2017). *Zinc* memiliki kekuatan adsorpsi yang baik sehingga dapat membuat mikroba menempel pada permukaannya dalam jumlah besar (Radi *and* Al-Fetlawi, 2017).

Karbon merupakan material yang cocok digunakan sebagai anoda karena memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi, area permukaan spesifik, biokompatibilitas, stabilitas kimia dan harga yang murah (Wei, *et. al.*, 2011).

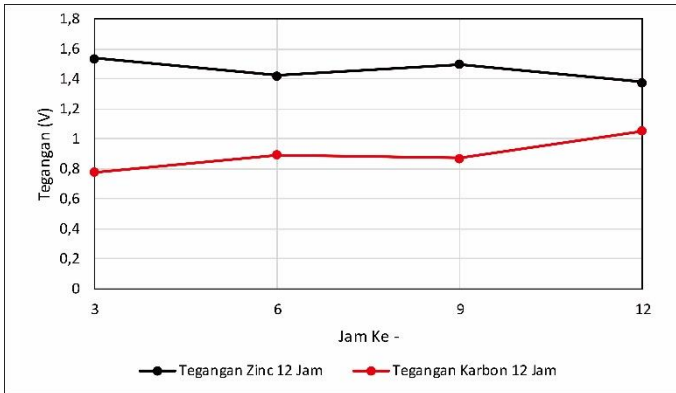
Tembaga sangat tidak cocok digunakan sebagai anoda karena memiliki sifat logam berat yang dapat mengganggu aktivitas dari mikroba yang ada pada anoda, maka dari itu tembaga lebih cocok digunakan sebagai katoda (Ashoka *and* Bhat, 2012).

Penggunaan tembaga sebagai elektroda memberikan energi listrik yang lebih besar jika dibandingkan dengan logam lainnya karena tembaga memiliki konduktivitas yang tinggi dan resistansi elektrik yang lemah (Radi *and* Al-Fetlawi, 2017).

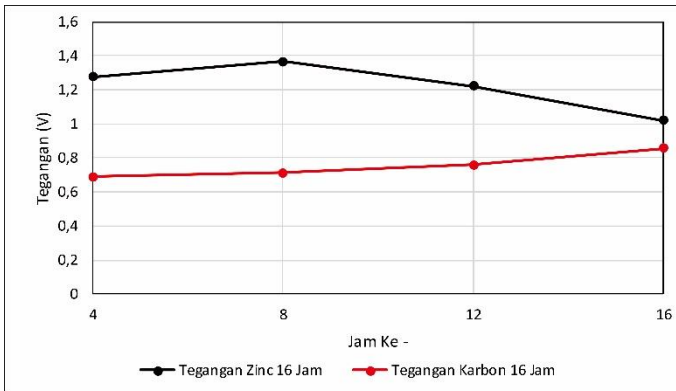
Pada penelitian ini, anoda dan katoda diletakkan pada salah satu kompartemen yang terletak pada bagian ujung akhir reaktor karena menurut Rambe (2016), limbah cair yang dialirkan ke dalam ABR akan mengalami beberapa proses biologis, antara lain proses hidrolisis yang terjadi pada bak pengendap, proses glikolisis, fermentasi dan respirasi terjadi pada kompartemen – kompartemen setelah bak pengendap. Pada kompartemen terakhir, senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu telah dirombak menjadi bentuk paling sederhana sehingga memaksimalkan proses pencernaan kandungan organik oleh mikroorganisme agar efisiensi dalam MFCs dalam memproduksi energi listrik dapat meningkat (Velasquez – Orta, *et. al.*, 2009). Parameter energi listrik yang diuji antara lain tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter digital. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pada masing – masing *running* reaktor. Hasil pengukuran tegangan dan arus kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dibandingkan berdasarkan waktu tinggal hidrolis. Hasil dari pengukuran tegangan pada waktu tinggal 8 jam, waktu tinggal 12 jam, dan waktu tinggal 16 jam dapat dilihat pada gambar – gambar sebagai berikut.



Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Tegangan Waktu Tinggal 8 Jam



Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Tegangan Waktu Tinggal 12 Jam

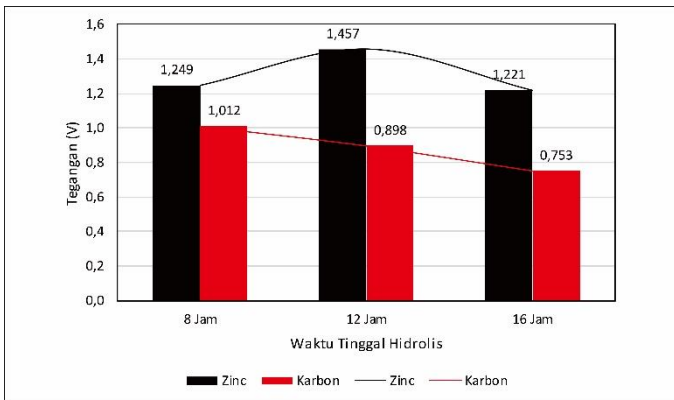


Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Tegangan Waktu Tinggal 16 Jam

Berdasarkan **Gambar 4.7**, **Gambar 4.8**, dan **Gambar 4.9**, dapat dilihat bahwa reaktor menggunakan anoda *zinc* maupun karbon menghasilkan tegangan yang cenderung stabil. Hal ini dikarenakan aklimatisasi yang telah dilakukan membentuk biofilm yang stabil. Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga produksi listrik hasil metabolisme mikroorganisme yang terbentuk sedikit kecil pada awal *running* namun dengan berjalannya waktu karena kestabilan mikroorganisme yang mendegradasi senyawa organik dalam air limbah (Irpan, 2018). Pada penelitian ini, aklimatisasi dilakukan

selama 11 hari, dimana durasinya telah mencukupi untuk membuat mikroorganismenya tumbuh sehingga siap untuk mendegradasi limbah cair kemudian mengolahnya menjadi energi listrik yang salah satu parameternya adalah tegangan.

Perbandingan dari rata – rata tegangan untuk jenis anoda *zinc* dan karbon pada masing – masing HRT dapat dilihat pada **Gambar 4.7** sebagai berikut.

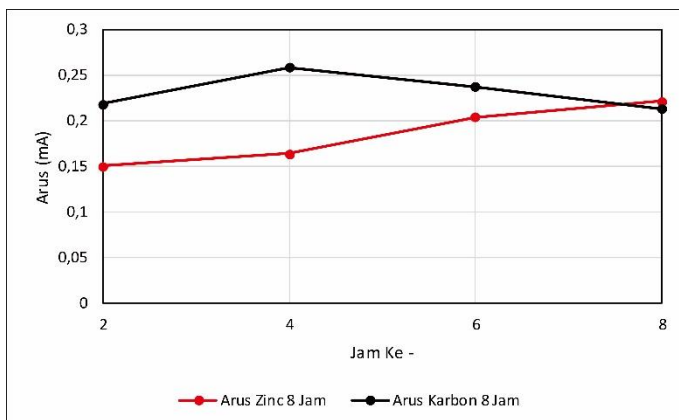


Gambar 4.10 Perbandingan Tegangan Antara *Zinc* dan Karbon

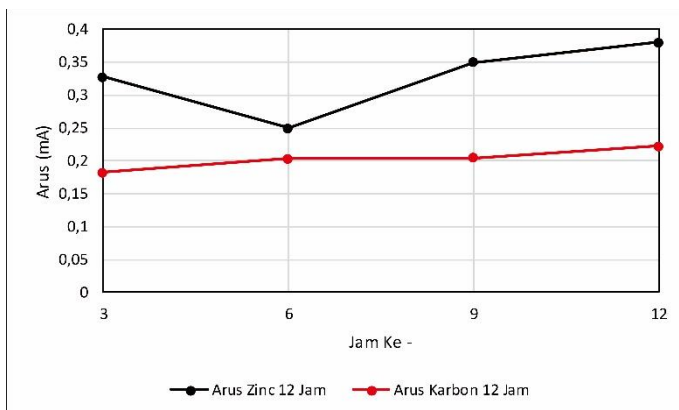
Berdasarkan **Gambar 4.10**, dapat dilihat bahwa varian anoda *zinc* menghasilkan rata – rata tegangan lebih tinggi daripada varian anoda karbon. Hal ini dikarenakan *zinc* memiliki nilai kereaktifan lebih tinggi dibandingkan dengan karbon dilihat dari posisi dalam deret volta, *zinc* berada di sebelah kiri dengan nilai potensial standar sebesar $-0,76$ sedangkan karbon berada di sebelah kanan dengan nilai potensial standar sebesar $+0,13$ (Ibrahim, *et. al.*, 2017). Semakin ke kiri posisi suatu logam dalam deret volta maka semakin mudah logam tersebut untuk melepaskan elektron dan merupakan reduktor yang kuat. Sifat kereaktifan masing – masing elektroda dalam sistem MFCs menyediakan luasan yang lebih besar untuk kontak bakteri dalam mentransfer elektron ke elektroda dan memberikan efek pada energi listrik yang dihasilkan (Scott, *et. al.*, 2007). Detail hasil pengukuran tegangan dapat dilihat pada **Lampiran B**.

Parameter yang diukur pada penelitian ini selain tegangan adalah arus. Arus didapat dari sejumlah elektron yang dihasilkan

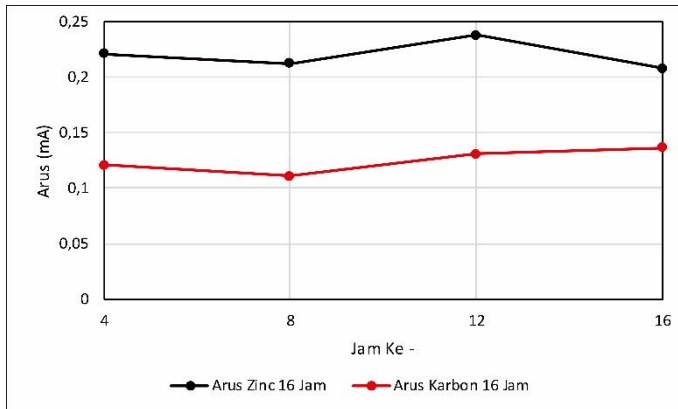
oleh mikroorganismenya dalam MFCs kemudian ditransfer menuju elektroda. MFCs pada penelitian ini menghasilkan arus dengan satuan mA, karena volume reaktor kecil sehingga volume senyawa organik yang didegradasi oleh mikroorganismenya sedikit. Prosedur pengukuran arus sama dengan pengukuran tegangan yaitu 4 kali pengukuran pada masing – masing varian waktu tinggal yaitu selama 8 jam, selama 12 jam, dan selama 16 jam. Hasil dari pengukuran arus pada varian waktu tinggal 8 jam, 12 jam, dan 16 jam dapat dilihat pada gambar – gambar sebagai berikut.



Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 8 Jam



Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 12 Jam



Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Arus Waktu Tinggal 16 Jam

Berdasarkan **Gambar 4.11**, **Gambar 4.12**, dan **Gambar 4.13**, dapat dilihat bahwa arus yang dihasilkan masing – masing varian cenderung fluktuatif. Hal ini dikarenakan adanya interaksi dan kompetisi antar mikroorganisme dalam reaktor untuk mencerna senyawa organik. Semakin banyak mikroorganisme yang mencerna senyawa organik, maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan salah satunya arus (Ibrahim, *et. al.*, 2017). Menurut Fauzi (2012), arus listrik merupakan perubahan muatan yang pindah melewati suatu titik per satuan waktu di dalam sistem yang berkonduksi, sehingga jumlah mikroorganisme yang mencerna senyawa organik mempengaruhi produksi elektron dan produksi elektron mempengaruhi nilai arus listrik yang dihasilkan. Detail hasil pengukuran arus dari penelitian ini dapat dilihat pada **Lampiran B**.

4.4. Produksi Energi Listrik

Microbial Fuel Cells (MFCs) merupakan sebuah unit pengolahan air limbah yang dapat menghasilkan energi listrik, hal ini karena di dalam kompartemennya terdapat bakteri berjenis bakteri elektrogenik yang merupakan bakteri penghasil listrik. Bakteri ini menghasilkan elektron dan proton dari proses oksidasi senyawa organik di kompartemen anoda (Guerrini, *et. al.*, 2014).

Energi listrik yang dihasilkan dari mikroorganisme akan ditransfer dari anoda menuju katoda melalui kawat sirkuit (Logan,

2009). Sedangkan proton yang dihasilkan akan ditransfer menuju ruang katoda melalui jembatan garam (Parkash, 2015).

Produksi energi listrik oleh MFCs dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain elektroda yang digunakan, jembatan garam, jarak antar elektroda, dan larutan elektrolit yang digunakan. Elektroda merupakan kunci dari komponen MFCs dimana bakteri tumbuh sebagai biofilm. Kinerja MFCs tergantung dari biofilm yang ada pada elektroda tersebut (Xie, *et. al.*, 2015). Terdapat beberapa persyaratan dari logam yang baik untuk dijadikan sebagai elektroda untuk MFCs, antara lain memiliki konduktivitas listrik yang baik, memiliki luas permukaan yang luas, tidak korosif, biokompatibel dan bersifat stabil secara kimiawi maupun mekanis agar mendapatkan hasil yang dapat direproduksi. Pada penelitian ini, varian anoda yang digunakan adalah *zinc* dan karbon sedangkan katoda yang digunakan adalah tembaga.

Jembatan garam memiliki peran dalam menjaga kelangsungan dari proses transfer elektron melalui sirkuit elektrik eksternal dan aliran ion – ion melalui larutan sebagai akibat dari redoks yang spontan dan terjadi pada kedua elektroda (Hermayanti *and* Nugraha, 2014). Peran jembatan garam sangat penting untuk menjaga kestabilan kinerja mikroorganisme karena jika ion H^+ yang dihasilkan oleh reaksi tidak ditransfer menuju ruang katoda maka pH dalam ruang anoda akan menurun sehingga kinerja mikroorganisme akan terganggu, maka dari itu jembatan garam memiliki peran yang penting dalam sistem MFCs (Verma, 2002). Pada penelitian ini, jembatan garam yang digunakan memiliki bentuk “U” dengan ukuran melintang yaitu 0,5 cm x 0,5 cm.

Jarak elektroda merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan kinerja MFCs (Ibrahim, *et. al.*, 2017). Menurut Ashoka, *et. al.* (2012), semakin jauh jarak antara anoda dan katoda maka semakin sedikit energi listrik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak antara anoda dan katoda semakin memungkinkan terjadi kebocoran energi listrik dan memperbesar hambatan internal. Pada penelitian ini, jarak elektroda yang diterapkan pada setiap *running* reaktor adalah 1,5 cm.

Larutan elektrolit yang digunakan pada sistem MFCs mempengaruhi produksi listrik karena MFCs merupakan sistem bioelektrokimia yaitu sistem yang dapat mengubah energi kimia

menjadi energi listrik yang melibatkan reaksi redoks dengan memanfaatkan mikroba sehingga dibutuhkan oksidator pada kompartemen katoda untuk menangkap elektron yang dihasilkan dari kompartemen anoda (Jia, *et. al.*, 2014). Jenis larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah Larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,1 M karena memiliki potensial reduksi standar yang besar (Hermayanti *and* Nugraha, 2014).

Energi atau daya yang dihasilkan dari setiap *running* didapat dari perhitungan yang melibatkan tegangan dan arus yang telah diukur menggunakan multimeter digital. Perhitungan dari daya pada masing – masing titik pengukuran dihitung menggunakan **Rumus 1** yaitu dengan melibatkan data tegangan dengan arus. Hasil dari perhitungan daya setiap titik pengukuran masing – masing varian waktu tinggal dan jenis anoda dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4.3 Produksi Daya Anoda *Zinc* Waktu Tinggal 8 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	1,28	1,212	1,291	1,214
Arus	mA	0,15	0,164	0,204	0,221
Daya	mW	0,192	0,199	0,263	0,268

Tabel 4.4 Produksi Daya Anoda *Zinc* Waktu Tinggal 12 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	1,535	1,42	1,496	1,377
Arus	mA	0,327	0,25	0,349	0,38
Daya	mW	0,502	0,355	0,522	0,523

Tabel 4.5 Produksi Daya Anoda *Zinc* Waktu Tinggal 16 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	1,277	1,365	1,22	1,021
Arus	mA	0,121	0,111	0,131	0,136
Daya	mW	0,155	0,152	0,160	0,139

Tabel 4.6 Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 8 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	0,944	1,044	0,985	1,076
Arus	mA	0,218	0,258	0,237	0,213
Daya	mW	0,206	0,269	0,233	0,229

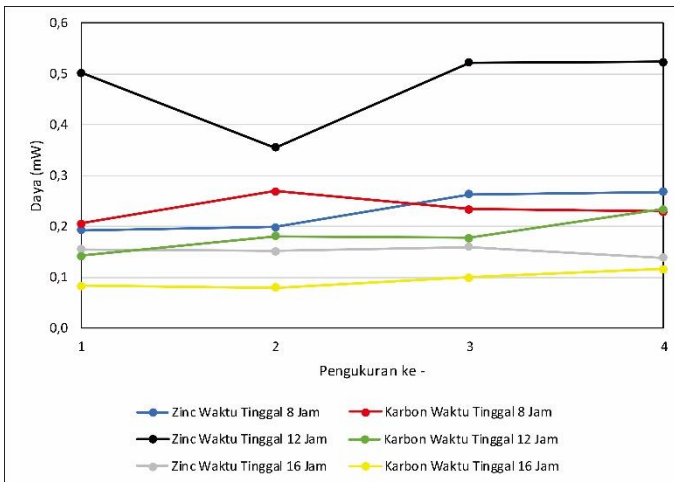
Tabel 4.7 Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 12 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	0,778	0,893	0,87	1,051
Arus	mA	0,182	0,203	0,204	0,222
Daya	mW	0,142	0,181	0,177	0,233

Tabel 4.8 Produksi Daya Anoda Karbon Waktu Tinggal 16 Jam

Parameter	Satuan	Pengukuran ke -			
		1	2	3	4
Tegangan	V	0,687	0,713	0,757	0,855
Arus	mA	0,121	0,111	0,131	0,136
Daya	mW	0,083	0,079	0,099	0,116

Daya yang dihasilkan pada setiap titik pengukuran listrik masing – masing varian dapat dilihat pada **Gambar 4.11** sebagai berikut.



Gambar 4.11 Produksi Energi Listrik Masing – Masing Varian

Berdasarkan **Gambar 4.11**, dapat dilihat bahwa tidak setiap varian anoda *zinc* menghasilkan daya yang lebih besar daripada varian anoda karbon. Hal ini dikarenakan produksi energi listrik (daya) bergantung pada arus yang dihasilkan, sedangkan arus

sendiri bergantung pada interaksi dan kompetisi bakteri yang berada diluar kontrol. Pada penelitian ini, fluktuasi produksi energi listrik dengan nilai tertinggi didapat pada waktu tinggal 12 jam dengan menggunakan anoda *zinc*.

Daya yang telah didapat dari masing – masing varian, kemudian dijadikan sebagai bahan perhitungan total daya yang dihasilkan dalam kurun waktu tertentu. Nilai total daya yang dihasilkan bergantung pada waktu tinggal karena perhitungan total daya juga melibatkan waktu tinggal sehingga semakin lama waktu tinggal, maka semakin besar daya yang dihasilkan. Total energi listrik yang dihasilkan dihitung menggunakan **Rumus 2**. Hasil dari perhitungan total daya pada masing – masing varian dapat dilihat pada **Tabel 4.9** sebagai berikut.

Tabel 4.9 Perbandingan Total Daya Anoda *Zinc* dan Karbon

Waktu Tinggal	Total Daya yang Dihasilkan (mW.jam)	
	Anoda <i>Zinc</i>	Anoda Karbon
8 Jam	1,38	1,44
12 Jam	4,17	1,64
16 Jam	1,83	1,11

Berdasarkan **Tabel 4.9**, dapat dilihat bahwa anoda *zinc* menghasilkan total daya lebih unggul pada semua varian waktu tinggal dibandingkan dengan anoda karbon kecuali pada varian waktu tinggal 8 jam. Hal ini dikarenakan kurangnya interaksi dan kompetisi antar mikroorganisme dalam reaktor ketika *running* yang menyebabkan arus yang dihasilkan cenderung kecil sehingga daya yang dihasilkan juga cenderung kecil. Pada penelitian ini, total daya tertinggi yang dihasilkan didapat pada waktu tinggal 12 jam dengan anoda *zinc* yaitu sebesar 4,17 mW.jam. Interaksi dan kompetisi sangat berpengaruh pada kontribusi untuk menghasilkan arus, sehingga meskipun tegangan yang dihasilkan tinggi namun arus yang dihasilkan cenderung kecil maka daya yang dihasilkan juga cenderung kecil.

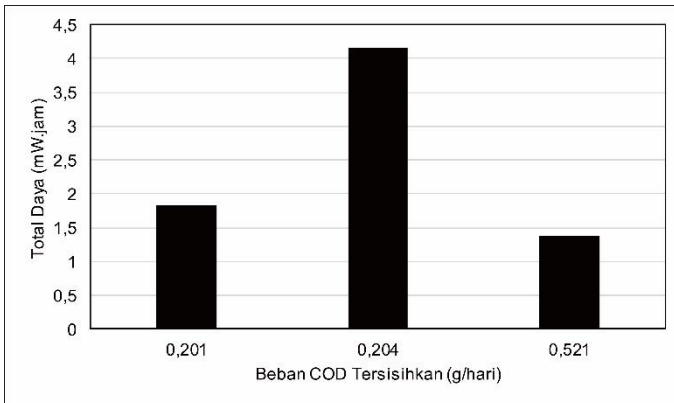
Elektroda MFCs pada penelitian ini dipasang pada kompartemen terakhir sehingga produksi energi listrik juga dipengaruhi oleh beban COD yang masuk pada kompartemen terakhir yaitu kompartemen ke – 6. Menurut Sasse (1998), ABR

dengan 5 kompartemen dengan variasi waktu tinggal, antara lain 8 jam, 12 jam, dan 16 jam menghasilkan efisiensi *removal* COD dengan nilai berturut – turut sebesar 39,2%, 58,4%, dan 62,7%. Beban COD yang masuk, yang keluar dan yang tersisihkan pada kompartemen ke – 6 masing – masing reaktor dapat dilihat pada **Tabel 4.10** sebagai berikut.

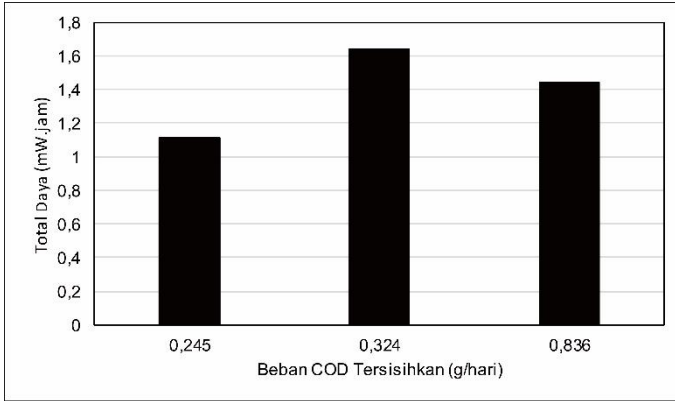
Tabel 4.10 Beban COD pada Kompartemen ke - 6

No.	Jenis Anoda	Waktu Tinggal	Beban COD Masuk (g/hari)	Beban COD Keluar (g/hari)	Beban COD Tersisihkan (g/hari)
1	Zinc	8 Jam	1,454	0,933	0,521
		12 Jam	0,663	0,459	0,204
		16 Jam	0,446	0,245	0,201
2	Karbon	8 Jam	1,769	0,933	0,836
		12 Jam	0,806	0,482	0,324
		16 Jam	0,543	0,297	0,245

Perbandingan antara beban COD yang tersisihkan di kompartemen ke – 6 pada varian anoda *zinc* dan karbon dapat dilihat pada **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13** sebagai berikut.



Gambar 4.12 Perbandingan Beban COD dan Total Daya Varian Anoda *Zinc*



Gambar 4.13 Perbandingan Beban COD dan Total Daya Varian Anoda Karbon

Berdasarkan **Gambar 4.12** dan **Gambar 4.13**, dapat disimpulkan bahwa beban COD yang tersisihkan tidak mempengaruhi produksi energi listrik. Parameter yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik salah satunya adalah pH. Pada penelitian ini, anoda *zinc* dengan waktu tinggal 12 jam memiliki nilai total energi listrik tertinggi, hal ini dikarenakan pH yang dikandung oleh limbah cair lebih rendah daripada varian lain sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi. Tegangan yang lebih tinggi dipengaruhi oleh kondisi pH dari limbah cair tahu, dimana semakin rendah nilai pH maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan (Torres, *et. al.*, 2008). Pada penelitian ini, pH varian anoda *zinc* dengan waktu tinggal 12 jam memiliki nilai yang lebih kecil daripada varian anoda *zinc* pada waktu tinggal 8 jam dan 12 jam. Nilai pH pada masing – masing varian penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.11** sebagai berikut.

Tabel 4.11 Nilai pH Masing – Masing Varian Penelitian

No.	Varian Anoda	Inlet	Waktu Tinggal Hidrolis		
			8 Jam	12 Jam	16 Jam
1.	Kontrol	7,28	7,55	7,73	7,8
2.	Zinc	7,25	7,86	7,75	7,81
3.	Karbon	7,58	7,71	7,75	7,91

Selain tegangan yang lebih tinggi, interaksi dan kompetisi mikroorganismen dalam mencerna senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu juga mempengaruhi produksi arus yang kemudian mempengaruhi total daya yang dihasilkan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini, antara lain :

1. Waktu tinggal hidrolis memberikan pengaruh terhadap efisiensi *removal* kandungan COD dan BOD dimana semakin lama waktu tinggal hidrolis, maka semakin besar efisiensi *removal* kandungan COD dan BOD yang didapat. Pada penelitian ini, efisiensi *removal* COD dan BOD terbesar didapat pada varian anoda karbon dengan waktu tinggal 16 jam dengan nilai berturut – turut sebesar 79,55% dan 77,46% sedangkan efisiensi *removal* COD dan BOD terkecil didapat pada varian kontrol dengan waktu tinggal 8 jam dengan nilai berturut – turut sebesar 26,57% dan 10,69%.
2. Jenis anoda memberikan pengaruh terhadap produksi energi listrik. Semakin posisi suatu logam berada di sebelah kiri deret volta, maka nilai potensial standarnya semakin minus sehingga logam tersebut lebih mudah melepas elektron. Dari penelitian ini, varian anoda *zinc* pada waktu tinggal 8 jam, 12 jam, dan 16 jam memiliki nilai tegangan rata – rata yang lebih tinggi daripada varian anoda karbon.
3. Energi listrik yang dihasilkan oleh unit kombinasi MFCs dan ABR, antara lain untuk varian anoda *zinc* pada waktu tinggal 8 jam, 12 jam, dan 16 jam berturut – turut sebesar 1,38 mW.jam, 4,17 mW.jam, dan 1,83 mW.jam. Sedangkan, untuk varian anoda karbon pada waktu tinggal 8 jam, 12 jam, dan 16 jam berturut – turut sebesar 1,44 mW.jam, 1,64 mW.jam, dan 1,11 mW.jam.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini, antara lain :

1. Dilakukan uji kandungan gas metana (CH₄) untuk memastikan kondisi anaerobik dari reaktor.
2. Setiap kompartemen diberi lubang yang dapat dibuka dan ditutup sebagai media pengujian gas karbon dioksida.
3. Frekuensi pengukuran tegangan dan arus lebih diperbanyak supaya kurva yang didapat lebih representatif.
4. Dilakukan pengambilan sampel setiap kompartemen untuk mengetahui efisiensi *removal* pada setiap kompartemen.

5. Perlu dilakukan pengukuran pH pada kompartemen terakhir untuk mengetahui pengaruh kondisi pH terhadap produksi energi listrik.
6. Perlu dilakukan pengolahan secara fisik karena rasio BOD/COD limbah cair tahu inlet kurang dari 0,5 sehingga dapat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhianto, R., Samudro, G., Hadiwidodo, M. 2014. Pengaruh Variasi Debit dan Konsentrasi Larutan Elektrolit (KMnO_4) terhadap Penurunan Chemical Oxygen Demand dan Produksi Listrik di dalam Reaktor Microbial Fuel Cells Studi Kasus: Air Limbah RPH Kota Salatiga. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 3 (2) : 1 – 15.
- Asegab, M. 2010. *Pengaruh Nilai F/M (Food to Mass Ratio) Kolam Lumpur Aktif pada Efisiensi Penyisihan Polutan Organik dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tepung Agar – Agar*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Ashoka H. and Bhat, P. 2012. Comparative Studies on Electrodes for the Construction of Microbial Fuel Cell. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 3 (4) : 785 – 789.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *Air dan Air Limbah – Bagian 72 : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *Air dan Air Limbah – Bagian 73 : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Titrimetri*. Badan Standarisasi Nasional.
- Borja, G. M., Mora, E. M., Barron, B., Gosset, G., Ramirez, O. T., Lara, A. R. 2012. Engineering Escherichia Coli to Increase Plasmid DNA Production in High Cell-Density Cultivations in Batch Mode. *Microbial Cell Factories*. 11 (1) : 132.
- Cek, N. 2017. Examination of Zinc Electrode Performance in Microbial Fuel Cells. *Journal of Science*. 30 (4) : 395 – 402.
- Chang, R. 2005. *Kimia Dasar : Konsep - Konsep Inti Jilid 2*. Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Cheng, S. and Logan, B. E. 2011. Increasing Power Generation for Scalling Up Single – Chamber Air Cathode Microbial Fuel Cells. *Biosource Technology*. 102 : 4468 – 4473.

- Djarwanti. 2015. Aplikasi Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka dengan Sistim ABR dan UAF. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*. 6 (1) : 29 – 34.
- Fauzi, A. 2012. Penentuan Konduktivitas dan Resistivitas Air Laut dengan Pengukuran Tidak Langsung. *Jurnal Materi dan Pendidikan Fisika*. 2 (1) : 37 – 41.
- Guerrini, E., Cristiani, P., Grattieri, M., Santoro, C., Li, B., Trasatti, S. 2014. Electrochemical Behavior of Stainless Steel Anodes in Membraneless Microbial Fuel Cells. *Journal of The Electrochemical Society*. 161 (3) : 62 – 67.
- Gurung, A. and Oh, S. E. 2012. The Performance of Serially and Parallely Connected Microbial Fuel Cells. *Energy Sources*. 34 (17) : 1591 – 1598.
- Herald, D. 2010. *Pengaruh Variasi Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi pada Penyisihan Senyawa Organik dari Air Buangan Pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Sequencing Batch Reactor Aerob*. Universitas Andalas : Sumatera Barat.
- Herawati, D.A., and Wibawa, A. A. (2010). Pengaruh Pretreatment Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*. 4 (1) : 25 – 29.
- Hermayanti, A. and Nugraha, I. 2014. Potensi Perolehan Energi Listrik dari Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Salt Bridge Microbial Fuel Cell. *Jurnal Sains Dasar*. 3 (2) : 162 – 168.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., Adjani, Z. N. 2017. Kinerja Microbial Fuel Cells Penghasil Biolistrik dengan Perbedaan Jenis Elektroda pada Limbah Cair Industri Perikanan. *JPHPI*. 20(2). 296 – 304.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., Agung, B. S. 2017. Pengaruh Jarak Elektroda Microbial Fuel Cell pada Limbah Cair Pemindangan Ikan terhadap Elekrisitas dan Beban Pencemaran. *JPHPI*. 20 (3) : 559 – 567.

- Ibrahim, B., Uju, Mukti, A. C. 2019. Densitas Biofilm pada Elektroda Berpengaruh Positif terhadap Produksi Biolistrik Microbial Fuel Cells Limbah Cair Perikanan. *JPHPI*. 22 (1) : 71 – 79.
- Irpan. 2018. *Studi Perancangan Sistem Seri, Paralel Dan Kombinasi Pada Teknologi Microbial Fuel Cell Sebagai Produksi Energi Listrik Menggunakan Limbah Industri Tahu*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta : Yogyakarta.
- Istifadah, N., Wasiaturrahma, Dumauli, M. T. 2017. Sektor Perdagangan Kota Surabaya di Era Kompetisi Global. *Journal of Research in Economics and Management*. 17 (2) :147 – 161.
- Jafary, T., Rahimnejad, M., Ghoreyshi, A. A., Najafpour, G., Hghparast, F., Wandaud, W. R. 2013. Assessment of Bioelectricity Production in Microbial Fuel Cells Through Series and Parallel Connections. *Energy Conversion and Management*. 75 : 256 – 262.
- Jia, Q., Wei, L., Han, H., Shen, J. 2014. Factors that Influence the Performance of Two – Chamber Microbial Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39 (25) : 13687 – 13693.
- Kaswinarni, F. 2007. *Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Kristin, E. 2012. *Produksi Energi Listrik melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Universitas Indonesia : Depok.
- Kurnianto, E., Apriani, I., Pramadita, S. 2017. Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Penambahan Kitosan pada Reaktor Anaerob dengan Variasi Waktu Tinggal. *Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan UNTAN*. 1 (1) : 1 – 10.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schroder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., Rabaey, K. 2006. Microbial Fuel Cells : Methodology and Technology. *Environmental Science & Technology*. 40 (17) : 5181 – 5192.

- Logan, B. E. 2009. Exoelectrogenic Bacteria that Power Microbial Fuel Cells. *Nature Reviews Microbiology*. 7 : 375 – 381.
- Muliawati, W. 2015. *Potensi Limbah Cair Organik Tapioka Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Karbon Cloth pada Sistem Microbial Fuel Cells (MFCs) Double Chamber dengan Variasi Konsentrasi Katolit $KMnO_4$* . Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Mustakeem. 2015. Electrode Materials for Microbial Fuel Cells : Nanomaterial Approach. *Mater Renew Sustain Energy*. 4 (22) : 1 – 11.
- Myrasandi, P. and Syafila, M. 2012. Potensi Pembentukan Produk Hasil Degradasi Senyawa Organik Limbah Cair Tahu Menggunakan Anaerobic Baffled Reactor Lima Kompartemen. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 18 (1) : 75 – 86.
- Nanda, L. 2016. Pembuatan Tahu dari Kacang Kedelai dengan Menggunakan Bahan Penggumpal Ie Kuloh Sira. *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*. 14 (1) : 37 – 42.
- Pamungkas, A. W. and Slamet, A. 2017. Pengolahan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*. 6 (2) : 131 – 136.
- Parkash, A. 2015. Design and Fabrication of a Double Chamber Microbial Fuel Cells for Voltage Generation from Biowaste. *Bioprocessing & Biotechniques*. 5 (8) : 1 – 4.
- Pemerintah Kota Surabaya. 2015. *Informasi Data Pokok Surabaya Tahun 2015*. Pemerintah Kota Surabaya.
- Perwitasari, D. S. and Cahyo, A. 2009. *Pembuatan Dekstrin sebagai Bahan Perekat dari Hidrolisis Pati Umbi Talas dengan Katalisa HCl*. UPN Veteran Jawa Timur : Surabaya.
- Prayogo, F. A., Suprihadi, A., Raharjo, B. 2017. *Microbial Fuel Cell (MFC) Menggunakan Bakteri *Bacillus subtilis* dengan Substrat Limbah Septic Tank serta Pengaruhnya terhadap Kualitas Limbah*. *Jurnal Biologi*. 6 (2) : 17 – 25.
- Purwono, Hermawan, Hadiyanto. 2015. Penggunaan Teknologi Reaktor Microbial Fuel Cells (MFCs) dalam Pengolahan

- Limbah Cair Industri Tahu untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Presipitasi*. 12 (2) :57 – 65.
- Radi, M. H. and Al – Fetlawi, H. A. Z. 2017. Influence of Electrodes Characteristics on the Performance of a Microbial Fuel Cell. *Journal of Babylon University*. 25 (4) : 1328 – 1338.
- Rambe, S. M. 2016. Evaluasi Reaktor Hidrolisis – Acidogenesis sebagai Bioreaktor Intermediate Proses pada Pra Pembuatan Biogas dari Limbah Cair PKS pada Skala Pilot Plant. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 27 (2) : 94 – 102.
- Rinaldi, W., Nurdin, Y., Syahiddin, Wulan, W., Agustina, C. P. 2014. Pengolahan Limbah Cair Organik dengan Microbial Fuel Cell. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 10 (2) : 92 – 98.
- Rizky, K. A. 2013. *Pengaruh Penambahan EM-4 (Effective Microorganisms-4) terhadap Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Tahu*. Universitas Muhammadiyah Surakarta : Surakarta.
- Samudro, G. and Mangkoedihardjo, S. 2010. Review on BOD, COD and BOD/COD Ratio: a Triangle Zone for Toxic, Biodegradable and Stable Levels. *International Journal of Academic Research*. 2 (4) : 235 – 239.
- Santoro, C., Arbizzani C., Erable, B., Ieropoulos, I. 2017. Microbial Fuel Cells : from Fundamentals to Application a Review. *Journal of Power Sources*. 356 : 225 – 244.
- Sasse, L. 1998. *DEWATS Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*. BORDA : Delhi.
- Scott, K., Rimbu G. A., Katuri, K. P., Prasad, K. K., Head, I. M. 2007. Application of Modified Carbon Anodes in Microbial Fuel Cells. *International Chemical Engineers*. 85 (5) : 481 – 488.
- Septyana, I. and Samudro, R. A. G. 2013. Pengaruh Variasi Debit dan Jumlah Elektroda terhadap Penurunan COD dan Produksi Listrik dalam Reaktor Microbial Fuel Cells (MFCs)

Studi Kasus: Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Salatiga. *DIPA IPTEKS*. 1 (1) : 44 – 48.

- Sevda, S. and Sreekrishnan, T. R. 2012. Effect of Salt Concentration and Mediators in Salt Bridge Microbial Fuel Cell for Electricity Generation from Synthetic Wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*. 47 (6) : 878 – 886.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Mooden dan Rekayasa Material (Edisi 6)*. Penerbit Erlangga : Jakarta.
- Susilo, F. A. P., Suharto, B., Susanawati, L. D. 2015. Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD dan COD Limbah Tapioka dengan Metode Rotating Biological Contactor. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 2 (1) : 21 – 26.
- Tamakloe, R. Y., Opoku-Donkor, T., Donkor, M. K. E., Agamasu, H. 2015. Comparative Study of Double – Chamber Microbial Fuel Cells (DC – MFCs) Using Mfensi Clay as Ion – Exchange – Partition : Effect of Electrodes. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. 7 (3) : 207 – 210.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Use*. United States : McGraw Hill.
- Timotius, K. H. 2016. Pengolahan Air Limbah dan Produksi Listrik secara Simultan oleh Microbial Fuel Cells (MFCs). *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*. 6 (22) : 113 – 124.
- Torres C. I., Kato, M. A., Rittmann, B. E. 2007. Kinetics of Consumption of Fermentation Products by Anode-Respiring Bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol*. 77 (3) : 689 – 697.
- Torres, C. I., Lee, H. S., Rittmann, B.E. 2008. Carbonate Species as OH Carriers for Decreasing the pH Gradient between Cathode and Anode in Biological Fuel Cells. *Environmental Science and Technology*. 42 (23), 8773 – 8777.
- Velasquez-Orta, S. B., Curtis, T. P., Logan, B. E. 2009. Energy from Algae Using Microbial Fuel Cells. *Biotechnology Bioengineering*. 103 : 1068 – 1076.

- Velasquez-Orta, S. B., Yu, E., Katuri, K. P., Head, I. M., Curtis, T. P., Scott, K. 2011. Evaluation of Hydrolysis and Fermentation Rates in Microbial Fuel Cells. *Bioenergy and Biofuels*. 90 : 789 – 798.
- Verma, S. 2002. *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*. New York : Columbia University.
- Wei, J., Liang, P., Huang, X. 2011. Recent Progress in Electrodes for Microbial Fuel Cells. *Biosource Technology*. 102 : 9335 – 9344.
- Xie, X., Criddle, C., Cui, Y. 2015. Design and Fabrication of Bioelectrodes for Microbial Bioelectrochemical Systems. *Energy & Environmental Science*. 8 (12) : 3418 – 3441.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN A

PROSEDUR PENGUJIAN DAN PEMBUATAN KOMPONEN PENELITIAN

A.1 Prosedur Uji Kandungan BOD

Prosedur uji kandungan BOD mengacu pada SNI 6989.72:2009 tentang uji kebutuhan oksigen biokimia pada suatu sampel. Berikut alat, bahan, dan prosedur untuk pengujian BOD pada sampel.

- **Alat :**
 - Botol DO
 - Lemari Inkubasi
 - Labu Erlenmeyer 250 mL
 - Pipet Volumetrik 1 mL
 - Labu Ukur 100 mL;
 - Labu pengencer 500 mL
 - pH Meter
 - Labu Erlenmeyer 1000 mL
 - Beaker glass 100 mL
 - Neraca Analitik
- **Bahan :**
 - Aquadest
 - Larutan Buffer Fosfat Sulfat
 - Larutan Kalsium Klorida
 - Larutan Feri Klorida
 - Larutan Magnesium Sulfat
 - Larutan Air Pengencer
 - Larutan Glukosa - Asam Glutamat
 - Larutan Asam Sulfat
 - Larutan Natrium Hidroksida
 - Larutan Natrium Sulfit
 - Aquadest
 - Larutan Kalium Iodida 10%
 - Larutan Indikator Amilum
 - Larutan Mangan Sulfat
 - Larutan Pereaksi Oksigen
- **Prosedur Pembuatan Bahan :**
 - Larutan Buffer Fosfat
 - a. Dilarutkan 42,5 g Kalium Dihidrogen Fosfat, 1,7 g Amonium Klorida (NH_4Cl) dalam 700 mL aquadest.

- b. Diatur pH larutan hingga mencapai angka 7,2 dengan penambahan NaOH 30%.
 - c. Diencerkan hingga mencapai volume 1000 mL.
- Larutan Kalsium Klorida (CaCl_2)
 - a. Ditambahkan 27,5 g serbuk Kalsium Klorida ke dalam labu pengencer 1000 mL.
 - b. Dilarutkan dengan aquadest hingga 1000 mL.
- Larutan Magnesium Sulfat (MgSO_4)
 - a. Ditambahkan 22,5 g serbuk Magnesium Sulfat ke dalam labu pengencer 1000 mL.
 - b. Dilarutkan dengan aquadest hingga mencapai 1000 mL.
- Larutan Feri Klorida (FeCl_3)
 - a. Ditambahkan 0,25 g serbuk Feri Klorida ke dalam labu pengencer 1000 mL.
 - b. Dilarutkan dengan aquadest hingga mencapai 1000 mL.
- Larutan Pengencer
 - a. Ditambahkan 1 mL Buffer Fosfat, 1 mL Kalsium Klorida, 1 mL Magnesium Sulfat, dan 1 mL Feri Klorida ke dalam 1 L Aquadest.
 - b. Dilakukan aerasi menggunakan aerator selama 2 jam.
 - c. Ditambahkan 1 mL bibit mikroba, kemudian diaerasi selama 24 jam.
- Larutan Mangan Sulfat (MnSO_4)
 - a. Ditambahkan 480 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ke dalam labu pengencer 1000 mL.
 - b. Dilarutkan hingga mencapai volume 1000 mL dengan aquadest.
- Larutan Pereaksi Oksigen
 - a. Ditambahkan 500 g NaOH dan 135 g KI ke dalam beaker glass 1000 mL.
 - b. Dilarutkan hingga 1000 mL dengan aquadest.
 - c. Ditambahkan 10 g NaN_3 dalam 40 mL aquadest.
- Larutan Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
 - a. Ditambahkan 3,1025 g serbuk $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ke dalam labu pengencer 1000 mL.

- b. Dilarutkan dengan aquadest hingga mencapai volume 1000 mL.
 - Larutan Indikator Amilum
 - a. Ditambahkan 2 g amilum dan 2 g asam salisilat ke dalam beaker glass 100 mL.
 - b. Dilarutkan dengan 100 mL aquadest dalam keadaan mendidih.
- Langkah Uji :
 - Diambil larutan contoh uji sesuai perhitungan kebutuhan volume untuk uji BOD.
 - Larutan contoh uji kemudian diencerkan hingga 500 mL dengan larutan pengencer.
 - Siapkan 2 buah botol DO, tandai masing – masing botol dengan notasi A1; A2.
 - Masukkan larutan contoh uji ke dalam masing – masing botol DO A1 dan A2 sampai meluap, kemudian tutup botol DO A2 secara hati – hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara.
 - Ditambahkan aquadest pada sekitar mulut botol DO A2 yang telah ditutup.
 - Simpan botol A2 dalam lemari inkubator $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari.
 - Ditambahkan larutan mangan sulfat sebanyak 1 mL pada botol DO A1.
 - Ditambahkan larutan pereaksi oksigen sebanyak 1 mL pada botol DO A1.
 - Botol DO A1 ditutup secara hati – hati untuk menghindari pembentukan gelembung udara dalam botol.
 - Dihomogenkan kemudian dibiarkan mengendap selama kurang lebih 10 menit.
 - Dibuka tutup botol DO A1 kemudian ditambahkan larutan asam sulfat pekat sebanyak 1 mL.
 - Botol DO A1 ditutup kembali kemudian dihomogenkan.
 - Larutan contoh uji dalam botol A1 kemudian dipindahkan pada labu erlenmeyer 250 mL.
 - Ditambahkan indikator amilum sebanyak 3 tetes kemudian dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat

hingga warna larutan hilang. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut 0 hari (A1).

- Ulangi langkah perhitungan DO untuk botol A2 yang telah diinkubasi 5 hari \pm 6 jam. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut 5 hari (A2).

- Perhitungan Volume Larutan Contoh Uji untuk Uji BOD :
mL sampel BOD = $\frac{[\text{COD}]}{5}$

Dimana :

- mL sampel BOD adalah volume sampel yang diperlukan untuk uji BOD (mL)
- [COD] adalah konsentrasi COD dari sampel (mg/L)

- Perhitungan Nilai DO :

$$\text{DO} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Dimana :

- DO adalah konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel (mg O₂/L)
- a adalah volume larutan natrium tiosulfat yang dibutuhkan untuk titrasi (mL)
- N adalah konsentrasi larutan natrium tiosulfat (0,0125 N)

- Perhitungan Nilai BOD₅ :

$$[\text{BOD}_5] = \frac{((X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)) \times 500 \text{ mL}}{\text{mL sampel BOD}}$$

Dimana :

- [BOD₅] adalah konsentrasi BOD₅ sampel (mg/L)
- X₀ adalah kadar oksigen terlarut sampel sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L)
- X₅ adalah kadar oksigen terlarut sampel setelah inkubasi (5 hari) (mg/L)
- B₀ adalah kadar oksigen blanko sebelum inkubasi (0 hari) (mg/L)
- B₅ adalah kadar oksigen blanko setelah inkubasi (5 hari) (mg/L)
- mL sampel BOD adalah volume sampel yang diperlukan untuk uji BOD (mL)

A.2 Prosedur Uji Kandungan COD

Prosedur uji kandungan COD mengacu pada SNI 6989.73:2009 tentang cara uji kandungan oksigen kimiawi dengan refluks tertutup secara titrimetri pada suatu sampel. Berikut alat, bahan, dan prosedur untuk pengujian COD pada sampel.

- Alat :
 - Tabung Vial
 - Labu Erlenmeyer 100 mL
 - Pipet Ukur 10 mL
 - Propipet
 - Pipet Tetes
 - *Heating Block*

- Bahan :
 - Sampel
 - Aquadest
 - Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
 - Larutan Perak (II) Sulfat (Ag_2SO_4)
 - Indikator Ferroin
 - Larutan Amonium Besi (II) Sulfat ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)

- Prosedur Pembuatan Bahan :
 - Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) :
 - a. Dilarutkan 4,903 g $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam ke dalam 500 mL Aquadest.
 - b. Ditambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g $HgSO_4$.
 - c. Dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang dan diencerkan sampai 1000 mL.
 - Larutan Perak (II) Sulfat (Ag_2SO_4) :
 - a. Dilarutkan 10,12 g Serbuk Ag_2SO_4 ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat.
 - b. Diaduk hingga larut.
 - Indikator Ferroin :
 - a. Dilarutkan 1,485 g 1,10-phenanthrolin monohidrat dan 695 mg $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dalam 1000 mL Aquadest.

- b. Diaduk hingga homogen.
 - Larutan Amonium Besi (II) Sulfat $((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$:
 - a. Dilarutkan 19,6 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 300 mL Aquadest.
 - b. Ditambahkan 20 mL H_2SO_4 .
 - c. Didinginkan lalu diencerkan dengan Aquadest hingga 1000 mL.
- Langkah Uji :
 - a. Sampel dimasukkan ke tabung vial sebanyak 2,5 mL.
 - b. Ditambahkan 1,5 mL Larutan Kalium Dikromat 0,1 N.
 - c. Ditambahkan 2,5 mL Larutan Perak (II) Sulfat.
 - d. Dilakukan *digestion* terhadap sampel selama 2 jam pada suhu 150°C menggunakan *heating block*.
 - e. Ditambahkan 1 tetes indikator feroin.
 - f. Dititrasi dengan Larutan FAS hingga warna menjadi merah bata.
- Perhitungan :

$$[\text{COD}] = \frac{(A-B) \times 8000 \times M \times p}{\text{mL sampel}}$$
 Dimana :
 - [COD] adalah konsentrasi COD sampel (mg/L)
 - A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan blanko (mL)
 - B adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan sampel (mL)
 - 8000 adalah berat *miliequivalent* oksigen x 1000 mL/L
 - M adalah molaritas larutan FAS
 - P adalah faktor pengenceran

A.3 Prosedur Pembuatan Jembatan Garam

Jembatan garam pada penelitian ini berfungsi untuk mentransfer ion H^+ dari kompartemen anoda ke kompartemen katoda. Jembatan garam ini mengandung *Nutrient Agar* dan Larutan Garam Natrium Klorida (NaCl) 0,1 M. Berikut alat, bahan, dan prosedur pembuatan jembatan garam.

- Alat :
 - *Beaker Glass* 500 mL
 - *Stirring Hot Plate*
 - Neraca Analitik
 - Spatula
 - Pipa PVC ½"
- Bahan :
 - Aquadest
 - *Nutrient Agar* (NA)
 - Serbuk Garam Natrium Klorida (NaCl)
- Langkah :
 - a. Ditimbang 10 gram *Nutrient Agar* (NA) lalu dimasukkan ke dalam beaker glass 500 mL.
 - b. Ditimbang 0,8 gram Serbuk Garam Natrium Klorida kemudian dimasukkan ke dalam beaker glass 500 mL.
 - c. Ditambahkan Aquadest sebanyak 200 mL.
 - d. Dipanaskan dan diaduk hingga mendidih selama 5 menit menggunakan *Stirring Hot Plate*.
 - e. Dimasukkan ke dalam akrilik berbentuk "U" kemudian ditunggu hingga dingin.

A.4 Prosedur Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit pada penelitian ini memiliki konsentrasi sebesar 0,1 M. Larutan ini berfungsi untuk menangkap ion H⁺ dari kompartemen anoda dan sebagai media untuk menyalurkan ion H⁺ ke katoda. Berikut alat, bahan, dan prosedur dari pembuatan larutan.

- Alat :
 - *Beaker Glass* 500 mL
 - Spatula
 - *Stirring Hot Plate*
 - Neraca Analitik
- Bahan :
 - Aquadest
 - Serbuk Kalium Permanganat (KMnO₄)
- Langkah :
 - a. Ditimbang 79,017 g Serbuk Kalium Permanganat.

- b. Dimasukkan ke *Beaker Glass* 500 mL.
- c. Ditambahkan Aquadest hingga 500 mL.
- d. Dipanaskan dan diaduk hingga mendidih selama 15 menit.

LAMPIRAN B HASIL PENELITIAN

B.1 Hasil Aklimatisasi Selama 11 Hari

Hari Ke -	Inlet (mg/L)	Outlet HRT 8 Jam (mg/L)	Outlet HRT 12 Jam (mg/L)	Outlet HRT 16 Jam (mg/L)	Removal COD HRT 8 Jam	Removal COD HRT 12 Jam	Removal COD HRT 16 Jam
1	518,4	326,4	332,8	416	37,04%	35,8%	19,75%
2	676,8	448	425,6	329,6	33,81%	37,12%	51,3%
3	672	473,6	307,2	374,4	29,52%	54,29%	44,29%
4	638,4	358,4	201,6	345,6	43,86%	68,42%	45,86%
5	590,4	275,2	227,2	323,2	53,39%	61,52%	45,26%
6	1004,8	542,4	302,4	537,6	46,02%	69,9%	46,50%
7	1408	566,4	609,6	648	59,77%	56,7%	53,98%
8	928	252	288	295,2	72,84%	68,97%	68,19%
9	870,4	283,2	211,2	288	67,46%	75,74%	66,91%
10	902,4	321,6	288	330,1	64,36%	68,09%	63,42%
11	1030,4	294,2	315,7	358,8	71,45%	69,36%	65,18%

B.2 Hasil Removal COD Reaktor Kontrol

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	915,2	672	26,57%
2.	12 Jam	915,2	489,6	46,5%
3.	16 Jam	915,2	288	68,53%

B.3 Hasil Removal COD Varian Anoda Zinc

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	984	384	60,98%
2.	12 Jam	984	283,2	71,22%
3.	16 Jam	984	201,6	79,51%

B.4 Hasil Removal COD Varian Anoda Karbon

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	1196,8	384	67,91%
2.	12 Jam	1196,8	297,6	75,13%
3.	16 Jam	1196,8	244,8	79,55%

B.5 Hasil Removal BOD Reaktor Kontrol

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	341,4	304,9	10,69%
2.	12 Jam	341,4	212,7	37,69%
3.	16 Jam	341,4	114,6	66,44%

B.6 Hasil Removal BOD Varian Anoda Zinc

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	355,3	223,4	37,12%
2.	12 Jam	355,3	123,0	65,37%
3.	16 Jam	355,3	80,2	77,42%

B.7 Hasil Removal BOD Varian Anoda Karbon

No.	Waktu Tinggal	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Removal
1.	8 Jam	432,1	203,1	53%
2.	12 Jam	432,14	129,3	70,08%
3.	16 Jam	432,14	97,4	77,46%

B.8 Hasil Uji Parameter pH dan DO Reaktor Kontrol

No.	Waktu Tinggal	pH Inlet	pH Outlet	DO Inlet (mg/L)	DO Outlet (mg/L)
1.	8 Jam	7,28	7,55	1,29	1,87
2.	12 Jam	7,28	7,73	1,29	0,97
3.	16 Jam	7,28	7,8	1,29	1,02

B.9 Hasil Uji Parameter pH dan DO Varian Anoda Zinc

No.	Waktu Tingga	pH Inlet	pH Outlet	DO Inlet (mg/L)	DO Outlet (mg/L)
1.	8 Jam	7,25	7,86	2,03	2,8
2.	12 Jam	7,25	7,75	2,03	3,11
3.	16 Jam	7,25	7,81	2,03	3,43

B.10 Hasil Uji Parameter pH dan DO Varian Anoda Karbon

No.	Waktu Tingga	pH Inlet	pH Outlet	DO Inlet (mg/L)	DO Outlet (mg/L)
1.	8 Jam	7,58	7,71	1,29	2,26
2.	12 Jam	7,58	7,75	1,29	2,9
3.	16 Jam	7,58	7,91	1,29	3,24

B.11 Hasil Pengukuran Tegangan (V) Varian Anoda Zinc

No.	Waktu Tingga	Pengukuran Ke -			
		1	2	3	4
1.	8 Jam	1,28 V	1,21 V	1,29 V	1,21 V
2.	12 Jam	1,54 V	1,42 V	1,50 V	1,38 V
3.	16 Jam	1,28 V	1,37 V	1,22 V	1,02 V

B.12 Hasil Pengukuran Tegangan (V) Varian Anoda Karbon

No.	Waktu Tingga	Pengukuran Ke -			
		1	2	3	4
1.	8 Jam	0,94 V	1,04 V	0,99 V	1,08 V
2.	12 Jam	0,78 V	0,89 V	0,87 V	1,05 V
3.	16 Jam	0,69 V	0,71 V	0,76 V	0,86 V

B.13 Hasil Pengukuran Arus (mA) Varian Anoda Zinc

No.	Waktu Tingga	Pengukuran Ke -			
		1	2	3	4
1.	8 Jam	0,15 mA	0,164 mA	0,204 mA	0,221 mA
2.	12 Jam	0,327 mA	0,25 mA	0,349 mA	0,38 mA
3.	16 Jam	0,221 mA	0,212 mA	0,238 mA	0,208 mA

B.14 Hasil Pengukuran Arus (mA) Varian Anoda Karbon

No.	Waktu Tingga	Pengukuran Ke -			
		1	2	3	4
1.	8 Jam	0,218 mA	0,258 mA	0,237 mA	0,213 mA
2.	12 Jam	0,182 mA	0,203 mA	0,204 mA	0,222 mA
3.	16 Jam	0,121 mA	0,111 mA	0,131 mA	0,136 mA

LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN

C.1 Spesifikasi *Multimeter Digital*



Multimeter Digital yang Digunakan untuk Penelitian

Nama Alat	<i>Multimeter Digital</i>
Merek	Jakemy®
Model	JM – 9205A
Tegangan DC	200 mV – 1000 V ± (0,5% + 1)
Tegangan AC	200 mV – 750 V ± (0,8% + 3)
Arus DC	20 mA – 20 A ± (0,8% + 1)
Arus AC	20 mA – 20 A ± (1% + 3)
Resistansi	200 Ω - 200 MΩ ± (2,5% + 3)
Kapasitansi	2 nF – 200 μF

C.2 Komponen – Komponen Reaktor Penelitian



Reaktor dan Wadah Outlet

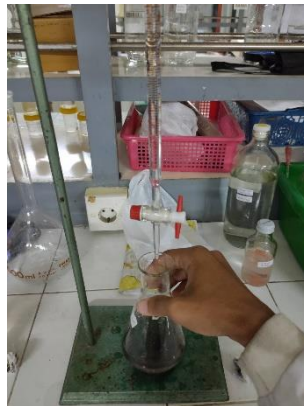


Tangki Inlet dan Tangki
Ekualisasi

C.3 Pengukuran Parameter Penelitian



Pengukuran Nilai COD
(Tahap Titiasi)



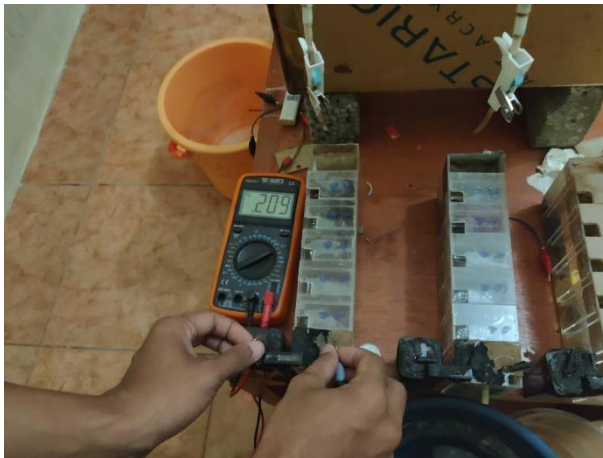
Pengukuran Nilai BOD
(Tahap Titiasi)



Pengukuran Nilai pH



Pengukuran Nilai DO



Pengukuran Tegangan dan Arus Menggunakan *Multimeter Digital*

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : 13 Desember 2019
Pukul : 10.00-11.00 WIB
Lokasi : TL-103
Judul : Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Surabaya Menggunakan Kombinasi Microbial Fuel Cells (MFCs) dan Anaerobic Baffled Reactor (ABR)
Nama : VALIANTO ROJULUN AFIF
NRP. : 03211540000043
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL : 473

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none">- tambahkan perhit teoritis perhit. konsentrasi Cop per kompartemen- penjelasan mengapa hasil penelitian menggunakan bahan kimia al >>> → hasil energi listrik <<<- perbaiki sesuai format penulisan TA <p style="text-align: right;"> 20/12/2019</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretaris Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Gasal 2019-2020

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : 14 Januari 2019
Pukul : 13.00 - 15.00
Lokasi : TL - 105
Judul : Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Surabaya Menggunakan Kombinasi Microbial Fuel Cells (MFCs) dan Anaerobic Baffled Reactor (ABR)
Nama : Valianto Rojulun Afif
NRP. : 03211540000043
Topik : Perencanaan

Nilai TOEFL 473

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>Fakultas diperbaiki Daftar isi (tabel / gambar --) margin</p> <p style="text-align: right;"> - 17/01/2020</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.



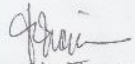
FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

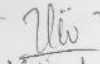
Nama : Valianto Pujawan Afij
NRP : 03211524000043
Judul Tugas Akhir : Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Surabaya Menggunakan
Mikrobia Kuel Cells (KPK) dan Anaerobic Puffed Peceker (APPE)

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Fakultas diperbaiki	Sudah diperbaiki pada bagian cover
2.	Daftar isi / tabel / gambar diperbaiki	sudah diperbaiki pada halaman vii, ix, dan xi

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa Ybs.,


Petya Wijarti, Tangguh, ST., MT., Ph.D.


Valianto Pujawan Afij



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama
NRP
Judul

: Vallanto Rejeki Dji
: 0321154000043
: Pengolahan limbah cair industri paku di Surabaya menggunakan
kombinasi Microbial Fuel Cell (MFC) dan Proserohid Bagged Reactor (ABR)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	9 Januari 2020	- lakukan perhitungan reactor untuk mengetahui kapasitas cor feremoval dengan produksi energi listrik	
2	13 Januari 2020	- Perbaiki penulisan sesuaikan dengan panduan - kalulator pada cover diganti	
3.	15 Januari 2020	- Pelajari Basis BOD/COD yang hidrokarabel untuk di daah dalam reaktor penelitian	

Surabaya, 09/01/2020
Dosen Pembimbing

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Valianto Rojulun Afif, lahir di Lumajang pada Hari Jumat, 13 November 1998 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Tompokersan 1 Lumajang, kemudian tingkat selanjutnya di SMPN 1 Lumajang dan tingkat atas di SMAN 2 Lumajang. Penulis melanjutkan kuliahnya Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015 dengan NRP 0321154000043.

Selama perkuliahan, penulis aktif pada bidang organisasi dengan menjadi pengurus HMTL, IMTLI, BEM ITS dan Trainer Keilmiah ITS. Penulis juga merupakan Wakil Ketua Trainer Keilmiah ITS masa jabatan 2018/2019 *batch* ketujuh dengan nama *INSPIRATOR*. Selain pada bidang organisasi, penulis juga aktif pada bidang keilmiah. Prestasi yang pernah diraih, antara lain Juara 1 LKTIN Super Hero Lingkungan 4 di Universitas Jember pada tahun 2016, Juara 1 LKTIN Kreativitas Mesin Brawijaya di Universitas Brawijaya pada tahun 2017, Juara 1 LKTIN IEFEST di UPN Veteran Jatim pada tahun 2018, Juara 1 LKTIN GALAKSI di Universitas Negeri Surabaya pada tahun 2018, Juara 2 LKTIN 5th SAFE SIP COMPETITION di Politeknik Negeri Jember pada tahun 2019, *Best Paper* Kategori “*Green Energi and Transportation*” LKTIN UI YEA 2019 di Universitas Indonesia, dan lain – lain. Penulis dapat dihubungi melalui telepon pada nomor 082137352941 dan email pada valiantorojulunafif@gmail.com.