

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di rumah Jl. Singojoyo VI, Sidoarjo. Limbah yang digunakan adalah limbah tahu yang berada di home industri di daerah Sukodono, Sidoarjo. Pengambilan limbah dilakukan dengan menggunakan jirigen berukuran 25 L. limbah yang telah diambil kemudian dilakukan analisa uji awal karakteristik limbah, setelah itu dilakukan pengolahan dengan proses pendahuluan yaitu *pre-treatment* limbah dengan koagulasi dan flokulasi terlebih dahulu. Limbah dimasukkan ke dalam bak koagulasi dan flokulasi kemudian ditambahkan koagulan yaitu PAC yang sudah ditentukan dosisnya melalui jar test di laboratorium yaitu 200 mg/L. Setelah melalui proses *pre-treatment*, dilakukan penelitian utama dimana limbah dimasukkan ke dalam reaktor MFC yang berjumlah lima reaktor dengan masing-masing variasi elektroda. Limbah dicampur dengan asetat yang berguna sebagai substrat yang merupakan sumber nutrisi pada bakteri. Penelitian utama dilakukan dengan variasi waktu 0,48,96,144,192 jam, setiap variasi waktu sampling dilakukan pengecekan kuat arus dan tegangan selama variasi waktu menggunakan multimeter digital dan dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis ke laboratorium dengan parameter uji COD, NH₃, dan PO₄.

4.1.1 Karakteristik Limbah

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri tahu, Bohar. Limbah ini mengandung bahan organik yang tinggi dan bersifat asam. Proses dari koagulasi flokulasi dengan penambahan PAC menjadikan pH menjadi netral berkisar pada pH 6-7,5. Berikut adalah karakteristik awal limbah cair tahu, Bohar.

Tabel 4.1 Karakteristik Awal Limbah Tahu

No.	Parameter	Hasil
1.	COD	1408 mg/L
2.	TSS	191 mg/L
3.	NH ₃	20,3 mg/L
4.	pH	6,4
5.	PO ₄	0,752 mg/L

(Sumber: Analisa laboratorium, 2020)

4.1.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang pertama adalah melakukan jartest untuk menentukan dosis optimum koagulan yang akan digunakan pada proses *pre-treatment*. Berikut adalah tabel hasil perhitungan dosis koagulan:

Tabel 4.2 Hasil Analisa Perhitungan Dosis Optimum Koagulan Pada Proses Pre-Treatment

No.	Koagulan PAC (mg/L)	% Removal TSS
1.	100	50%
2.	120	61%
3.	150	71%
4.	200	78%
5.	250	68%

(sumber : Data Analisa, 2020)

Dari tabel 4.2 diatas, didapatkan hasil penyisihan tertinggi yaitu pada dosis koagulan 200 mg/L dengan persentase removal TSS sebesar 82% dari persentase TSS awal. Untuk itu dosis koagulan yang digunakan pada saat *pre-treatment* adalah 200 mg/L koagulan.

Air limbah yang berasal dari industri tahu mempunyai ciri khas yaitu bersifat asam dan juga mengandung bahan-bahan tersuspensi berupa serat-serat kedelai sisa dari proses produksi tahu. Bahan tersuspensi tersebut tidak bisa larut langsung dengan air maka sebelum penelitian utama dilakukan *pre-treatment* dengan melakukan koagulasi dengan penambahan koagulan berupa polyaluminium chloride atau PAC untuk menurunkan kadar TSS yang terkandung dalam limbah. Hal ini bertujuan agar pada saat proses penelitian utama yaitu *Microbial Fuel Cell* tidak terganggu oleh partikel tersuspensi yang bisa berefek pada proses operasi.

Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil daripada sedimen. Tinggi rendahnya nilai TSS akan berpengaruh terhadap mutu badan air limbah.

4.1.3 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda terhadap *power density* atau produksi listrik yang dihasilkan dari penelitian MFC. Selain itu penelitian ini dilakukan dengan waktu tinggal selama 192 jam dan diambil setiap 48 jam sekali.

Proses penelitian dimulai dengan preparasi elektroda dan preparasi *granular activated carbon*. Elektroda dan GAC direndam dalam HCL selama 1 hari kemudian direndam dalam NaOH selama 1 hari setelah itu dibilas dengan aquades dan disimpan. GAC kemudian di jemur dibawah sinar matahari sampai kering. Setelah itu dilakukan pembuatan jembatan garam dengan pemanasan KCl dan nutrient agar dengan *magnetic stirrer* kemudian dimasukkan kedalam pipa. Setelah itu alat dan bahan dipasang dan dirangkai. Air limbah yang telah dipreparasi dengan *pre-treatment* ditambahkan dengan asam asetat dan dimasukkan kedalam reaktor anoda sebanyak 4 liter, dan larutan $KMnO_4$ sebanyak 4 liter dimasukkan kedalam reaktor katoda. Pengecekan listrik dengan multimeter dilakukan setiap 48 jam sekali selama 192 jam kemudian diambil sampel sebanyak 100 ml setiap reaktor dengan variasi jenis elektroda. Sampel tersebut dianalisis kandungan parameter COD di laboratorium BPKI.

Tabel 4.3 Hasil Analisa Proses Microbial Fuel Cells

Variasi Elektroda	Waktu Tinggal	Kuat Arus (mA)	Tegangan (V)	COD (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
C/Cu	0 jam	0.51	0.26	882.1	14.05	0.7
	48 jam	1.47	0.78	632.8	12.9	0.43
	96 jam	2.72	1.2	390.6	11.6	0.35
	144 jam	3.1	2	308.3	9.8	0.32
	192 jam	1.78	0.8	203.1	8.5	0.3
Cu/Cu	0 jam	0.213	0.26	882.1	14.04	0.71
	48 jam	1.2	0.47	645.9	12.98	0.41
	96 jam	2.5	1.3	390.6	11.87	0.38
	144 jam	1.8	0.6	315.1	10.9	0.37
	192 jam	0.81	0.4	289.5	8.9	0.35
C/C	0 jam	1.06	0.52	882.1	14.05	0.69
	48 jam	3.53	1.3	615.1	11.3	0.38
	96 jam	3.6	2.1	305.8	10.08	0.33
	144 jam	1.8	0.94	215.6	9.2	0.3
	192 jam	1.74	0.65	167.8	8.3	0.29
C/Zn	0 jam	0.109	0.15	882.1	14.04	0.70
	48 jam	0.53	0.35	785.5	13.5	0.47
	96 jam	2.02	0.43	564	12.67	0.43
	144 jam	1.3	0.4	415.6	11.3	0.43
	192 jam	0.182	0.24	303.6	9.8	0.4
Zn/Zn	0 jam	0.102	0.19	882.1	14.06	0.71
	48 jam	0.109	0.2	804	13.87	0.50
	96 jam	0.14	0.24	670.05	12.98	0.45
	144 jam	0.109	0.2	632.9	11.4	0.5
	192 jam	0.108	0.2	567.3	10.8	0.49

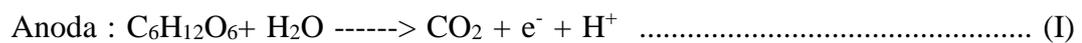
(Sumber: Data Analisa, 2020)

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Tegangan

Pengukuran dilakukan pada setiap 48 jam sekali selama 192 jam. Kompartemen anoda pada sistem MFC ini dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron, sehingga elektron yang dihasilkan oleh mikroba melalui proses

degradasi senyawa organik ditransfer secara langsung ke elektroda tanpa bantuan mediator tambahan. Tegangan dan kuat arus diukur menggunakan Avo-multimeter digital yang dihubungkan dengan penjepit buaya dan kabel pada kedua elektroda. Kutub positif pada multimeter dibungkungkan dengan katoda dan kutub negatif dengan anoda. Kuat arus dan tegangan yang terukur dihasilkan karena adanya perbedaan potensial antara kedua ujung elektroda sehingga terjadi reaksi kimia pada kompartemen anoda dan katoda (Sinaga, Suyati et al., 2015) dengan reaksi berikut:



Tegangan yang terukur pada Avo-multimeter digital pada proses *Microbial Fuel Cell* dengan variasi jenis elektroda dan waktu proses adalah sebagai berikut:

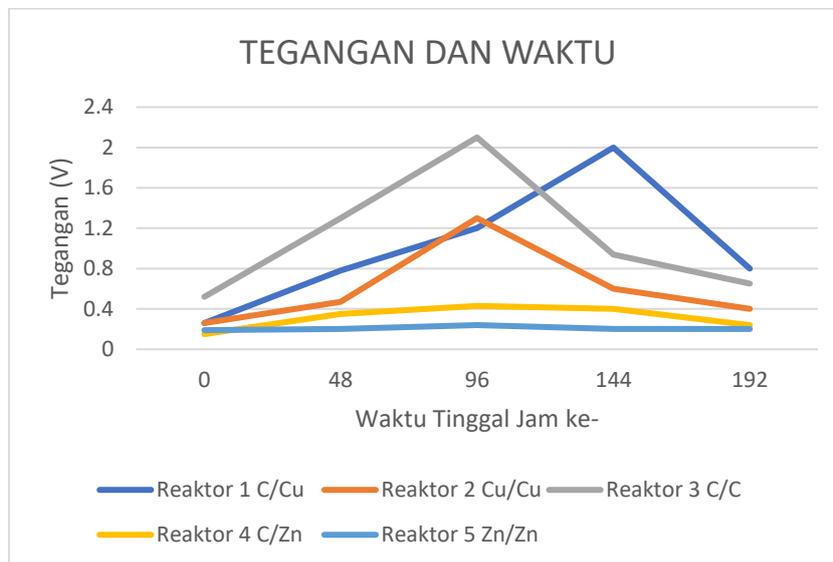
Tabel 4.4 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (Jam) Terhadap Tegangan (V)

Jam	Jenis Elektroda (V)				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	0.26	0.26	0.52	0.15	0.19
48	0.78	0.47	1.3	0.35	0.2
96	1.2	1.3	2.1	0.43	0.24
144	2	0.6	0.94	0.4	0.2
192	0.8	0.4	0.65	0.24	0.2

(Sumber: Data Analisa, 2020)

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai besar tegangan listrik selama proses *running* berkisar antara 0,19 V – 2,1 V. Nilai tegangan listrik terbesar pada reaktor 1 dengan elektroda karbon grafit dan tembaga terjadi pada jam ke-144, yaitu sebesar 2 V. Sedangkan reaktor 2 dengan elektroda tembaga dan tembaga, reaktor 3 dengan elektroda karbon grafit dan karbon grafit, reaktor 4 dengan elektroda karbon grafit dan seng, reaktor 5 dengan elektroda seng dan seng masing-masing reaktor terjadi pada hari jam ke-96, yaitu 1,3 V pada reaktor 2; 2,1 V pada reaktor 3, 0,43 V pada reaktor 4; 0,24 V pada reaktor 5. Hal ini menunjukkan bahwa metabolisme mikoba meningkat tajam karena banyaknya senyawa organik yang dapat dikonsumsi oleh mikroba, sehingga listrik yang dihasilkan meningkat. Nilai

voltase terkecil pada masing masing reaktor terjadi pada jam ke-0 yaitu saat limbah baru dimasukkan kedalam reaktor yaitu, 0,26 V pada reaktor 1, 0,26 V pada reaktor 2; 0,56 V pada reaktor 3; 0,15 V pada reaktor 4; 0,108 V pada reaktor 5.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal (Jam) dengan Tegangan (V) Pada Berbagai Jenis Elektroda

Berdasarkan gambar 4.1 nilai fluktuasi tegangan naik dari jam 0 sampai jam ke-96 kemudian mengalami penurunan pada jam ke-144 sampai jam ke-192 hal ini dikarenakan senyawa organik yang dikonsumsi oleh mikroba membuat metabolisme mikroba meningkat tajam, yang diindikasikan oleh meningkatnya produksi listrik hasil dari metabolisme tersebut. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh semakin habisnya substrat yang dapat dioksidasi oleh mikroorganisme sehingga electron yang dihasilkan semakin sedikit. Pada reaktor 5 kenaikan dan penurunan substrat tidak terlihat dan cenderung fluktuatif, dikarenakan jenis elektroda pada reaktor ini adalah kombinasi antara seng dan seng dimana pada deret volta berada dalam posisi kiri dimana semakin kekiri logam maka semakin mudah melepas electron yang berperan sebagai reduktor, namun pada katoda yang juga memakai bahan Zn maka kedua elektroda ini tidak memiliki oksidator sehingga jika terukur oleh listrik maka arus yang didapatkan sangat kecil. Waktu pengolahan paling optimum dalam pengolahan MFC ini adalah dalam waktu 96 jam.

4.2.2 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Terhadap Kuat Arus

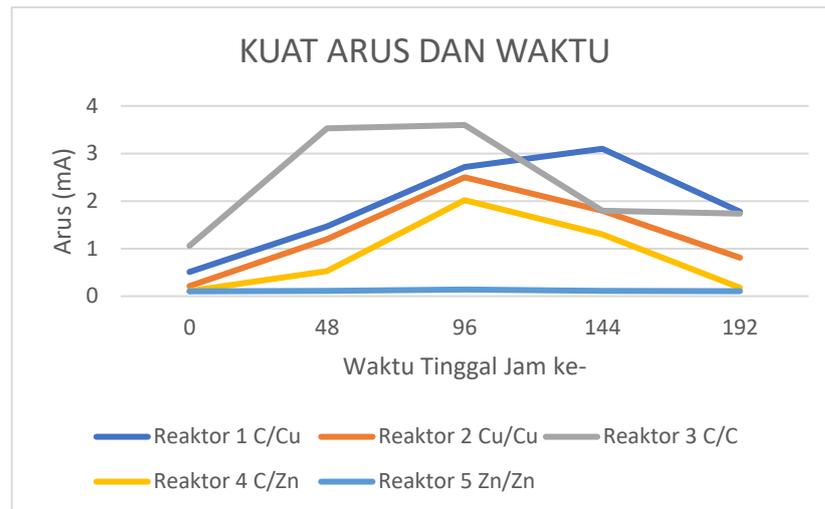
Pengukurat kuat arus dilakukan selama proses penelitian. Pengukuran dilakukan bersamaan dengan pengukuran tegangan menggunakan Avo-multimeter digital. Avo-multimeter saklar diputar kearah probe kuat arus dengan satuan (mA) dan didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 4.5 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (Jam) Terhadap Kuat Arus (mA)

jam	Jenis Elektroda				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	0.51	0.21	1.06	0.11	0.10
48	1.47	1.20	3.53	0.53	0.11
96	2.72	2.50	3.60	2.02	0.14
144	3.10	1.80	1.80	1.30	0.11
192	1.78	0.81	1.74	0.18	0.11

(Sumber: Data Analisa, 2020)

Nilai kuat arus berkisar antara 0,10 mA – 3,6 mA dengan nilai kuat arus terbesar pada reaktor 1 dengan elektroda tembaga dan tembaga yaitu sebesar 3,1 mA pada jam ke-144. Pada reaktor 2, reaktor 3, reaktor 4, reaktor 5 kuat arus terbesar masing-masing terjadi pada jam ke-96 yaitu, 2,5 mA pada reaktor 2; 3,6 pada reaktor 3; 2,02 pada reaktor 4; 0,14 pada reaktor 5. Nilai kuat arus terkecil pada setiap reaktor terjadi pada jam yang sama yaitu pada jam ke-0 yaitu sebesar 0,51 mA pada reaktor 1; 0,21 pada reaktor 2; reaktor 3 sebesar 1,06 mA; pada reaktor 4 sebesar 0,11 mA; dan pada reaktor 5 sebesar 0,10 mA. Lebih jelasnya fluktuasi voltase dan kuat arus selama pengujian, dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal (Jam) Dengan Kuat Arus (mA) Pada Berbagai Jenis Elektroda

Dapat dilihat dari gambar 4.2 bahwa pada jam ke-0 reaktor menghasilkan besar kuat arus, hal ini dikarenakan air limbah tahu dan penambahan asam asetat yang melalui kontak dengan elektroda karbon grafit, tembaga maupun seng menghasilkan elektron yang menempel pada elektroda kemudian akan mengalir melalui sirkuit eksternal menuju ke katoda yang berisi larutan elektrolit, dan bertemu proton sehingga terukur menjadi arus listrik yang diukur menggunakan multimeter digital (Estuning, 2015). Hal ini juga menunjukkan bahwa pada jam ke-0 aktivitas mikroorganisme belum terlalu berperan. Jam ke-48 hingga jam ke-96 tegangan dan arus listrik yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas dari mikroorganisme mulai berperan dalam menguraikan bahan organik. Lamanya waktu tinggal dalam reaktor juga berpengaruh dalam menghasilkan besarnya tegangan dan kuat arus listrik. Semakin lama waktu tinggal maka semakin lama mikroorganisme yang kontak dengan air limbah tahu dan proses pendegradasian bahan organik akan lebih besar. Pada jam ke-96 hingga jam ke-192 arus listrik mengalami penurunan. Penurunan diakibatkan oleh hambatan-hambatan yang ada dalam prosesnya. Hal ini bisa terjadi akibat dari kurangnya sumber karbon yang digunakan oleh mikroorganisme dalam menghasilkan elektron (Widodo, 2019). Sumber karbon telah habis didegradasi oleh bakteri pada jam ke-0 sampai dengan jam ke-96. Menurut Wijayanti, et al

(2015), korosi dari elektroda, kabel, jepit buaya pada rangkaian listrik termasuk juga faktor dari penghambat timbulnya arus listrik.

4.2.3 Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap *Power Density* yang Dihasilkan MFC

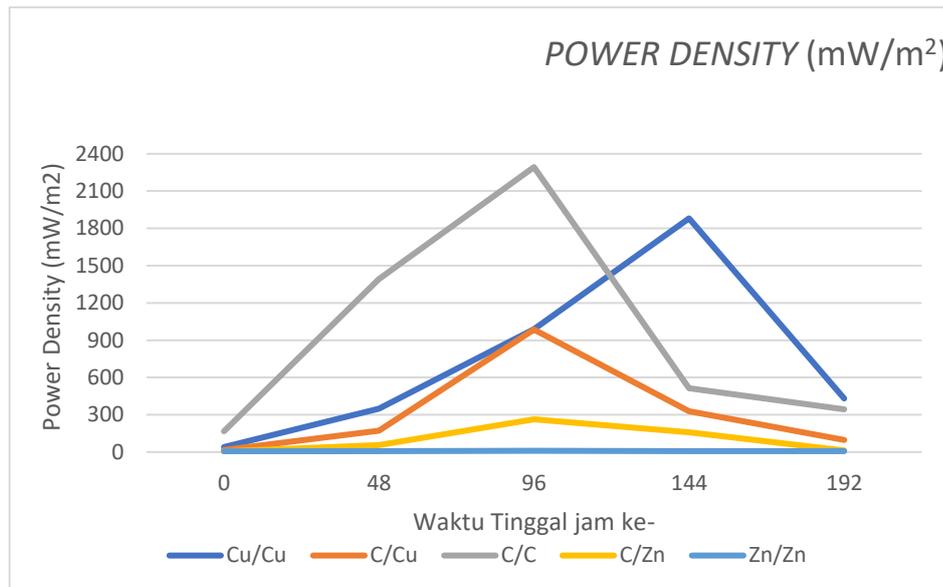
Produksi energi listrik oleh MFC dilihat berdasarkan pengukuran kuat arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh masing-masing reaktor. Kuat arus dan tegangan listrik tersebut berasal dari aktivitas bakteri dalam kompartemen anoda yang menghasilkan elektron yang terukur dengan menggunakan multimeter digital. Hasil angka dari kuat arus dan tegangan listrik tersebut kemudian dikalikan, kemudian dibagi dengan luas permukaan tiap elektroda hingga diperoleh nilai berupa *power density*.

Selain itu dilakukan uji nyala lampu untuk membuktikan adanya produksi energi listrik. Reaktor MFC terbukti dapat menyalakan sebuah lampu led 1,5 V pada reaktor 3 yaitu dengan elektroda C/C.

Tabel 4.6 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (jam) terhadap *Power Density* (mW/m^2)

Jam	Jenis Elektroda				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	40.22	16.80	167.18	4.96	5.88
48	347.77	171.06	1391.87	56.26	6.61
96	989.99	985.74	2292.99	263.45	10.19
144	1880.50	327.57	513.19	157.72	6.61
192	431.91	98.27	343.04	13.25	6.55

(Sumber: Hasil Analisa, 2020)



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal (Jam) dengan Power Density (mW/m^2) Pada Berbagai Jenis Elektroda

Dapat dilihat bahwa pada gambar 4.3 *power density* maksimum diperoleh pada jam ke-96 pada reaktor 3 dengan elektroda pada anoda adalah berbahan karbon grafit dan elektroda pada katoda juga berbahan karbon grafit yaitu sebesar $2292,99 \text{ mW}/\text{m}^2$. *Power density* terendah paling kecil diperoleh sebesar $4,96 \text{ mW}/\text{m}^2$ pada reaktor 4 jam ke-0 yaitu dengan elektroda anoda berbahan karbon grafit dan katoda berbahan seng (Zn). Material elektroda secara umum adalah kertas karbon, kain karbon, sikat karbon, dan karbon grafit. Namun pada umumnya juga material yang biasa dipakai untuk anoda juga dapat digunakan dan diaplikasikan sebagai elektroda pada katoda. Material elektroda dapat mempengaruhi struktur serta pembentukan biofilm dalam mentransfer elektron (Widodo, 2019). Elektroda grafit, tembaga, seng, dan adanya *granular activated carbon* (GAC) dalam kompartemen anoda berperan sebagai media lekat organisme untuk membentuk biofilm. Karbon juga sering digunakan sebagai elektroda karena konduktivitasnya yang baik, tidak mengalami korosi dan cocok untuk pertumbuhan mikroba (Estuning, 2015).

Pada reaktor 1 dengan elektoda karbon grafit dan tembaga, diperoleh *power density* sebesar $40,22 \text{ mW}/\text{m}^2$ pada jam ke-0 kemudian mengalami kenaikan *power density* sampai jam ke-144 yaitu sebesar $1880,50 \text{ mW}/\text{m}^2$. *Power density*

maksimum yang dihasilkan pada reaktor 1 dengan elektroda karbon grafit dan tembaga dapat dilihat dari gambar 4.3 yaitu terletak pada posisi kedua. Pada reaktor 2 dengan anoda tembaga (Cu) dan katoda tembaga (Cu) memperoleh *power density* pada jam ke-0 sebesar 16,80 mW/m² dan terjadi peningkatan sampai jam ke-96 sebesar 985,74 mW/m². Reaktor 3 dengan elektroda pada anoda karbon grafit dan katoda karbon memperoleh *power density* sebesar 167,18 mW/m² pada jam ke-0 kemudian terjadi peningkatan sampai jam ke-96 yaitu sebesar 2292,99 mW/m². *Power density* maksimum yang dihasilkan pada reaktor 3 memperoleh posisi pertama pada gambar 4.3. Pada reaktor 4 dengan anoda karbon grafit dan katoda seng (Zn) memperoleh *power density* pada jam ke-0 sebesar 4,96 mW/m² kemudian mengalami peningkatan hingga jam ke-96 yaitu sebesar 263,45 mW/m². Reaktor 5 dengan elektroda anoda berbahan seng (Zn) dan katoda berbahan seng (Zn) memperoleh *power density* sebesar 5,88 mW/m² pada jam ke-0, kemudian mengalami peningkatan hingga jam ke-96 sebesar 10,19 mW/m². Peningkatan *power density* menunjukkan mikroba sedang berada pada fase eksponensial. Pada fase ini, sel mikroba membelah dengan cepat dan konstan. Jumlah sel dari bakteri yang terus bertambah memungkinkan jumlah proton dan elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme semakin banyak sehingga kuat arus dan tegangan yang dihasilkanpun juga semakin besar (Utami et al, 2017). Pada penelitian ini dibuktikan bahwa penggunaan media GAC meningkatkan *power density* sebesar 50 mW/m². Peningkatan *power density* belum terlalu efisien pada penelitian ini dikarenakan penggunaan media GAC sebagai media perlekatan bakteri semakin lamanya waktu pengolahan akan terdapat biofilm yang dapat meningkatkan hambatan pada anoda. Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, jumlah elektron yang dapat ditransfer ke elektroda akan sedikit hingga terjadi penurunan listrik. Media lekat lain yang bisa digunakan adalah media lekat kerikil, bioball sebagai media lekat mikroorganisme dimana mikroorganisme akan menguraikan senyawa organik menjadi elektron CO₂ dan proton yang kemudian membentuk biofilm yang menempel pada media. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya media lekat berpengaruh signifikan terhadap listrik yang dihasilkan. Energi listrik yang terbesar sebesar 179,54 mWh dengan

penambahan media kerikil. Hal ini dikarenakan kerikil memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan media bioball (Purwono, 2015). Permukaan media yang lebar dan kasar mempromosikan kolonisasi bakteri dalam pertumbuhan biofilm.

Penggunaan media GAC dapat meningkatkan produksi elektron yang dibuktikan pada penelitian Jiang, (2009) bahwa penggunaan GAC meningkatkan *power density* sebesar $7,2 \text{ W/m}^3$ dibandingkan dengan reaktor tanpa GAC. Elektron yang dihasilkan dari mikroorganisme pada elektroda akan langsung ditransfer menuju katoda, elektron yang dihasilkan pada media akan dikumpulkan sebelum ditransfer menuju ke elektroda. Elektroda dan GAC yang terhubung akan menghasilkan elektron dari dua multi anoda dan keluaran listrik yang lebih banyak.

Selanjutnya terjadi penurunan *power density* pada reaktor 1 hingga diperoleh sebesar $431,91 \text{ mW/m}^2$ pada jam ke-192. Reaktor 2 juga terjadi penurunan sebesar $98,27 \text{ mW/m}^2$ hingga jam ke-192. Pada reaktor 3 terjadi penurunan hingga jam ke-192 sebesar $343,04 \text{ mW/m}^2$. Reaktor 4 terjadi penurunan hingga jam ke-192 sebesar $13,25 \text{ mW/m}^2$. Reaktor 5 juga mengalami penurunan pada jam berikutnya hingga jam ke-192 sebesar $6,55 \text{ mW/m}^2$. *Power density* dihasilkan dari proses degradasi senyawa organik yang ada pada limbah maupun yang ada pada biofilm di media GAC dan elektroda. Proses degradasi akan menguraikan senyawa organik menjadi electron, proton dan CO_2 (Utami, 2018). Elektron yang dihasilkan dari proses degradasi organik oleh mikroorganisme yang menempel pada elektroda akan langsung ditransfer menuju katoda melalui sirkuit eksternal. Berkurangnya jumlah sumber karbon yang tersedia seperti asam asetat dan glukosa dapat mengurangi produksi listrik. Adanya aktivitas metabolisme bakteri mengakibatkan formasi pelekatan yang kuat dalam pembentukan biofilm pada permukaan elektroda dan media GAC. Menurut Estuing (2015) biofilm dapat menghasilkan arus ketika ketebalan biofilm pada tingkat menengah, tidak terlalu tebal dan tipis. Jika biofilm terlalu tebal akibatnya jumlah elektron yang akan ditransfer ke elektroda terhambat sehingga arus listrik yang dihasilkan rendah. Adanya biofilm pada elektroda akan mempengaruhi *power density* yang dihasilkan pada MFC. Selain itu juga dapat disebabkan oleh kondisi jembatan garam yang

mulai jenuh. Menurunkan kinerja jembatan garam yang fungsinya untuk menyebrangkan H^+ dan proton yang dihasilkan pada kompartemen anoda ke kompartemen katoda menyebabkan penurunan *power density* yang dihasilkan (Septyana et al, 2014).

Perbedaan nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan bisa disebabkan oleh variasi bahan elektroda. Pada penelitian (Immanah, 2013) elektroda yang digunakan berbentuk silinder dan menggunakan pasangan elektroda Cu-Fe, Cu-Pb, Al-Kuningan, Cu-Al, Cu-kuningan didapatkan hasil *power density* maksimum pada elektroda Cu-Fe. Hal itu dikarenakan berdasarkan pada urutan deret volta. Dalam penelian ini didapatkan hasil bahwa variasi elektroda terbaik dimana menghasilkan *power density* paling maksimal yaitu pada anoda karbon grafit dan katoda karbon grafit. Karna karbon grafit merupakan golongan non logam yang berasal dari alotrip karbon yang memiliki nilai potensial standar yaitu -1,59. Nilai potensial standar yang tinggi pada karbon grafit menyebabkan elektroda ini tahan terhadap korosi dan sifat asam basa (Ibrahim, 2017). Variasi Zn dan Zn merupakan variasi paling rendah dikarenakan Zn dalam deret sel volta berada dalam posisi kiri dimana semakin kekiri logam maka semakin mudah melepas electron yang berperan sebagai reduktor, namun pada katoda yang juga memakai bahan Zn maka kedua elektroda ini tidak memiliki oksidator sehingga jika terukur oleh listrik maka arus yang didapatkan sangat kecil. Variasi anoda karbon grafit dan katoda tembaga (Cu) menghasilkan produksi listrik yang lebih besar dibandingkan variasi elektroda anoda karbon grafit dan katoda seng (Zn) dikarenakan tembaga memiliki nilai potensial standar +0,34, sedangkan seng memiliki nilai potensial standar -0,76. Berdasarkan perbedaan nilai tersebut, tembaga memiliki sifat kurang reaktif yang dimana sifat tersebut dibutuhkan pada katoda karena sebagai akseptor dari electron yang mudah tereduksi. Dimana karbon grafit pada anoda berperan sebagai reduktor dan katoda berbahan tembaga berperan sebagai oksidator. Semakin kekanan kedudukan suatu logam dalam dedret volta maka semakin susah untuk melepas elekron dan merupakan oksidator yang kuat. Sebaliknya, Semakin ke kiri kedudukan suatu logam maka semakin mudah untuk melepas eletronnya dan merupakan reduktor yang kuat (Ibrahim, 2017).

4.2.4 Penyisihan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

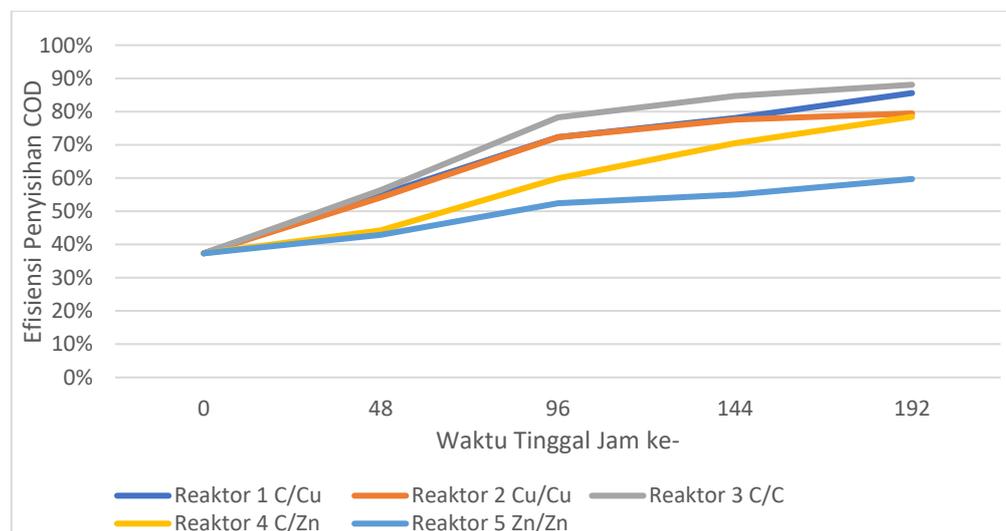
Selama proses *running* berlangsung, reaktor dapat menyisihkan konsentrasi COD yang terkandung dalam air limbah. Hasil penurunan COD pada tahap ini dilihat berdasarkan efisiensi penyisihan COD dengan influent yang sama.

Konsentrasi COD influent merupakan konsentrasi COD pada saat uji awal yaitu sebesar 1408 mg/L dan akan digunakan dalam proses *running* yang berlangsung selama 192 jam. Pengukuran konsentrasi COD effluent selama tahap *running* dilakukan setiap 48 jam sekali. Berikut ini merupakan efisiensi penyisihan konsentrasi COD selama proses *running*

Tabel 4.7 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (Jam) Terhadap Efisiensi Penyisihan COD (%)

Jam	Jenis Elektroda				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	37%	37%	37%	37%	37%
48	55%	54%	56%	44%	43%
96	72%	72%	78%	60%	52%
144	78%	78%	85%	70%	55%
192	86%	79%	88%	78%	60%

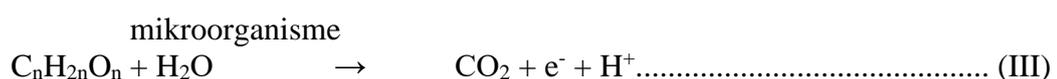
(sumber: *Data Analisa*, 2020)



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal (jam) Dengan Efisiensi Penyisihan COD (%) Pada Berbagai Jenis Elektroda

Sebelum dilakukan proses *pre-treatment*, kadar COD pada limbah cair industri tahu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Hasil uji diperoleh kadar COD sebelum *pre-treatment* yaitu sebesar 1408 mg/L. Efisiensi terbesar diperoleh pada reaktor Reaktor 3 dimana menunjukkan angka efisiensi penyisihan COD sebesar 88%. Efisiensi penyisihan COD terkecil diperoleh pada reaktor 5 dengan efisiensi penyisihan COD akhir sebesar 60%. MFC dengan variasi jenis elektroda mengalami penurunan kadar COD air limbah. Pada reaktor 1 dengan variasi anoda karbon grafit dan katoda tembaga diperoleh penyisihan COD sebesar 86% dengan kadar COD akhir sebesar 203,10 mg/L. Pada reaktor 2 dengan variasi anoda tembaga dan katoda tembaga diperoleh penyisihan COD sebesar 79% dengan kadar COD akhir sebesar 289,50 mg/L. Pada reaktor 3 dengan variasi anoda karbon dan katoda karbon, kadar COD akhir sebesar 167,80 mg/L dengan efisiensi penyisihan 88%. Reaktor 4 dengan anoda karbon grafit dan katoda seng diperoleh kadar COD akhir sebesar 303,60 mg/L dengan efisiensi penyisihan 78%. Reaktor 5 dengan variasi anoda seng dan katoda seng diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 60% dengan kadar COD akhir sebesar 576 mg/L. Pada reaktor 1, 2 dan 3 didapatkan hasil akhir COD yang telah sesuai dengan baku mutu limbah menurut yaitu sebesar 300 mg/L. Pada reaktor 4, dan 5 hasil akhir kadar COD belum sesuai dengan baku mutu limbah cair maka dari itu perlu pengolahan lebih lanjut agar sesuai dengan baku mutu limbah.

Analisa kinerja penurunan COD yang digambarkan dengan efisiensi penyisihan COD menunjukkan bahwa semakin bertambahnya waktu pengolahan efisiensi penyisihan COD semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya kontak limbah dengan mikroorganisme tersuspensi dalam air maupun mikroorganisme yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat menguraikan zat organik pada kompartemen anoda (Said, 2017).



Mikroorganisme yang ada pada limbah akan mengoksidasi molekul biodregadabel seperti asetat untuk menghasilkan electron, proton dan CO₂. Hasil dari proses tersebut adalah timbulnya biomassa atau biofilm. Mikroorganisme ini

akan membentuk biofilm pada permukaan elektroda dan GAC sebagai media lekat. Mikroorganisme yang ada pada biofilm akan mendegradasi bahan organik yang ada dalam air limbah. Senyawa polutan yang ada pada air limbah seperti COD akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan elektroda dan GAC sebagai media lekat. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut dalam air limbah, COD tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm (Said, 2017).

Penurunan kadar COD juga bisa disebabkan adanya kontak antara limbah dan mikroba. Apabila jumlah limbah semakin banyak, maka suplai oksigen dalam air limbah pun mengalami peningkatan. Meningkatnya jumlah oksigen tersebut seiring dengan meningkatnya jumlah mikroba, sehingga kadar toxic air limbah akan mengalami penurunan begitu pula dengan kadar COD nya. Larutan elektrolit pada kompartemen katoda yaitu KMnO_4 juga dapat mempengaruhi terjadinya penurunan kadar COD dalam air limbah karena KMnO_4 termasuk oksidator yang kuat.

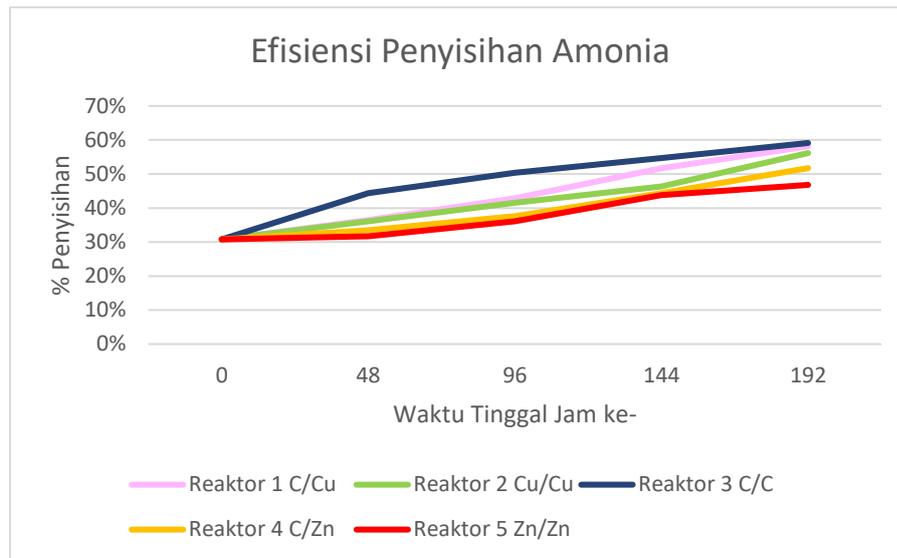
4.2.5 Penyisihan kadar Ammonia dan Fosfat

Hasil uji total ammonia menunjukkan adanya penurunan kadar ammonia dari menjadi selama 192 jam running.

Tabel 4.8 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (Jam) Terhadap Efisiensi Penyisihan Amonia

Jam	Jenis Elektroda				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	31%	31%	31%	31%	31%
48	36%	36%	44%	33%	32%
96	43%	42%	50%	38%	36%
144	52%	46%	55%	44%	44%
192	58%	56%	59%	52%	47%

(Sumber: Data Analisa, 2020)



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal dengan Penyisihan Amonia Pada Berbagai Jenis Elektroda

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa penurunan efisiensi terbesar terjadi pada reaktor 3 dengan anoda karbon dan katoda karbon yaitu sebesar 59%. Sedangkan penurunan terkecil terjadi pada reaktor 5 dimana efisiensi penurunannya sebesar 47%. Adanya kontak limbah dengan mikroorganisme tersuspensi dalam air maupun mikroorganisme yang menempel pada elektroda dan media mengakibatkan zat organik akan terurai dan juga akan mempercepat proses denitrifikasi. Proses dari metabolisme mikroorganisme akan menghasilkan biomassa dan akan terbentuk biofilm yaitu kumpulan mikroba yang melekat secara bertahap pada permukaan pembawa atau media. Mikroorganisme yang tumbuh pada biofilm tersebut akan mendegradasi senyawa organik yang ada pada air limbah. Senyawa organik seperti ammonia dan fosfat akan terdegradasi pada proses anaerobik, dimana degradasi senyawa ammonia akan dirubah menjadi menjadi nitrat. Senyawa nitrat yang terbentuk akan diubah kedalam bentuk nitrit yang kemudian dilepaskan menjadi gas nitrogen (N_2). Proses tersebut dinamakan menjadi proses denitrifikasi (Said, 2017).



Pengurangan kadar ammonia dalam limbah ini juga bisa disebabkan oleh tahap pembentukan biomassa pada pengolahan anaerob dimana substrat organik yang

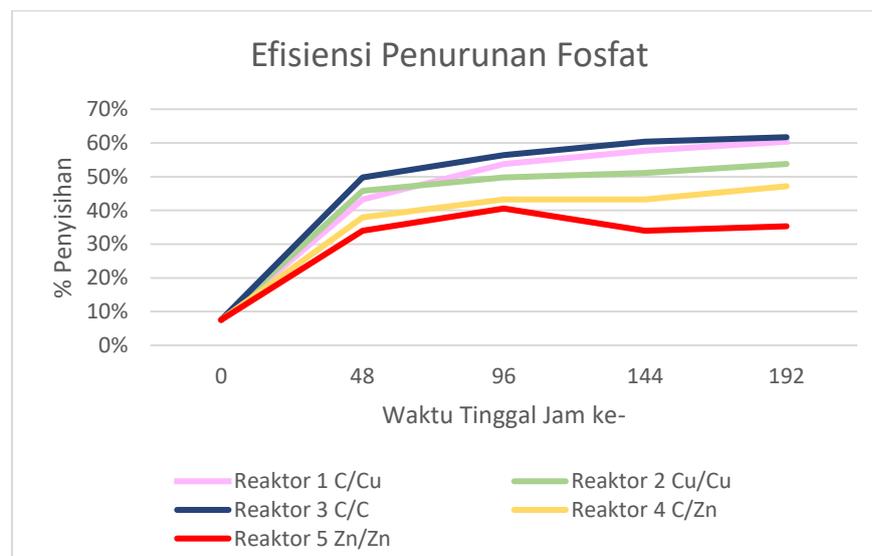
berbentuk lemak, protein dan polisakarida akan melalui tahap hidrolisis menjadi asam amino kemudian dirubah menjadi asam asetat, alcohol, ammonia, hidrogen, air pada tahap pembentukan asam kemudian menjadi metan, karbon dioksida dan air pada tahap pembentukan gas metan.

Pada penelitian ini juga terjadi penurunan fosfat pada air limbah tahu dengan proses *Microbial Fuel Cells*

Tabel 4.9 Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal (Jam) Terhadap Efisiensi Penyisihan Fosfat

Jam	Jenis Elektroda				
	Reaktor 1 C/Cu	Reaktor 2 Cu/Cu	Reaktor 3 C/C	Reaktor 4 C/Zn	Reaktor 5 Zn/Zn
0	8%	8%	8%	8%	8%
48	43%	46%	50%	34%	34%
96	54%	50%	56%	38%	41%
144	58%	51%	60%	43%	34%
192	60%	54%	62%	47%	35%

(Sumber: Data Analisa,2020)



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Waktu Tinggal Dengan Efisiensi Penyisihan Fosfat Pada Berbagai Jenis Elektroda

Pada grafik tersebut menunjukkan adanya peningkatan efisiensi penyisihan fosfat pada tiap jamnya. Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh efisiensi degradasi fosfat pada masing-masing reaktor secara berurut

yakni 60% pada reaktor 1 ; 54% pada reaktor 2; 62% pada reaktor 3; 47% pada reaktor 4; dan 35% pada reaktor 5 pada jam ke-192 konsentrasi fosfat lebih kecil dibandingkan pengukuran hari pertama. Proses dari *microbial fuel cell* ini yang memanfaatkan kemampuan metabolisme bakteri akan menghasilkan biomassa yang akan menempel pada elektroda dan media lekat. Said, (2017) mengatakan bahwa, pertumbuhan biomassa di MFC akan menyerap nitrogen dan fosfat yang ada pada air limbah pada kompartemen anoda. Selama proses anaerob, senyawa fosfat anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat dari hidrolisis fosfat. Sehingga secara perlahan fosfat akan terdegradasi akibat dari proses hidrolisis dari bahan organik oleh mikroorganisme tersuspensi yang ada pada air limbah maupun mikroorganisme yang ada pada biofilm yang melekat pada elektroda dan media GAC. Hal ini turut memberi pengaruh pada besaran listrik yang dihasilkan karena semakin banyak mikroorganisme yang ada disekitar elektroda maka mikroorganisme tersebut akan menempel pada elektroda tembaga, seng dan karbon grafit sehingga menghasilkan elektron dalam jumlah yang besar.