

Perancangan Sistem dan Optimasi Parameter Operasi pada Unit Pengolahan Limbah Air Pit Besar TPS B3 dengan Metode Modifikasi Elektrolisis

Aqshal Yanu Pratama^{1*}, Isnanda Nuriskasari¹, Bambang Irawan²

¹Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Abstrak

Kebutuhan air bersih untuk menunjang dan menjaga keseimbangan ekosistem di wilayah sekitar Bontang menjadi perhatian PT Badak NGL dalam pengolahan limbah air. Pit Besar TPS B3 merupakan tempat penampungan limbah air yang berasal dari cucian vessel IC-2 (CO₂ absorber) dan IC-5 (amine regenerator), dimana air limbah tersebut mengandung kadar aMDEA sehingga memiliki konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) yang cukup tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan unit Mini Waste Water Treatment Plant dengan metode modifikasi elektrolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter operasi yang optimum pada proses pengolahan limbah air Pit Besar TPS B3 PT Badak NGL dengan metode modifikasi elektrolisis pada skala laboratorium untuk menurunkan konsentrasi COD yang memenuhi standar safety process dan mendapatkan hasil uji kinerja unit Mini Waste Water Treatment Plant. Metode modifikasi elektrolisis yang digunakan pada pengolahan air limbah dalam penelitian ini adalah pre-treatment air limbah dengan menggunakan saringan 325 mesh, dilanjutkan dengan proses ozonisasi, kemudian proses elektrolisis, dan filtrasi menggunakan variasi activated carbon. Kondisi optimum yang diperoleh mampu menurunkan nilai COD hingga 98,99%. Hasil uji kinerja unit Mini WWTP dengan metode modifikasi elektrolisis telah memenuhi syarat keberterimaan presisi dan akurasi.

Kata Kunci: limbah air, COD, elektrolisis, ozonisasi, elektrode, filter

Abstract

The need for clean water to support and maintain the balance of the ecosystem in the area around Bontang is a concern for PT Badak NGL in wastewater treatment. The Big Pit of TPS B3 is a place to collect waste water from vessel washing IC-2 (CO₂ absorber) and IC-5 (amine regenerator), where the wastewater contains levels of aMDEA so that it has a fairly high concentration of Chemical Oxygen Demand (COD). Therefore, in this study, the design of a Mini Waste Water Treatment Plant unit was carried out with the modified electrolysis method. This study aims to obtain the optimum operating parameters for the wastewater treatment process of PT Badak NGL's Big Pit TPS B3 with modified electrolysis methods on a laboratory scale to reduce the COD concentration that meets the safety process standards and obtain the performance test results of the Mini Waste Water Treatment Plant unit. The modified electrolysis method used in wastewater treatment in this study is wastewater pre-treatment using a 325 mesh filter, followed by an ozonation process, then an electrolysis process, and filtration using a variation of activated carbon. The optimum conditions obtained were able to reduce the COD value up to 98.99%. The results of the performance test of the Mini WWTP unit with the modified electrolysis method have met the acceptance requirements of precision and accuracy.

Keywords: wastewater, COD, electrolysis, ozonation, filter

* Corresponding author E-mail address: aqshalpratama6@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT Badak NGL menjadi salah satu produsen limbah air yang cukup besar. Kebutuhan air bersih untuk menunjang dan menjaga keseimbangan ekosistem di wilayah sekitar Bontang menjadi perhatian PT Badak NGL dalam pengolahan limbah air. Air limbah domestik jika tidak diolah terlebih dahulu dan langsung dibuang ke lingkungan dapat menimbulkan dampak pencemaran, menurunnya derajat kesehatan, dan meningkatnya biaya pengolahan air minum.

Proses produksi LNG pada Badak LNG secara konsisten selalu memperhatikan aspek *safety, health, dan environment*. Badak LNG selalu mencoba melakukan tindakan pencegahan agar tidak terjadi pencemaran lingkungan. Salah satu plant yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengolah limbah air adalah Plant 34 (*Sewers and Sewage Treatment*). Limbah air yang dihasilkan selama proses produksi berlangsung ada yang dialirkan langsung menuju Plant – 34 dan ada yang ditampung di Pit Besar TPS B3 Area 9. Pit besar merupakan tempat penampungan limbah air yang umumnya berasal dari cucian *vessel* 1C – 2 dan 1C – 5 dengan ukuran 1.200 m³. Jumlah limbah air yang dikirimkan ke pit bertambah setiap harinya, sehingga setiap tiga bulan sekali, limbah air pit besar dikirimkan ke pihak ketiga (PPLI Bontang) untuk diolah lebih lanjut karena PT Badak NGL tidak memiliki wewenang untuk mengolah limbah air tersebut. Pengiriman yang dilakukan membutuhkan biaya sebesar Rp 5.500.000,00/ton. Hal ini menjadi fokus permasalahan dan tantangan bagi *Laboratory and Environment Control Section* Badak LNG untuk mengurangi anggaran perusahaan dalam mengolah limbah air pit besar.

Limbah Pit Besar yang dialirkan menuju Plant – 34 tidak memenuhi spesifikasi *inlet* sehingga perlu adanya perlakuan terlebih dahulu. Limbah air ini mengandung senyawa aMDEA yang stabil sehingga sulit didegradasi. Kandungan aMDEA inilah yang menyebabkan limbah air Pit Besar memiliki nilai COD yang tinggi sehingga tidak memenuhi baku mutu air yang dapat dibuang ke perairan bebas [1].

Elektrolisis menjadi salah satu opsi metode pengolahan air limbah karena selama proses elektrokimia berlangsung tidak menggunakan bahan kimia, sehingga tidak perlu dilakukan penetralan terhadap pemakaian bahan kimia berlebih (*excess chemical*) [2]. Penggunaan elektrode aluminium (Al) atau besi (Fe) dan platina (Pt) atau tembaga (Cu) sebagai anode dan katode dapat menurunkan nilai COD dan BOD hingga 94,01% dan 97,3% [3]. Metode modifikasi elektrolisis yang digunakan pada pengolahan air limbah dalam penelitian ini adalah *pre-treatment* air limbah dengan menggunakan saringan 325 *mesh*, dilanjutkan dengan proses ozonisasi, kemudian proses elektrolisis, dan filtrasi menggunakan variasi *activated carbon* [4].

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan desain proses, pemilihan material, dan optimasi parameter operasi unit pengolahan limbah air Pit besar untuk mendapatkan nilai *capital* dan *operating expenditure* yang efisien. Parameter yang divariasikan meliputi konfigurasi pelat elektrode, *optimum time* proses elektrolisis, kuat arus DC, *optimum time* ozonisasi, dan jumlah O₃.

Tujuan

1. Mendapatkan rancangan desain unit *Mini Waste Water Treatment Plant* dengan metode modifikasi elektrolisis –untuk menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* limbah air Pit Besar TPS B3 PT Badak NGL.
2. Mendapatkan parameter operasi yang optimum pada proses elektrolisis dan ozonisasi *Mini Waste Water Treatment Plant* Pit Besar TPS B3 PT Badak NGL dengan metode modifikasi elektrolisis skala laboratorium untuk menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* yang memenuhi standar safety process.
3. Mendapatkan hasil uji kinerja unit *Mini Waste Water Treatment Plant* dengan metode modifikasi elektrolisis pada proses pengolahan limbah air Pit Besar TPS B3 PT Badak NGL.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian tugas akhir ini, terdapat metode penelitian yang telah disusun melalui beberapa tahapan. Metode penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan setiap prosesnya dan dapat memudahkan dalam menilai sudah sejauh mana penelitian ini berlangsung. Metode penelitian dijelaskan dalam langkah kerja sebagai berikut:

Penjelasan Langkah Kerja

Tahapan penelitian tugas akhir ini diawali dengan penentuan beberapa studi literatur yang akan dijadikan referensi dan acuan dalam perancangan desain proses unit Mini WWTP. Perancangan proses diartikan sebagai penyusunan jenis proses yang akan digunakan berdasarkan hasil studi literatur hingga pembuatan diagram alir proses (*process flow diagram*) yang nantinya akan digunakan pada sistem atau unit pengolahan air limbah menggunakan metode modifikasi elektrolisis.

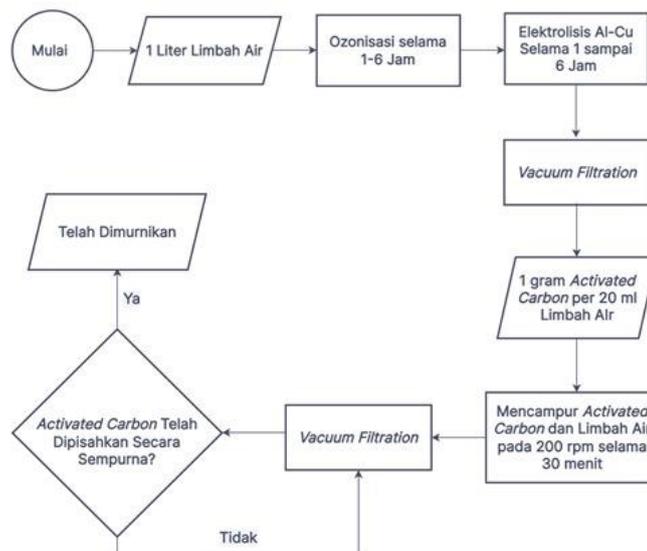
Perancangan proses diawali dengan dilaksanakannya eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Eksperimen ini ditujukan untuk penentuan parameter desain proses yang optimum pada unit WWTP. Eksperimen dilakukan dengan dengan lima faktor terkontrol, yakni: konfigurasi elektrode, kuat arus DC, *optimum time* elektrolisis, jumlah ozon, dan *optimum time* ozonisasi. Tahapan dalam pengujian ini meliputi:

- 1) Pengambilan limbah air yang berada pada pit besar TPS B3 PT Badak NGL.

Tahapan-tahapan proses elektrolisis (tanpa modifikasi)

- Bahan:
 - ✓ Limbah air
 - ✓ *Activated Carbon*
- Alat:
 - ✓ Gelas ukur 500 mL
 - ✓ Elektrode (Al/Fe – C)
 - ✓ *Rectifier* DC
 - ✓ Kertas Saring
 - ✓ Capit Buaya
 - ✓ Pengaduk
 - ✓ *Ozone Generator* (modifikasi)

Gambar 2 menunjukkan skema proses elektrolisis (modifikasi)



Gambar 1. Skema Proses Modifikasi Elektrolisis

- 2) Pemilihan perlengkapan yang akan digunakan untuk melakukan percobaan elektrolisis skala laboratorium.
- 3) Penyusunan rangkaian modifikasi elektrolisis skala laboratorium.
- 4) Memasukan limbah air ke dalam suatu wadah.
- 5) Limbah air dilewatkan pada saringan awal (325 mesh) yang berfungsi sebagai *pre-filter*.
- 6) Melakukan ozonisasi terhadap limbah dengan tujuan untuk mendegradasi senyawa organik selain MDEA.
- 7) Kemudian limbah air dielektrolisis selama kurun waktu tertentu, sampai terbentuk endapan dan flok yang terdispersi. Proses ini bertujuan untuk memutus ikatan rantai MDEA yang stabil sehingga menjadi senyawa anorganik.
- 8) Memastikan proses aerasi saat ozonisasi tersirkulasi dengan baik.
- 9) Menganalisis kandungan nilai COD hasil ozonisasi yang dilakukan selama 1-6 jam.

- 10) Memastikan reaksi yang terjadi di elektrode sesuai dengan reaksi kimia reduksi – oksidasi sel elektrolisis.
- 11) Mengulangi proses elektrolisis dengan memvariasikan konfigurasi pelat elektrode, *optimum time* proses elektrolisis, kuat arus DC, *optimum time* ozonisasi, dan jumlah O₃.
- 12) Analisis kandungan (fisika dan kimia) limbah air hasil elektrolisis yang dilakukan selama 1-6 jam.

Setelah dilakukan eksperimen, akan didapatkan output/ faktor tak terkontrol yang berupa nilai *Chemical Oxygen Demand*. Keseluruhan data (faktor terkontrol dan tidak terkontrol) lalu dianalisis secara statistik. Dari hasil analisis, maka akan didapatkan desain parameter yang optimum untuk unit WWTP. Selama proses eksperimen berlangsung, proses fabrikasi unit Mini WWTP dirancang dan difabrikasi yang apabila proses fabrikasi telah selesai, dapat dilakukan validasi uji terhadap kinerja unit tersebut dengan hasil yang dilakukan selama eksperimen. Setelah fabrikasi alat selesai, dilakukan eksperimen menggunakan variabel proses yang sebelumnya sudah ditentukan melalui eksperimen skala laboratorium. Eksperimen ini dilakukan untuk pengujian apakah perancangan desain alat sebelumnya dapat bekerja optimum sesuai dengan parameter dan variabel proses yang telah ditentukan.

Validasi kinerja unit Mini WWTP dilakukan setelah didapatkan parameter desain proses unit WWTP yang optimum. Validasi ini bertujuan untuk dilakukan pembuktian apakah pengolahan data yang dilakukan sudah sesuai atau tidak. Setelah dilakukan eksperimen pada unit Mini WWTP, kemudian dilakukan perhitungan presisi yang mencakup repitabilitas, reproduibilitas, dan %RSD, serta perhitungan akurasi dan nilai kekasaran (*ruggedness*), dengan cara dibandingkan antara hasil dari data yang telah diolah dengan hasil aktual yang didapatkan dari eksperimen konfirmasi [5].

3. PERANCANGAN SISTEM

Dalam penelitian ini terdapat 4 hal penting dalam merancang sistem unit Mini WWTP antara lain:

1. Penentuan nilai konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* yang diperbolehkan untuk inlet Plant-34 sesuai dengan *flow*nya. Persamaan yang digunakan menggunakan metode *Food to Mass/Microorganism* dengan rincian sebagai berikut [6]:

$$\frac{F}{M} = \frac{\left(\frac{COD \frac{mg}{L}}{COD \frac{BOD_5}{Ratio}} (Flow \frac{MG}{day}) (8,34 \frac{lb}{gal}) \right)}{\left(MLSS \times \frac{MLVSS}{MLSS} ratio \right) (Aeration Volume, MG) (8,34 \frac{lb}{gal})} \quad (1)$$

2. Penentuan waktu optimum proses ozonisasi berdasarkan hasil eksperimen.
3. Penentuan waktu, konfigurasi, dan kuat arus optimum proses elektrolisis berdasarkan hasil eksperimen.
4. Penentuan media filtrasi berdasarkan hasil eksperimen.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kandungan Air Limbah Pit Besar TPS B3 PT Badak NGL

Air limbah Pit Besar PT Badak NGL memiliki spesifikasi yang ditunjukkan Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Air Limbah Pit Besar TPS B3

Parameter Uji	Satuan	Metode Uji	Nilai Maksimum	Hasil Pengujian Air Limbah Pit Besar
pH	-	SNI-06-6989.11-2004	6-9	6,74
Temperatur	°C	SNI-06-6989.23-2005	40	30
Klorin Bebas (Cl ₂)	mg/L	SNI 06-4824-1998	1	0,475

Sulfida (H ₂ S)	mg/L	SNI 6989.70-2009	0,1	0,087
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	SNI 6989.2-2019	300	±60.000
Raksa (Hg)	mg/L	SNI 6989.78-2019	0,005	0,00004
Besi (Fe)	mg/L	SNI 6989.4-2009	10	1,754
Nikel (Ni)	mg/L	SNI 6989.18-2009	20	0,1588

Air limbah Pit Besar mengandung senyawa MDEA yang menyebabkan tingginya konsentrasi COD yaitu sekitar 60.000 mg/L.

2. Batasan Nilai COD Inlet Plant-34

Batasan nilai COD air limbah yang diperbolehkan mengalir menuju Plant-34 berdasarkan *flow*nya ditunjukkan oleh Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Batasan Nilai COD Limbah yang Diperbolehkan pada Inlet Plant-34 berdasarkan Flow

<i>Flow</i> (m ³ /day)		F/M	COD (mg/L)
<i>Minimum Flow</i>	308	1,5	8.335
		2	11.113
<i>Maksimum Flow</i>	1.397	1,5	1.838
		2	2.450
<i>Average Flow</i>	917,25	1,5	2.799
		2	3.732

Dengan data yang diperoleh dari Tabel 2, batasan nilai COD yang diperbolehkan untuk diinjeksikan ke Plant-34 memiliki rentang nilai antara 1.838 – 11.113 mg/L sesuai dengan masing-masing jumlah *flow*nya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan jumlah *flow* rata-rata air limbah yang dapat diinjeksikan ke Plant-34, sehingga nilai COD rata-rata untuk desain unit Mini WWTP yang diharuskan adalah 3.265,5 mg/L.

3. Ozonisasi Skala Laboratorium (Data Waktu, Jumlah O₃, dan nilai *Chemical Oxygen Demand*)

Air limbah yang digunakan dalam proses ozonisasi merupakan air limbah Pit Besar yang sebelumnya sudah disaring menggunakan saringan 325 mesh, sehingga residu dan padatan terpisahkan melalui proses tersebut. Penyaringan ini dilakukan karena air limbah Pit Besar yang langsung diproses ozonisasi terindikasi *foaming*.

Hasil dari pengukuran waktu, jumlah O₃, dan nilai *Chemical Oxygen Demand* pada proses ozonisasi disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Proses Ozonisasi selama 6 Jam

Ozonisasi 1,4 g/h (Faktor Pengenceran 50x)						
Waktu (jam)	COD (mg/L)				Penurunan COD (mg/L)	% Penurunan
	1	2	3	Rata-rata		
0	27.900	28.150	28.050	28.033,33	0	0
1	5.700	5.350	5.050	5.366,67	22.666,66	80,86
3	5.000	5.550	5.050	5.200	22.833,33	81,45
6	5.150	5.200	5.150	5.166,67	22.866,66	81,57

Berdasarkan tabel dan grafik penurunan nilai COD menggunakan proses ozonisasi didapat penurunan nilai COD hingga 5.166,67 mg/L dalam kurun waktu 6 jam dengan persentase penurunan sebesar 81,57%. Dalam kurun waktu 3 jam penurunan yang terjadi adalah sekitar 22.833,33 mg/L atau setara dengan 81,45%. Sedangkan dalam kurun waktu 6 jam penurunan yang terjadi hanya sekitar 22.866,66 mg/L atau setara dengan 81,57%. Perbedaan selisih penurunan yang terjadi dalam kurun waktu 3 jam dan 6 jam hanya sekitar 0,12%. Hal ini disebabkan karena molekul O₃ tidak lagi berperan aktif (jenuh) dalam mendegradasi senyawa organik di dalam limbah, selain senyawa organik yang tidak dapat didegradasi bersifat stabil, jumlah kadar O₃ yang diperlukan untuk mendegradasi senyawa organik tersebut cukup tinggi [7].

Dalam penelitian ini, *flowrate* O₃ yang digunakan adalah 1,4 g/h, sehingga pendegradasian senyawa organik berbanding lurus dengan penambahan kadar O₃ yang didasarkan pada lama waktu proses ozonisasi berlangsung. Dengan kata lain, penurunan nilai COD akan terus berlangsung setelah kurun waktu 6 jam proses, tetapi konsumsi daya yang diperlukan nantinya relatif tinggi. Sehingga, penentuan waktu optimum untuk proses ozonisasi adalah dengan mempertimbangkan penurunan nilai COD yang signifikan dan konsumsi daya yang digunakan, yang mana proses ozonisasi berlangsung optimum dalam kurun waktu 3 jam

4. Elektrolisis Skala Laboratorium (Data Waktu, Tegangan, Kuat Arus, dan Suhu)

Penurunan nilai COD berdasarkan tegangan yang diberikan oleh *power supply* selama proses elektrolisis tersaji dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Penurunan nilai COD Proses Elektrolisis Selama 6 Jam

Elektrolisis 32 v						
Waktu (jam)	COD (mg/L)				Penurunan COD (mg/L)	% Penurunan
	1	2	3	Rata-rata		
0	27.900	28.150	28.050	28.033,33	0	0
1	5.050	5.600	5.250	5.300	22.733,33	81,1
3	4.600	4.500	4.200	4.433,33	23.600,00	84,19
6	4.350	4.100	4.700	4.383,33	23.650,00	84,36

Elektrolisis 24 v						
Waktu (jam)	COD (mg/L)				Penurunan COD (mg/L)	% Penurunan
	1	2	3	Rata-rata		
0	27.900	28.150	28.050	28.033,33	0	0
1	5.200	5.700	5.900	5.600	22.433,33	80,02
3	5.250	4.750	4.900	4.966,67	23.066,67	82,28
6	5.050	4.800	4.550	4.800	23.233,33	82,88

Elektrolisis 16 v						
Waktu (jam)	COD (mg/L)				Penurunan COD (mg/L)	% Penurunan
	1	2	3	Rata-rata		
0	27.900	28.150	28.050	28.033,33	0	0
1	6.300	6.250	6.600	6.383,33	21.650,00	77,23
3	5.200	5.000	5.300	5.166,67	22.866,67	81,57
6	5.300	5.100	4.800	5.066,67	22.966,67	81,93

Penentuan waktu optimum untuk elektrolisis didasarkan pada rentang waktu penurunan nilai COD yang signifikan dan konsumsi daya yang digunakan, dengan kata lain proses elektrolisis berlangsung optimum dalam kurun waktu 3 jam. Setelah ditentukan waktu optimum berikut pengaruh penggunaan konfigurasi elektrode dan kuat arus pada proses elektrolisis yang ditunjukkan Tabel 4.5 berikut.

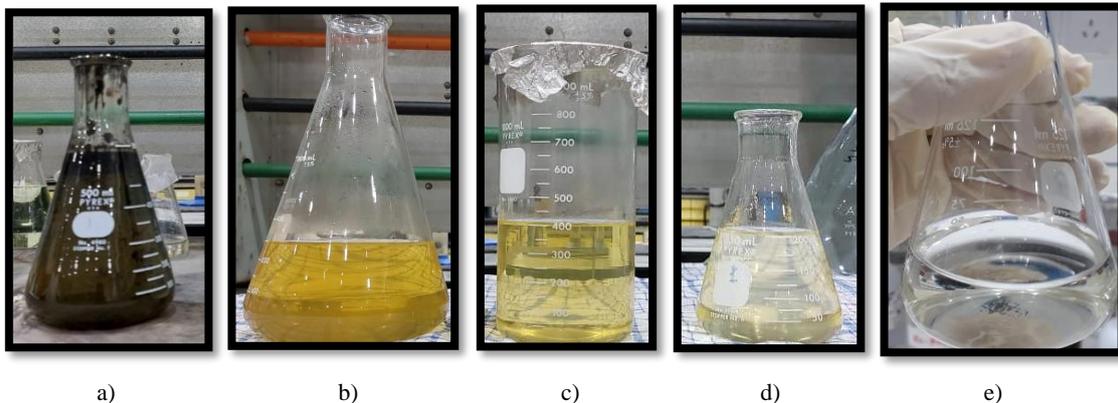
Tabel 5 Pengaruh Konfigurasi Elektrode dan Kuat Arus (5 Ampere) terhadap Suhu dan Nilai COD

Elektrolisis							
Waktu (Jam)	Konfigurasi Elektrode	Kuat Arus (A)	COD (mg/L)				Suhu (C)
			1	2	3	Rata-Rata	
3	1 Pasang	5	-	-	-	-	-
	2 Pasang		-	-	-	-	-
	3 Pasang		3.500	3.500	3.800	3.600	72

Berdasarkan data yang terdapat di Tabel 5 menunjukkan bahwa penurunan nilai COD paling signifikan ditunjukkan oleh konfigurasi 3 pasang elektrode pada kuat arus 5 Ampere dengan nilai penurunan sebesar 3.600 mg/L (87,1%). Banyaknya pasang elektrode yang digunakan berkaitan dengan semakin banyak luas permukaan elektrode yang tercelup sehingga lebih banyak proses redoks yang terjadi [8]. Sedangkan kuat arus yang semakin tinggi berkaitan dengan, semakin tinggi muatan listiknya, sehingga reaksi oksidasi dan reduksi (redoks) yang terjadi di dalam reaktor elektrolisis semakin cepat terjadi [9]. Reaksi redoks yang berlangsung secara cepat menyebabkan senyawa organik yang terdegradasi semakin banyak Sehingga penentuan kondisi operasi proses elektrolisis yang optimum adalah konfigurasi 3 pasang elektrode pada kuat arus 5 Ampere dalam waktu 3 jam.

5. Kondisi Operasi Optimum Pengolahan Air Limbah dengan Modifikasi Elektrolisis

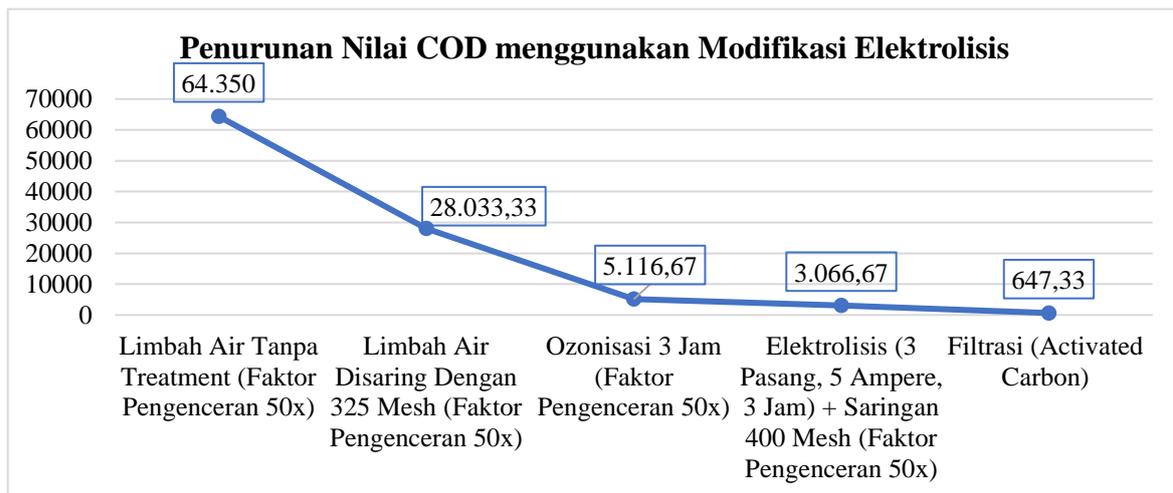
Berdasarkan skema pengolahan dengan kondisi operasi di atas, dilakukan pengolahan air limbah Pit Besar menggunakan skema tersebut sehingga didapat visual dan nilai COD limbah yang ditunjukkan oleh Gambar 3, dan Gambar 4 di bawah, nilai COD diambil sebanyak 3 kali replikasi sesuai dengan standar validasi:



Gambar 2 Hasil Pengolahan Air Limbah Menggunakan Modifikasi Elektrolisis

Keterangan:

- Limbah air tanpa treatment
- Limbah air Disaring Dengan 125 Mesh
- Limbah air setelah proses ozonisasi selama 3 jam
- Limbah air setelah proses elektrolisis (3 Pasang, 5 Ampere) selama 3 jam
- Limbah air setelah proses filtrasi menggunakan *activated carbon*.



Gambar 3 Grafik Pengurangan Nilai COD Menggunakan Modifikasi Elektrolisis

Dengan diperolehnya data di atas menunjukkan bahwa penurunan nilai COD menggunakan metode modifikasi elektrolisis menunjukkan penurunan yang signifikan. Konsentrasi awal nilai COD yang diperoleh adalah 64.350 mg/L setelah diolah menggunakan metode modifikasi elektrolisis konsentrasi turun hingga 647,3333 mg/L. Persentase penurunan nilai COD yang terjadi adalah 98,99%. Hal ini membuktikan bahwa proses yang berlangsung selama modifikasi elektrolisis saling berkaitan dan berkesinambungan, penggunaan saringan sebagai *pre-treatment*, penentuan waktu optimum ozonisasi, penentuan konfigurasi elektrode, kuat arus, dan lama waktu yang diperlukan saat proses elektrolisis, serta pemilihan jenis media filtrasi menunjukkan keberhasilan dalam penurunan nilai COD air limbah Pit Besar dan air limbah tersebut dapat diinjeksikan ke Plant-34 dengan jumlah *flow* lebih banyak dari *flow* air limbah sebelumnya yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

6. Validasi Kinerja Unit Mini WWTP

Dari unit tersebut, telah diperoleh beberapa sampel yang akan dianalisis datanya untuk keperluan pengujian ketepatan dari unit tersebut terhadap eksperimen skala lab menggunakan beberapa parameter validasi, seperti uji linearitas, akurasi, presisi, dan *ruggedness*. Dari perhitungan yang dilakukan, mula-mula dihitung rata-rata, standar deviasi, dan nilai KV Horwitz dari kedua hasil analisis, sehingga didapatkan nilai presisi yaitu %RSD sebesar 0,8156 dan 0,8147 yang lebih rendah daripada nilai 2/3 KV Horwitz sebesar 3,0195 dan 3,019, dimana nilai-nilai tersebut telah memenuhi syarat keberterimaan, yaitu %RSD < 2/3 KV Horwitz. Setelah itu, dihitung juga nilai rata-rata keseluruhan (*Grande Mean*) dan dibandingkan dengan konsentrasi acuan, sehingga didapatkan nilai akurasi dengan %Rec sebesar 100,114% yang memenuhi rentang keberterimaan 90- 107%. Terakhir, dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan sebelumnya, bisa didapatkan nilai *ruggedness* dengan 2 parameter, yaitu %RSD sebesar 0,8175 lebih rendah dari 0,5 KV Horwitz sebesar 3,0192 dan nilai Z-Score sebesar -0,1393 berada di bawah nilai 2 dan di atas nilai -2 sebagai syarat keberterimaan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa presisi, akurasi, dan *ruggedness* dapat diterima

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Penurunan nilai COD terhadap air limbah Pit Besar menggunakan unit Mini WWTP dengan metode modifikasi elektrolisis mencakup beberapa tahapan proses optimum antara lain meliputi *pre-treatment* air limbah dengan melakukan penyaringan air limbah untuk dipisahkan padatan dan residunya, kemudian air limbah diozonisasi, lalu air limbah dielektrolisis, selanjutnya air limbah disaring kembali untuk dipisahkan dari flok dan endapan yang terbentuk, dan air limbah difiltrasi menggunakan variasi karbon aktif.
- Parameter operasi optimum pada tiap-tiap prosesnya adalah sebagai berikut *pre-treatment* air limbah dengan melakukan penyaringan air limbah menggunakan saringan 325 mesh, kemudian air limbah

diozonisasi selama 3 jam, lalu air limbah dielektrolisis dengan konfigurasi 3 pasang elektrode menggunakan jenis anode aluminium dan katode tembaga pada kuat arus 5 Ampere selama 3 jam, selanjutnya air limbah disaring dengan saringan 400 mesh, dan air limbah difiltrasi menggunakan variasi karbon aktif berupa *Granular Activated Carbon* dan *Chlorine, Odor, Taste Filter*. Nilai COD dapat diatasi dengan menggunakan metode modifikasi elektrolisis tersebut. Dari proses yang dilakukan menunjukkan penurunan yang signifikan. Konsentrasi awal nilai COD yang diperoleh adalah 64.350 mg/L setelah diolah menggunakan metode modifikasi elektrolisis konsentrasi turun hingga 647,3333 mg/L. Persentase penurunan nilai COD yang terjadi adalah 98,99%.

- Hasil kinerja unit Mini WWTP didapatkan nilai presisi yaitu %RSD sebesar 0,8156 dan 0,8147 yang lebih rendah daripada nilai 2/3 KV Horwitz sebesar 3,0195 dan 3,019, dimana nilai-nilai tersebut telah memenuhi syarat keberterimaan, yaitu %RSD < 2/3 KV Horwitz. Setelah itu, dihitung juga nilai rata-rata keseluruhan (*Grande Mean*) dan dibandingkan dengan konsentrasi acuan, sehingga didapatkan nilai akurasi dengan %Rec sebesar 100,114% yang memenuhi rentang keberterimaan 90-107%. Terakhir, dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan sebelumnya, bisa didapatkan nilai ruggedness dengan 2 parameter, yaitu %RSD sebesar 0,8175 lebih rendah dari 0,5 KV Horwitz sebesar 3,0192 dan nilai Z-Score sebesar -0,1393 berada di bawah nilai 2 dan di atas nilai -2 sebagai syarat keberterimaan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa presisi, akurasi, dan *ruggedness* dapat diterima

Saran

- Spesifikasi *ozone generator* yang digunakan dalam proses pengolahan limbah sebaiknya ditingkatkan agar *supply flowrate* ozon yang diberikan lebih besar sehingga ozon yang tersedia untuk mendegradasi senyawa organik semakin banyak. Begitu pula dengan spesifikasi *power supply* yang diharapkan semakin besar agar mampu menghasilkan kuat arus yang lebih besar sehingga reaksi oksidasi dan reduksi (redoks) yang terjadi di dalam reaktor elektrolisis semakin cepat terjadi. Reaksi redoks yang berlangsung secara cepat menyebabkan senyawa organik yang terdegradasi semakin banyak.
- Diperlukan adanya *automatic control* berupa PID terhadap nilai kuat arus dalam *power supply* yang fluktuatif, sehingga kuat arus yang dihasilkan dapat lebih stabil dan tidak memerlukan *control power supply* secara manual.
- Spesifikasi *ozone reactor chamber* dan *electrolysis reactor chamber* yang berukuran kecil dapat ditingkatkan supaya volume air limbah yang dapat diolah dapat bertambah.
- Dalam proses pengujian konsentrasi COD memerlukan jumlah *reagent* yang banyak. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan minimalis agar limbah hasil samping *reagent* yang dihasilkan dapat berkurang.
- Perlu adanya *treatment* lebih lanjut yang dilakukan untuk mengolah *flok* yang dihasilkan sebagai produk samping dari proses elektrolisis.

REFERENSI

- [1] Tjokrokusumo, Pengantar Engineering Lingkungan Jilid 1, Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, 1999.
- [2] I. Triavia, D. Widodo dan A. Haris, "Elektrodekolorisasi Limbah Cair Zat Warna Batik di Kota Solo dengan Elektroda PbO₂/Cu," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, pp. 11-14, 2016.
- [3] N. Fauzi, K. Udayani, D. Zuchrillah dan F. Hasanah, Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium dan Besi pada Pengolahan Air Limbah Batik, Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2019.
- [4] B. Wang, K. Tian, X. Xiong dan H. Ren, Treatment of Overhaul Wastewater Containing N-methyldiethanolamine (MDEA) through modified Fe-C Microelectrolysis-configured ozonation: Investigation on Process Optimization and Degradation Mechanism, China: ELSEVIER, 2019.
- [5] Harmita, "Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya," J. Depfar FMIPA, 2004, pp. 117-135.

- [6] M. Henze, M. C. M. v. Loosdrecht, G. A. Ekama dan D. Brdjanovic, *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design.*, 2011.
- [7] V. Ferry, *Ozonisasi Fotokatalitik untuk Pengolahan Air dan Air Limbah*, 2017.
- [8] A. Susanto dan G. Rubiono, *Pengaruh Variasi Luas Permukaan Plat Elektroda Dan Konsentrasi Larutan Elektrolit Koh Terhadap Debit Gas Hasil Elektrolisis Air*, Banyuwangi: Universitas PGRI Banyuwangi, 2016.
- [9] D. Topayung, *Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja*, Manado: Politeknik Negeri Manado, 2011.
- [10] Z. Wang, D. Luo dan L. Liu, *Natural Gas Utilization in China: Development Trends and Prospects*, China: Energy Rep. 4, 2018.