

Pengaruh Berat TiO_2 Terhadap Kandungan Polutan Organik dan Tahanan Listrik pada Elektrokoagulasi Air Limbah

Sutanto¹, Toto Supriyanto²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
E-mail : stanto09@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
E-mail : toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian pengolahan air limbah rumah tangga telah dilakukan secara elektrokoagulasi. Pada penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perubahan penambahan titan dioksida (TiO_2) terhadap penurunan kandungan polutan organik dan perubahan tahanan listrik dalam air yang diproses secara elektrokoagulasi. Penelitian dijalankan dengan mengalirkan air limbah sebanyak 4 liter ke dalam bak proses yang terbagi dalam tiga sel. Proses awal elektrokoagulasi dijalankan tanpa penambahan TiO_2 pada tegangan 12 V dengan interval waktu 10 menit untuk pengukuran kandungan polutan organik dan tahanan listrik dalam sampel air. Pada penelitian selanjutnya dijalankan dengan prosedur dan kondisi proses yang sama, akan tetapi ditambahkan TiO_2 dengan berat bervariasi masing-masing adalah 5, 10 dan 15 mg. Untuk memperoleh air bersih berstandar Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017 proses elektrokoagulasi dijalankan pada tegangan 12 V, waktu proses 80 menit dan berat TiO_2 yang ditambahkan 15 mg. Pada kondisi ini kandungan polutan organik dapat diturunkan dari 25,32 mg/L menjadi 9,17 g/L atau setara dengan 79,30 % dan tahanan listrik turun dari 2,20 K Ω menjadi 1,44 K Ω atau setara dengan 34,55%.

Kata Kunci

Air limbah, elektrokoagulasi, polutan organik, tahanan listrik, titan dioksida

1. PENDAHULUAN

Air limbah yang dibuang ke lingkungan pada umumnya masih mengandung polutan organik, logam berat dan tingkat kekeruhan yang tinggi. Bila kandungan polutan dalam air limbah cukup tinggi dan dibuang langsung ke lingkungan, maka dapat menimbulkan polusi lingkungan dan dapat mengganggu kesehatan manusia. Untuk menurunkan kandungan polutan dalam air limbah dapat dilakukan dengan berbagai metoda. Salah satu pilihan metode yang aman terhadap lingkungan adalah pengolahan dengan cara elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi merupakan proses pengolahan air limbah dengan menggunakan prinsip elektrolisis tanpa penambahan bahan kimia yang membahayakan lingkungan. Hasil pengolahan dapat berupa air bersih atau air minum [1].

Penelitian yang terkait dengan pengolahan air limbah secara elektrokoagulasi pernah dilakukan untuk menghilangkan polutan warna dan polutan organik. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa kandungan warna dan polutan organik dapat dihilangkan secara sempurna atau seratus persen [2].

Untuk mempercepat penurunan atau penghilangan polutan organik pada proses elektrokoagulasi dapat dilakukan dengan menambahkan katalisator titan dioksida (TiO_2). Sebagai katalisator TiO_2 cukup aman terhadap lingkungan, karena tidak beracun dan mudah diperoleh dari penambangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses mampu menghilangkan minyak 98%, kekeruhan 99,9 %, COD 80 %, BOD 60% dan phenol 95% [3].

Proses penguraian zat warna *malachite green* dilakukan secara fotokatalitik menggunakan TiO_2 yang dilapiskan pada permukaan gelas. Pada proses ini 79,5% malachite green dapat terurai menjadi gas CO_2 dan air. Kondisi proses dilakukan pada pH 3, konsentrasi awal 30 mg/L dan waktu kontak 16 menit [4].

Penggunaan proses elektrokoagulasi pada saat ini terus digunakan untuk pengolahan air limbah, akan tetapi akibat kurangnya pengetahuan yang terkait dengan proses kimia dan fisika menyebabkan terhambatnya perkembangan teknologi elektrokoagulasi [5].

Penelitian proses elektrokoagulasi yang ditambah TiO₂ sebanyak 5 g/L untuk mengolah air limbah yang mengandung logam berat Cr (khrom), Cu (tembaga) dan Zn (seng) dengan konsentrasi awal masing-masing adalah 50 mg/L mampu menghilangkan Cr sampai dengan 97 %, Cu sampai dengan 97,5% dan Zn sampai dengan 96%. Proses dijalankan pada pH 4, arus listrik 2 A selama 60 menit [6].

Pada proses penguraian zat warna metilene biru dalam air limbah yang dilakukan secara elektrokoagulasi yang dibantu dengan melapiskan katalisator TiO₂ pada permukaan katoda yang terbuat dari baja, menunjukkan bahwa katalisator TiO₂ dapat membantu meningkatkan penguraian metilene biru secara signifikan [7].

Pada proses penguraian zat warna pada limbah industri kertas yang dilakukan secara fotokatalitik dengan menempelkan TiO₂ pada permukaan besi (Fe), proses mampu menghilangkan zat warna sampai 91,6% [8].

Proses elektrokimia dengan anoda terbuat dari TiO₂-RuO₂-IrO₂ DSA yang dijalankan pada kerapatan arus 40 mA/cm² untuk mengolah air limbah yang mengandung phenol, mampu menghilangkan kandungan karbon organik total sampai 88%. Dalam hal ini elektrolit ditambahkan khlorida 0,028 mol/L dalam 0.5 mol/L Na₂SO₄ [9].

Proses elektrokoagulasi pada air limbah yang dijalankan selama 30 menit kemudian dilanjutkan proses fotokatalitik dengan menambahkan TiO₂, maka proses dapat menghilangkan karbon organik total sampai 74 % [10].

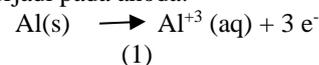
Proses elektrokoagulasi dapat digunakan untuk memanen mikroalga dengan memodifikasi elektroda baja tahan karat yang diisolasi dengan TiO₂. Pada metoda ini efisiensi pemanenan dapat mencapai 76,6 % pada jarak antar elektroda 4 mm, tegangan 200 V, frekuensi 250 KHz dan waktu proses 30 menit serta energi yang dibutuhkan adalah 7,76 kWh/kg [11].

Bahan TiO₂ diubah menjadi komposit secara hidrotermal bersama bahan lain dengan komposisi 53,43%-berat AC, 21,96 %-berat TiO₂, dan 24,61 %-berat CeO₂. Proses adsorpsi dan fotokatalitik dapat berlangsung ketika komposit tersebut digunakan untuk penanganan air limbah kilang minyak. Dalam hal ini polutan senyawa fenol dan amonia-nitrogen (NH₃-N) yang terkandung dalam air limbah tersebut dapat dihilangkan secara signifikan. Karena energi celah pita dari komposit adalah 2,60 eV yang jauh lebih rendah dari pada energi celah pita pada TiO₂, dan CeO₂. Dengan demikian komposit mudah diaktifkan dan mudah menguraikan fenol dan amonia-nitrogen (NH₃-N) yang terkandung dalam air limbah menjadi air (H₂O) dan gas karbon dioksida atau CO₂ [12].

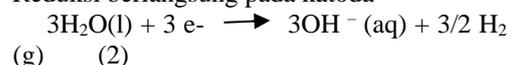
Penelitian proses elektrokoagulasi untuk pengolahan air sadah menunjukkan bahwa proses mampu menurunkan kesadahan sampai dengan 63 % dan florida sampai dengan 97% dan dibutuhkan energi 1,98 kW h/m³ [13].

Apabila pada proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda dari bahan aluminium, maka akan berlangsung reaksi sebagai berikut [14]:

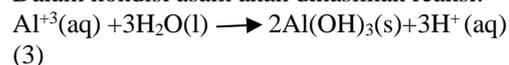
oksidasi terjadi pada anoda:



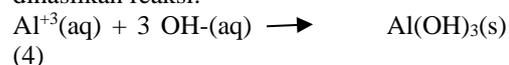
Reduksi berlangsung pada katoda



Dalam kondisi asam akan dihasilkan reaksi:

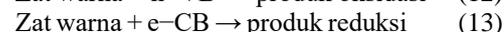
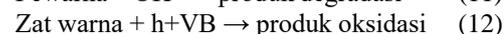
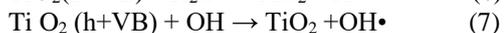
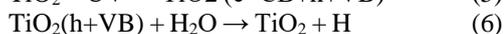
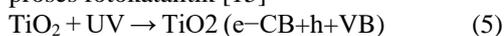


Sedangkan dalam kondisi basa akan dihasilkan reaksi:



Proses reaksi dari fotokatalitik dapat berlangsung karena pengaktifan oleh penyerapan foton (cahaya) dengan tingkat energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita pada katalis. Reaksi diawali dari pemisahan muatan hasil dari promosi elektron (e⁻) dari pita valensi ke pita konduksi pada katalis dan terbentuk lubang atau hole (h⁺) pada pita valensi. Elektron akan mereduksi warna atau bereaksi dengan akseptor elektron seperti O₂ yang teradsorpsi pada permukaan katalis atau terlarut dalam air, membentuk anion radikal superoksida (O⁻²). Lubang yang terbentuk akan mengoksidasi molekul organik atau bereaksi dengan OH⁻ atau H₂O untuk

menghasilkan $\text{OH}\cdot$. Radikal bebas O^{2-} dan $\text{OH}\cdot$ adalah spesies yang sangat kuat dan mampu mengurai hampir semua pewarna azo menjadi produk akhir mineral. Persamaan reaksi berikut menunjukkan mekanisme proses fotokatalitik [15]



2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian terbagi dalam tiga langkah yaitu penyiapan bahan, penyiapan alat serta pengumpulan dan pengolahan data.

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah aluminium jenis HTC 16-35 sebagai elektroda, titan dioksida (TiO_2) dan air limbah rumah tangga.

2.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang dipakai antara lain: bak proses, sumber listrik arus searah (DC), avometer, flow meter, AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer), Soxhlet, turbidimeter dan pH meter.

2.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan prosedur atau urutan sebagai berikut: mengukur kualitas air limbah rumah tangga, merangkai alat penelitian dan pengambilan data.

2.3.1 Mengukur parameter kualitas air limbah

Parameter dari kualitas air limbah yang diukur antara lain : kandungan logam berat diukur dengan AAS, kekeruhan air diukur dengan turbidimeter, kandungan polutan organik diukur dengan Soxhlet [16] dan tingkat keasaman diukur dengan pH meter. Hasil pengukuran semua parameter disajikan pada Tabel 1.

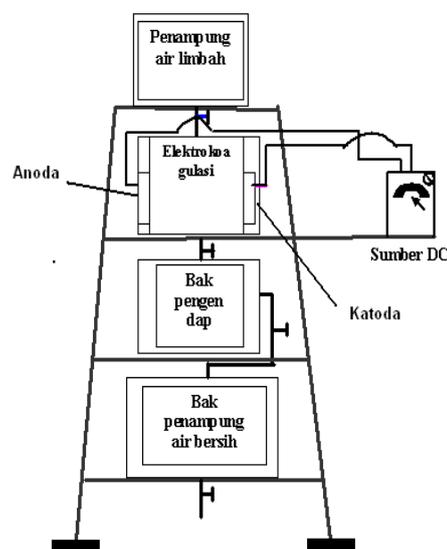
Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air limbah

Parameter	Hasil ukur
Tembaga (Cu)	3,45 mg/L
Aluminium (Al)	0,58 mg/L
Khrom (Cr)	1,54 mg/L

Besi (Fe)	3,45 mg/L
pH	7,98
Kekeruhan	42,15 NTU
Senyawa organik	25,32 mg/L

2.3.2 Merangkai alat penelitian

Peralatan yang dipakai untuk pengambilan data penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Peralatan penelitian terdiri atas sumber arus searah (DC), avometer, bak penampung air limbah, bak proses elektrokoagulasi, bak pengendap kotoran dan bak penampung air hasil olahan. Ukuran bak penampung air limbah adalah panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm. Bak proses elektrokoagulasi terdiri atas tiga sel dengan ukuran setiap sel adalah lebar 6 cm, panjang 15 cm dan tinggi 20 cm. Setiap sel dipasang anoda dan katoda yang dibuat dari Aluminium dengan ukuran lebar 14 cm dan panjang 18 cm. Jarak antara anoda dan katoda adalah 5,6 cm. Ukuran bak pengendap kotoran adalah tinggi 40 cm, panjang 40 cm dan lebar 40 cm. Bak penampung air bersih (air hasil olahan) panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tinggi 40 cm.



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

2.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan langkah sebagai berikut: mengalirkan 4 liter air limbah dari bak penampung menuju bak proses elektrokoagulasi. Menghidupkan sumber arus searah (DC) pada tegangan 12 V dan besarnya tahanan air limbah dapat dibaca pada avometer. Menghentikan proses elektrokoagulasi setelah berjalan selama 10

menit. Selanjutnya mengalirkan air dari bak elektrokoagulasi menuju ke arah bak pengendap supaya endapan yang terbentuk dapat terpisahkan, sehingga diperoleh air yang lebih jernih. Kandungan polutan organik dalam air yang telah terpisahkan dari endapan diukur menggunakan Soxhlet. Prosedur yang sama diulang, akan tetapi waktu proses yang digunakan divariasikan yaitu :20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 menit. Untuk pengambilan data berikutnya, proses dilakukan dengan menambahkan katalisator TiO₂ sebanyak 5, 10 dan 15 mg.

2.3.4 Pengolahan Data

Data yang telah terkumpul ditampilkan dalam bentuk Tabel. Tampilan Tabel berupa hubungan antara waktu proses, perubahan tahanan air limbah dan kandungan polutan organik. Berdasarkan tampilan data dapat dilakukan analisis dengan membandingkan parameter yang sama terhadap Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017 [17], seperti ditunjukkan pada Tabel 2 (standar air bersih sebagai acuan proses). Dari hasil analisis tersebut dapat diambil dan ditentukan kondisi proses yang terbaik sebagai kesimpulan akhir.

Tabel 2. Parameter standar air bersih

Parameter	Nilai maksimum
Besi (Fe)	1 mg/L
Arsen (As)	0,05 mg/L
Khrom (Cr)	0,05 mg/L
Tembaga (Cu)	2 mg/L
Mangan (Mn)	0,5 mg/L
Kekeruhan	25 NTU
Senyawa organik	10 mg/L
Seng (Zn)	15 mg/L
Natrium (Na)	200 mg/L
pH	6,5 - 8,5
Bakteri Koliform	50 per 100 mL
Bakteri E Coli	0 per 100 mL

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dari proses elektrokogulasi yang dipadu dengan proses fotokatalitik pada pengolahan air limbah rumah tangga disajikan dalam dua bahasan. Pada bagian pertama membahas terkait dengan data hubungan antara penambahan TiO₂ pada proses elektrokogulasi terhadap perubahan kandungan polutan organik dalam air limbah dan pada bagian kedua membahas terkait dengan data hubungan antara penambahan TiO₂ terhadap perubahan tahanan air limbah. Berdasarkan pada kedua bahasan tersebut

dapat diperoleh kondisi optimum untuk memproses air limbah menjadi air yang mendekati kondisi air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017.

3.1 Pengaruh Penambahan TiO₂ terhadap Perubahan Kandungan Polutan Organik

Data hasil penelitian pengaruh penambahan TiO₂ terhadap perubahan kandungan polutan organik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran kandungan polutan organik

Waktu (menit)	Penambahan TiO ₂			
	0 mg	5 mg	10 mg	15 mg
0	25,32	25,32	25,32	25,32
10	24,29	24,15	24,01	23,82
20	23,12	23,02	22,94	21,81
30	22,01	21,91	20,89	19,63
40	21,87	20,70	19,62	17,23
50	20,61	19,52	18,22	15,93
60	19,31	18,27	17,99	13,64
70	18,11	17,00	16,62	11,21
80	17,01	16,92	15,41	9,17
90	16,95	15,87	14,28	7,01
100	15,90	14,81	13,10	5,24

Berdasarkan Tabel 3, dapat ditunjukkan bahwa semakin lama waktu proses elektrokogulasi dijalankan maka polutan organik yang terkandung dalam air limbah semakin berkurang. Dapat pula dijelaskan bahwa semakin bertambah berat TiO₂ yang dimasukkan ke dalam air limbah, maka semakin banyak pula pengurangan polutan organik yang terkandung dalam air limbah [3-4],[8-9],[11],[15]. Pengurangan polutan organik terlihat lambat apabila proses elektrokogulasi tidak ada penambahan TiO₂. Kondisi ini nampak pada saat proses berlangsung sampai dengan 100 menit dan hanya terjadi pengurangan polutan organik dari 25,32 mg/L menjadi 15,90 mg/L atau setara dengan 37,20 %.

Akan tetapi bila proses elektrokogulasi ditambah dengan TiO₂ sebanyak 15 mg, maka dengan lama waktu proses yang sama (100 menit) terjadi pengurangan polutan organik dari 25,32 mg/L menjadi 5,24 mg/L atau setara dengan 79,30 %. Dalam hal ini nampak, bahwa ada peningkatan penghilangan polutan organik sebesar 42,10%. Sedangkan pada penambahan TiO₂ sebanyak 5 mg dan 10 mg ke dalam air limbah selama proses elektrokogulasi berlangsung sampai dengan 100 menit, juga nampak belum mampu

menghasilkan air bersih yang mengikuti Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017, karena kandungan polutan organik masih diatas 10 mg/L.

Pengurangan polutan organik terjadi sebagai akibat adanya proses aktivasi dari TiO_2 ketika terpapar cahaya yang menghasilkan radikal bebas $O^{2\bullet}$ dan OH^\bullet yang dapat mengurai polutan organik menjadi air (H_2O) dan gas karbon dioksida (CO_2) [12],[15]. Selain dari pada itu pengurangan polutan organik, juga terjadi karena pengaruh proses elektrokoagulasi. Karena selama berlangsungnya proses elektrokoagulasi, terjadi pembentukan senyawa koagulan $Al(OH)_3$ yang mampu menyerap polutan organik dan mengendapkannya ke dasar bak proses. Dengan semakin lama proses elektrokoagulasi dijalankan, maka semakin berkurang juga kandungan polutan organik dalam air limbah [1-2],[5-6].[13-14].

Apabila proses ditargetkan untuk mendapatkan air bersih yang sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017, maka kondisi proses yang paling memungkinkan adalah dengan menambahkan TiO_2 sebanyak 15 mg dan waktu proses minimal 80 menit. Pada kondisi ini telah diperoleh air dengan kandungan polutan organik sebesar 9,17 mg/L atau dapat pula dijelaskan bahwa kandungan polutan dapat diturunkan dari 25,32 mg/L menjadi 9,17 mg/L atau setara dengan 79,30 %. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017 disebutkan bahwa kandungan senyawa organik maksimum untuk air bersih adalah 10 mg/L [17]. Artinya kandungan polutan organik sebesar 9,17 mg/L dalam air limbah sudah berada di bawah 10 mg/L atau lebih kecil dari 10 mg/L, berarti air hasil proses telah memenuhi syarat sebagai air bersih.

3.2 Pengaruh Penambahan TiO_2 terhadap Perubahan Tahanan Air Limbah

Data hasil penelitian dari pengaruh penambahan TiO_2 terhadap perubahan tahanan air limbah dapat dilihat pada Tabel 4. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui perubahan tahanan air limbah selama berlangsungnya proses elektrokoagulasi yang dipadu dengan proses fotokatalitik. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan

sifat kelistrikan dari air limbah ketika ada penambahan TiO_2 kedalam air limbah yang sedang diproses secara terpadu antara proses elektrokoagulasi dan fotokatalitik. Hasil kajian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian pengembangan lebih lanjut. Karena pengukuran tahanan listrik dapat dilakukan secara bersamaan ketika proses elektrokoagulasi sedang berjalan dan tidak perlu mengambil sampel air serta proses pengukuran dapat dilakukan secara mudah dan sederhana. Tahanan hasil pengukuran secara empiris berhubungan dengan banyaknya kandungan polutan organik yang terdapat dalam air. Sehingga dengan membaca hasil pengukuran tahanan air, maka kandungan polutan organik secara kuantitatif juga dapat dihitung menggunakan persamaan empiris yang telah dibuat atau dapat juga dibaca dari kurva hubungan antara tahanan listrik terhadap kandungan polutan organik. Dengan demikian pengukuran kandungan polutan organik dalam air limbah tidak perlu lagi menggunakan Soxhlet.

Tabel 4. Hasil pengukuran tahanan air limbah ($K\Omega$)

Waktu (menit)	Penambahan TiO_2		
	0 mg	5 mg	10 mg
15 mg			
0	2,20	2,20	2,20
2,20			
10	2,18	2,16	2,12
2,00			
20	2,15	2,14	2,10
2,05			
30	2,12	2,10	2,07
1,93			
40	2,10	2,08	2,04
1,85			
50	2,05	2,00	1,95
1,76			
60	2,03	1,94	1,92
1,68			
70	2,01	1,90	1,83
1,53			
80	1,92	1,87	1,78
1,44			
90	1,90	1,83	1,66
1,32			
100	1,88	1,80	1,61
1,26			

Berdasarkan pada Tabel 4, dapat ditunjukkan bahwa semakin lama waktu proses elektrokoagulasi, maka tahanan air limbah semakin berkurang. Dapat pula dijelaskan bahwa semakin bertambah berat TiO_2 yang dimasukkan ke dalam air limbah, maka semakin cepat pula penurunan tahanan air limbah. Bila mengacu pada Tabel 3, terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya

penambahan TiO_2 ke dalam air limbah yang sedang diproses secara elektrokoagulasi dapat memacu percepatan pengurangan polutan organik [3-4],[8-9],[11-12],[15]. Dalam hal ini polutan organik yang berada dalam air limbah ikut menyumbang terjadinya peningkatan hambatan atau tahanan listrik air. Karena secara umum senyawa organik mempunyai sifat sebagai isolator atau menghambat aliran listrik. Sebaliknya semakin sedikit jumlah polutan organik dalam air, maka dapat mengakibatkan penurunan tahanan atau hambatan dalam air. Bila ingin memperoleh air yang memenuhi syarat sebagai air bersih dan mengikuti standar Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017, maka proses harus ditambahkan TiO_2 sebanyak 15 mg dengan waktu proses minimum 80 menit. Pada kondisi ini kandungan polutan organik telah mencapai 9,17 mg/L (memenuhi syarat air bersih) dan tahanan air dapat diturunkan dari 2,20 $\text{K}\Omega$ menjadi 1,44 $\text{K}\Omega$ atau setara dengan 34,55%.

4. KESIMPULAN

Semakin banyak TiO_2 ditambahkan ke dalam air limbah yang diproses secara elektrokoagulasi, maka semakin berkurang polutan organik yang terkandung dalam air limbah, demikian juga tahanan air ikut semakin berkurang. Untuk mendapatkan air bersih, selama proses elektrokoagulasi perlu ditambahkan TiO_2 sebanyak 15 mg dengan waktu proses minimum 80 menit. Pada kondisi ini kandungan polutan organik dapat diturunkan dari 25,32 mg/L menjadi 9,17 mg/L atau setara dengan 79,30 % dan tahanan dapat diturunkan dari 2,20 $\text{K}\Omega$ menjadi 1,44 $\text{K}\Omega$ atau setara dengan 34,55%.

Untuk meyakinkan dalam mendapatkan kondisi operasi yang terbaik (optimum), perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan penambahan berat TiO_2 sehingga proses elektrokoagulasi dan fotokatalitik dapat berjalan secara simultan dengan waktu proses yang sesingkat-singkatnya dan dapat dihasilkan air dengan kandungan polutan organik kurang dari 10 mg/L.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala UP2M Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan dana Penelitian Produk Teknologi Terapan tahun anggaran

2021 dengan nomor kontrak :B.266/PL3.B/PN.00.03/2021 dan membantu penyediaan sarana dan prasarana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Biswas. And S. Goel, "Electrocoagulation and Electrooxidation Technologies for Pesticide Removal from Water or Wastewater: A Review;" *Chemosphere*, vol. 302, September 2022.
- [2] Rakhmania, H. Kamyab, M.A. Yuzir, N. Abdullah, L.M. Quan, F.A Riyadi and R. Marzouki, "Recent Applications of The Electrocoagulation Process on Agro-Based Industrial Wastewater: Review," *Sustainability*, vol. 14. pp. 1-19, February 2022.
- [3] N.A.A Rubaiey, M.G. Albranzjy and W.A. Kadhim, "Combined Electrocoagulation and Photocatalytic for Oily Wastewater Treatment using TiO_2 Nano-Catalysts." *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 65, no.7, pp. 55-64, July 2022.
- [4] A.Hosseini, H. Karimi, J. Foroughi, M.H. Sabzehmeidani and M.Ghaedi, "Heterogeneous Photoelectro-Fenton using ZnO and TiO_2 Thin Film as Photocatalyst for Photocatalytic degradation Malachite Green," *Applied Surface Science Advances*, vol. 6, pp. 1-13, June 2021.
- [5] G. Jing, S. Ren, S. Pooley, W. Sun, P.B. Kowalczyk, and Z. Gao, "Electrocoagulation for industrial wastewater treatment: an updated review," *Environmental Science: Water Research & Technology*, vol.7, 2021, June 2021.
- [6] S. Ayub, A. A. Siddique, M.S. Khursheed, A. Zarei, I. Alam, E. Asgari and F. Changani, "Removal of heavy metals (Cr, Cu, and Zn) from electroplating wastewater by electrocoagulation and adsorption processes," *Desalination and Water Treatment*, vol. 179, pp.263 - 271, March 2020.
- [7] R.Muttaqin, R. Pratiwi, Ratnawati, E.L Dewi, M.Ibadurrohman and Slamet, "Degradation of Methylene blue-ciprofloxacin and hydrogen production simultaneously using combination electrocoagulation and photocatalytic process with Fe- TiNTAs ," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 42, pp. 18272 - 18284, May 2022.
- [8] S. Puri and A.Verma, "Color removal from secondary treated pulp & paper industry effluent using waste driven Fe - TiO_2 composite," *Chemosphere*, vol. 303, no.3, pp.135-143, September 2022.
- [9] M. C. Medeiros, J. B.D. Medeiros, C. A.M.Huitle, T. M. B.F.Oliveira, S.E.Mazzetto, F.F.M.D Silva, S.S.L.Castro, "Long-chain phenols oxidation using a flow

- electrochemical reactor assembled with a TiO₂-RuO₂-IrO₂ DSA electrode,” *Separation and Purification Technology*, vol. 264, pp.118, June 2021.
- [10] A.S.Escobar, A. P.Mateus and A. L.Vasquez, ”Electrocoagulation-photocatalytic process for the treatment of lithographic wastewater. Optimization using response surface methodology (RSM) and kinetic study,” *Catalysis Today*, vol.26, pp. 120-125, May 2016.
- [11] A. Mussa, M.A.Hafiz, P. Das, and A.H.Hawari, “Harvesting of *Chlorella* sp. microalgae by dielectrophoretic force using titanium dioxide (TiO₂) June 2021.
- [12] F. Dalanta nd T. D. Kusworo, “Synergistic adsorption and photocatalytic properties of Karbon aktif (AC) / TiO₂ / CeO₂ composite for phenol and ammonia nitrogen compound degradations from petroleum refinery wastewater,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 434, pp. 134, April 2022.
- [13] J.U.Halpegama, K.Y.Heenkenda, Z.Wu, K.G.N. Nanaykkara, R.M.G. Rajapakse, A. Bandara, A.C.Herath, X.Chen and R.Weerasooriya, “Concurrent removal of hardness and fluoride in water by monopolar electrocoagulation,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no.5, October 2021.
- [14] D.B.Wellner, S.J. Couperthwaite, and G.J Millar, “Influence of Operating Parameters During Electro coagulation of Sodium Chloride and Sodium Bicarbonate Solutions Using Aluminium Electrodes,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 2, pp.13-26, 2018.
- [15] D.Sugiyana dan S. Notodarmojo, “ Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂,” *Jurnal Arena Tekstil*, vol. 30, no. 2, hlm. 83 –94, 2015.
- [16] A.S Iryani dan M.Mardiana, “Identifikasi senyawa antioksidan dari ekstrak abu pelepah sago (Metroxylon sago) sebagai bahan pembantu dalam pembuatan bedak dingin,” *Argokompleks*, vol. 22, no.1, hlm. 34-41, 2022.
- [17] N.F.Moeloek, “Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 tahun 2017,” Kementerian Kesehatan RI, hlm.10 – 15, 2017.