



Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129 |



Artikel Penelitian

Penyisihan Senyawa Organik pada Air Limbah Tahu Menggunakan Proses Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Aluminium

Ansiba Nur, Puti Sri Komala, Uttiya Annisa D*

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang 25163, Indonesia Email: ansiba@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

This study aims to determine the efficiency of organic removal in the form of Chemical Oxygen Demand (COD), Nitrate (NO_3), and TSS of tofu wastewater with electrocoagulation process of aluminum electrode pairs with the monopolar arrangement. A two liters batch reactor and aluminum electrode (aluminum content of 95.7%) were used. Variations in current density ($21 - 104 \text{ A / m}^2$) and contact time (2 - 60 minutes). The optimum conditions were obtained at a current density of 104 A / m^2 in 10, 15, and 2 minutes for COD, NO_3 , and TSS, respectively. The optimum removal efficiency for COD, NO_3 , and TSS were 95%, 69.64%, and 99.99%, respectively at a current density of 104 A/m^2 . Increases in current density and contact time were directly correlated with improvements in COD, NO_3 , and TSS removal effectiveness. The pH of wastewater has increased to 8.5. While the temperature of wastewater only increased in the 2nd minute to 27°C . Meanwhile, conductivity in wastewater decreases with increasing contact time. The decrease in conductivity is inversely proportional to the efficiency of pollutant reduction. The effluent of the results of this study has met the quality standards of Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014 Attachment XVIII concerning Wastewater Quality Standards for Soybean Processing Businesses and/or Activities.

Keywords: COD, electrocoagulation, aluminum electrodes, tofu wastewater, monopolar.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menentukan efisiensi penyisihan senyawa organik berupa Chemical Oxygen Demand (COD), Nitrat (NO_3), dan Total Suspended Solid (TSS) air limbah pabrik tahu dengan proses elektrokoagulasi pasangan elektroda aluminium dengan susunan monopolar. Penelitian menggunakan reaktor batch dua liter dan elektroda aluminium (kandungan aluminium sebesar 95,7%). Variasi yang dilakukan adalah variasi rapat arus ($21 - 104 \text{ A/m}^2$) dan waktu kontak (2 – 60 menit). Kondisi optimum diperoleh pada kerapatan arus 104 A/m^2 selama 10, 15, dan 2 menit untuk masing-masing COD, NO_3 , dan TSS. Efisiensi penyisihan optimum untuk COD, NO_3 dan TSS masing-masing sebesar 95%, 69,64% dan 99,99 % pada rapat arus 104 A/m^2 . Peningkatan efisiensi penyisihan COD, NO_3 dan TSS berbanding lurus dengan peningkatan rapat arus dan waktu kontak. pH air limbah mengalami peningkatan hingga 8,5. Temperatur air limbah hanya meningkat pada menit ke-2 menjadi 27°C . Sementara itu konduktivitas pada air limbah menurun seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Penurunan konduktivitas berbanding terbalik dengan efisiensi penyisihan polutan. Efluen hasil penelitian ini telah memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pengolahan Kedelai. .

Kata kunci: COD, elektrokoagulasi, elektroda aluminium, air limbah tahu, monopolar.

1. PENDAHULUAN

Tahu merupakan makanan tradisional sebagian besar masyarakat di Indonesia, yang digemari hampir seluruh

lapisan masyarakat. Proses pembuatan tahu ini menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan kebanyakan dijual dan diolah menjadi tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan

ternak dan tepung ampas tahu yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan roti kering dan *cake*. Sementara, limbah cair dari pembuatan tahu ini hanya ditampung di bak ekualisasi lalu dibuang ke badan air.

Limbah cair tahu umumnya mengandung COD sebesar 7.500 – 14.000 mg/L, TSS sebesar 638 – 660 mg/L dan Nitrat (NO₃) sebesar 3,5 – 4,0 mg/L (Kaswinarni, 2007). Limbah cair yang memiliki kandungan organik tinggi jika tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan berbagai dampak negatif seperti pencemaran air, sumber penyakit, bau tak sedap dan menurunkan estetika lingkungan sekitar (Suyata, 2009). Selain itu kadar NO₃ yang melebihi 0,2 mg/l dapat memicu terjadinya eutrofikasi yang ditandai dengan pertumbuhan alga secara pesat (*blooming algae*) (Effendi, 2003).

Berbagai perkembangan proses pengolahan limbah cair tahu telah banyak dilakukan, baik secara biologis maupun kimia, di antaranya pengolahan dengan biofilter anaerob-aerob, koagulasi-flokulasi dan pengolahan limbah tahu dengan *Effective Microorganism 4* (EM4). Teknologi pengolahan ini cukup baik dalam mengolah limbah tahu, tetapi memiliki proses yang cukup banyak dan membutuhkan waktu yang lama serta menggunakan bahan kimia. Teknologi lain yang dapat mengolah limbah cair dengan kandungan organik tinggi adalah elektrokoagulasi (EC).

Elektrokoagulasi merupakan teknologi efektif dalam menyisahkan zat organik karena prosesnya merupakan kombinasi tiga proses dasar, yaitu elektrokimia, koagulasi dan flotasi dengan menggunakan arus listrik searah (DC) dan reaksi redoks. Keuntungan EC adalah proses ini dapat dilakukan dengan peralatan sederhana dan mudah untuk dioperasikan serta tidak memerlukan bahan kimia. Air limbah yang diolah dengan elektrokoagulasi menghasilkan *effluent* yang jernih, tidak berwarna dan tidak berbau (Mollah dkk., 2004).

Aluminium merupakan logam yang sering digunakan sebagai anoda dalam proses elektrokoagulasi dikarenakan logam ini sangat reaktif dan lebih mudah mereduksi air limbah organik dibandingkan pelarutnya (air). Selain pemilihan elektroda, bentuk susunan elektroda mempengaruhi keefektifan proses EC. Susunan elektroda bipolar (dua kutub) memiliki rangkaian yang sederhana tetapi reaktor dengan konfigurasi elektroda monopolar (satu kutub) memberikan pelepasan ion logam Al³⁺ lebih banyak dibandingkan dengan susunan bipolar, sehingga akan meningkatkan efisiensi penurunan polutan (Nur, 2014).

Aplikasi proses elektrokoagulasi dengan reaktor *batch* konfigurasi monopolar menggunakan elektroda aluminium telah dilakukan untuk menyisahkan COD dari limbah pabrik kelapa sawit yang menghasilkan efisiensi optimum sebesar 86,7% (Nasrullah dkk., 2017). Sementara Tak dkk (2014) dengan konfigurasi yang sama dapat menyisahkan warna dan COD limbah peternakan dengan efisiensi 93,2 %, sedangkan untuk penurunan NO₃ efisiensi penurunan yang didapat sebesar 96% pada penelitian Majlesi dkk (2016).

Dilatarbelakangi oleh beberapa hal di atas maka kajian susunan pasangan elektroda aluminium konfigurasi monopolar dilakukan untuk mengolah air limbah tahu yang memiliki COD tinggi, *nutrient* NO₃ dan TSS menggunakan reaktor *batch*. Dengan menggunakan susunan monopolar pada proses EC dengan variasi waktu kontak dan rapat arus diharapkan mampu menghasilkan keluaran yang jernih dan tidak berbau serta dapat dibuang ke badan air sesuai dengan standar baku mutu yang berlaku.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi dan waktu sampling

Sampel air limbah berasal dari Pabrik Tahu Fanny Super A.B. yang berada di Jalan Kampung Jambak RT 001/RW 003, Koto Lalang, Lubuk Kilangan, Kota Padang. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada saat limbah dibuang ke badan air. Produksi tahu Pabrik Fanny Super A.B dapat mencapai 20.400 kg/bulan. Pabrik Tahu Fanny Super A.B tidak memiliki IPAL dan hanya memiliki bak ekualisasi yang digunakan sebagai penampung limbah sementara sebelum dibuang ke badan air di sekitar pabrik tahu.

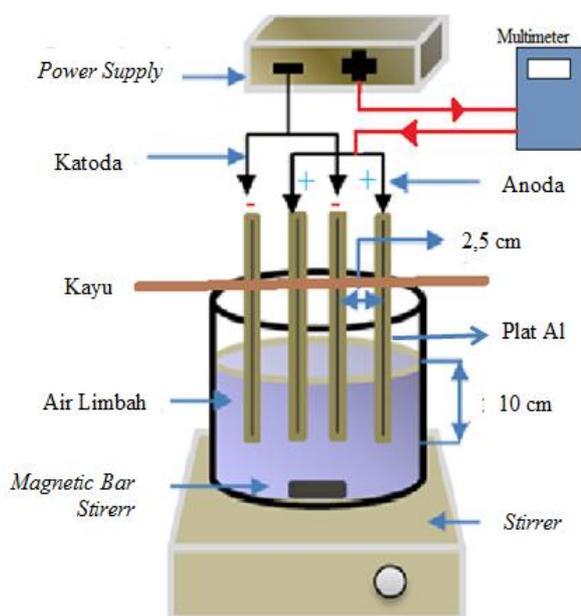
2.2 Sampel Air Limbah

Pengambilan sampel dilakukan pada bak ekualisasi dengan cara sesaat (*grab sampling*) yang mengacu pada SNI 6989-59-2008. Sampel diambil sebanyak 15 L dan dimasukkan ke dalam jirigen. Uji karakteristik air limbah tahu dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas. Parameter yang diukur adalah COD, Nitrat (NO₃) dan TSS sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran XVIII serta Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Sisa sampel air limbah disimpan dalam kulkas dengan suhu 4°C yang akan digunakan dalam percobaan elektrokoagulasi.

2.3 Reaktor Elektrokoagulasi

Alat-alat yang digunakan untuk instalasi reaktor elektrokoagulasi terdiri dari:

1. *Beaker glass* 2 liter;
2. Elektroda berupa plat aluminium dengan kandungan Al sebesar 95,7% (Laboratorium Teknologi Mineral dan Batu Bara Bandung, 2014) ukuran 8 x 15 cm dan tebal 0,3 mm sebanyak 4 buah (2 buah anoda dan 2 buah katoda);
3. *Magnetic stirrer* merek Yamato MD 200;
4. *Power Supply* merek GW instek;
5. Multimeter merek Sanwa.



Gambar 1. Skema Rangkaian *Elektrokoagulasi*

Gambar 1 menunjukkan skema rangkaian elektrokoagulasi. *Beaker glass* 2 liter digunakan sebagai reaktor EC yang diisi dengan air limbah tahu. Plat elektroda yang telah dilubangi dimasukkan kayu sebagai penyangga yang diletakkan di atas *beaker glass*. Bagian elektroda yang terendam air limbah dalam reaktor sekitar 10 cm, sehingga luas permukaan basah elektroda sebesar 0,008 m². Pada konfigurasi monopolar ini plat elektroda disusun secara paralel dan berselang-seling antara anoda dan katoda dengan jarak 2,5 cm (Mollah, 2004). Dua elektroda dihubungkan ke kutub negatif *power supply*, sedangkan dua elektroda lainnya dihubungkan ke multimeter yang berhubungan dengan kutub positif *power supply*. Multimeter berfungsi mengukur rapat arus yang digunakan

2.4 Optimasi Proses Elektrokoagulasi

Sampel air limbah dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan diaduk tanpa menimbulkan *vortex* menggunakan *magnetic stirrer* dengan skala 6 selama 60 menit.

Reaktor dialiri rapat arus sebesar 21 A/m². Sampel diambil pada waktu 2 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit dan 60 menit selama proses pengadukan berlangsung (Nur, 2014). Suhu sampel diukur dengan menggunakan termometer dan konduktivitas dengan konduktivimeter Lutron CD-4306.

Pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung dilakukan pengamatan terhadap gelembung gas hidrogen yang merupakan indikator terjadinya reduksi pada katoda. Sampel diambil diantara kedua elektroda pada kedalaman 5 cm dari permukaan air limbah. Sampel lalu didiamkan selama 2 jam agar flok mengendap (Siringo-ringo, 2013). *Supernatant* digunakan untuk mengukur COD, TSS dan Nitrat (NO₃). Analisa sampel dilakukan secara triplo. Percobaan ini diulangi kembali pada variasi rapat arus 42 A/m², 63 A/m², 83 A/m² dan 104 A/m² (Nur, 2014). Pengukuran pH dilakukan pada *effluent* efisiensi tertinggi

2.4 Analisa Laboratorium

Analisa laboratorium untuk parameter pH, COD, NO₃, TSS dan konduktivitas dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Air dan Air Limbah. Metode pengujian dan analisa parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Metode Pengujian dan Analisa Sampel

No	Parameter	Metode Pengujian	Metode Analisa
1	pH	SNI 06-6989.11-2004	pH-meter
2	COD	SNI 06-6989.2-2004	Refluks tertutup/ COD Mikro
3	Nitrat	<i>Standar Method</i>	Spektrofotometri
4	TSS	SNI 06-69892--2004	Gravimetri
5	Konduktivitas	SNI 06-6989.1-2004)	Konduktivimeter
6	Suhu	SNI 06-6989.23-2005	Termometer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Air Limbah Pabrik Tahu

Hasil pengukuran karakteristik air limbah Pabrik Tahu X pada Tabel 2 menunjukkan bahwa parameter pH, COD, NO₃ dan TSS melebihi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Pengukuran nitrat dilakukan karena nitrat merupakan salah satu senyawa organik yang menyebabkan eutrofikasi.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Tahu

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu*	Ket
pH	-	3,6	6-9	M
COD	mg/L	1.760	300	M
NO ₃	mg/L	4,5	10**	
TSS	mg/L	3.301,2	200	M
Konduktivitas		2800	-	
Suhu	°C	25	-	

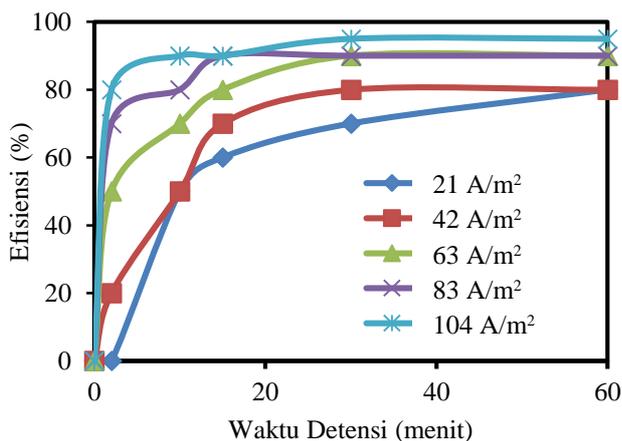
Keterangan: M = melebihi baku mutu

* Permen LH No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran XVIII Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

** PP No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

3.2 Pengaruh Kerapatan Arus dan Waktu Detensi pada COD

Pengaruh variasi rapat arus dan waktu kontak proses elektrokoagulasi pada air limbah tahu dapat dilihat pada **Gambar 2**. Pada variasi rapat arus 21 A/m² penurunan COD meningkat tajam dari menit ke-2 hingga menit ke-10. Setelah menit ke-10 efisiensi penyisihan tidak mengalami kenaikan yang signifikan dan cenderung konstan. Sementara itu, pada variasi rapat arus 42 A/m² efisiensi penurunan COD pada menit ke-2 lebih besar dibandingkan dengan kuat arus 21 A/m² pada menit ke-2. Hal yang sama juga terjadi pada rapat arus yang lebih tinggi. Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai pada penurunan COD adalah 95% pada rapat arus 104 A/m² di menit ke-30.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Rapat Arus dan Waktu Kontak Terhadap Penyisihan COD

Waktu kontak limbah dengan elektroda termasuk faktor yang sangat berpengaruh dalam proses elektrokoagulasi. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu kontak maka jumlah listrik yang dialirkan akan semakin besar dan pelepasan ion-ion pada

elektroda akan semakin besar juga. Waktu kontak yang efektif dalam penurunan COD pada percobaan ini adalah 10 menit dengan efisiensi penyisihan 90%.

Waktu kontak yang diperoleh jauh lebih singkat dibandingkan penelitian Elnenay, et al (2017) yang mencapai efisiensi optimum pada waktu 20 menit dengan efisiensi 83 %. Elnenay dkk, (2017) menggunakan elektroda aluminium sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda. Sedangkan pada waktu yang sama Adeline (2015) memperoleh efisiensi yang lebih besar yaitu 90 % dalam menyisihkan COD pada limbah perkantoran. Hal ini dikarenakan adanya penyaringan limbah terlebih dahulu sebelum penelitian dilakukan.

Peningkatan efisiensi penyisihan yang cenderung konstan setelah menit ke-10 dikarenakan seiring bertambahnya waktu kontak maka COD semakin menurun. Penurunan COD tergantung kepada konsentrasi ion-ion yang berasal dari reaksi redoks pada elektroda. Anoda akan melepaskan ion Al³⁺ sementara itu katoda akan melepaskan ion OH⁻ seperti reaksi di bawah ini

Anoda



Katoda



Ion-ion tersebut bekerja sesuai dengan teori *double layer* yaitu lingkaran terdalam akan diisi oleh koagulan bermuatan positif yang akan menyerap ion-ion negatif yang terletak pada lingkaran luar. Muatan positif dan negatif yang bertemu akan menyebabkan terjadinya gaya Van der Waals (tarik menarik) antara kedua ion tersebut. Gaya tersebut membentuk ikatan yang sangat kuat sehingga terbentuklah koagulan. Koagulan ini akan mengikat polutan dan membentuk flok. Flok tersebut akan bertambah besar hingga dapat mengendap dengan sendirinya. Dengan adanya pengendapan maka akan terjadi penurunan senyawa organik dalam limbah (Hanum, 2015).

Pada katoda selain melepaskan ion OH⁻, katoda juga melepaskan gas hidrogen. Gas hidrogen membentuk gelembung – gelembung gas. Polutan yang terdapat pada air limbah akan menempel pada gelembung-gelembung gas tersebut. Dengan demikian polutan akan terbawa ke permukaan dan dapat dipisahkan dari air limbah. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyisihan COD. Gelembung gas yang terbentuk di permukaan air limbah dapat dilihat pada **Gambar 3**.

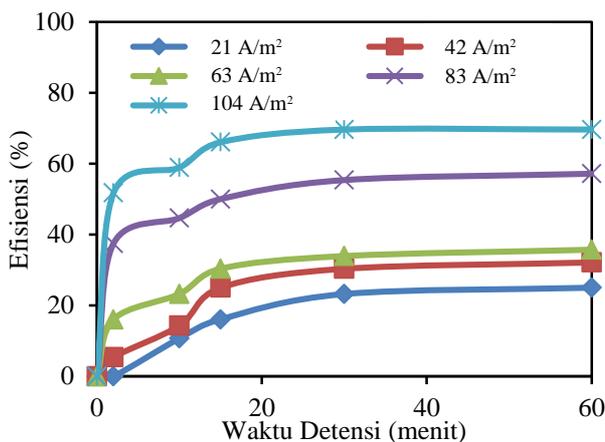


Gambar 3. Gelembung-gelembung Gas Hidrogen pada Proses Elektrokoagulasi

Efisiensi penurunan COD pada air limbah tahu meningkat seiring bertambah besarnya rapat arus yang digunakan. Hal ini dikarenakan pelepasan ion-ion tergantung pada rapat arus yang digunakan. Hal ini dikarenakan pelepasan ion-ion dari elektroda tergantung pada rapat arus yang digunakan. Semakin besar rapat arus yang digunakan maka akan semakin banyak ion-ion yang dilepaskan dari elektroda (Rachmawati, 2015).

3.3 Pengaruh Kerapatan Arus dan Waktu Detensi pada Penurunan Nitrat (NO_3)

Pengaruh variasi rapat arus dan waktu kontak terhadap penurunan nitrat (NO_3) dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk waktu kontak 15 menit pertama konsentrasi NO_3 mengalami penurunan yang signifikan pada setiap variasi rapat arus. Sementara itu pada menit 30 dan menit 60 peningkatan efisiensi penurunan relatif konstan. Efisiensi penurunan nitrat tertinggi adalah 69,64 % pada rapat arus 104 A/m^2 menit ke-30.



Gambar 4. Pengaruh Variasi Rapat Arus dan Waktu Kontak Terhadap Penyisihan Nitrat (NO_3)

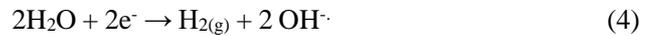
Efisiensi penyisihan NO_3 memiliki pola yang sama dengan efisiensi penurunan COD. Efisiensi penurunan NO_3 meningkat seiring bertambah besarnya rapat arus

yang digunakan. Arus listrik searah yang dialirkan akan menyebabkan oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda. Reaksi yang terjadi pada elektroda saat penurunan NO_3 adalah sebagai berikut (Majlesi, 2016):

Anoda



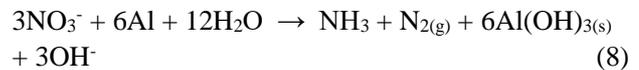
Katoda



Aluminium akan mereduksi nitrat menjadi nitrit, amonia dan gas nitrogen, seperti pada reaksi berikut ini



Secara keseluruhan menjadi



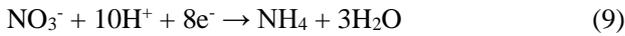
Karena adanya ion hidroksida maka ion aluminium akan memanfaatkan ion hidroksida sebagai koagulan.

Semakin lama waktu kontak yang terjadi pada proses elektrokoagulasi maka semakin besar pula persentase penurunan konsentrasi NO_3 yang terjadi. Tetapi setelah menit ke-15 penurunan cenderung konstan. Efisiensi penurunan NO_3 yang cenderung konstan dikarenakan terjadi kejenuhan pada plat elektroda yang digunakan sehingga kemampuan elektroda untuk menarik polutan dalam limbah menjadi berkurang. Dampak dari kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan besarnya medan magnet pada elektroda (Siringo-ringo, 2013).

Medan magnet yang cukup besar di antara plat elektroda akan menyebabkan ion-ion polutan yang dominan saling berkompetisi untuk menempel pada plat elektroda. Selain itu proses oksidasi pada plat anoda juga masih besar. Efisiensi penyisihan NO_3 masih meningkat walaupun air limbah tampak keruh. Kekeruhan pada air limbah disebabkan oleh polutan dan flok Al(OH)_3 . Flok Al(OH)_3 mengikat polutan yang ada pada air limbah dan kemudian mengendap. Pada saat plat elektroda sudah jenuh, maka medan magnet yang terjadi sangat kecil sehingga proses elektrokimia menjadi minimum dan proses elektrokoagulasi tidak terjadi, sehingga kadar NO_3 akan menjadi tetap (Yolanda, 2015).

Semakin besar rapat arus yang digunakan maka semakin besar pelepasan gas hidrogen. Gas – gas hidrogen ini

akan berkurang dikarenakan terjadinya proses depolarisasi pada ion nitrat. Depolarisasi merupakan perubahan ion bermuatan negatif menjadi ion bermuatan positif. Nitrat direduksi menjadi ion amonium seperti reaksi berikut

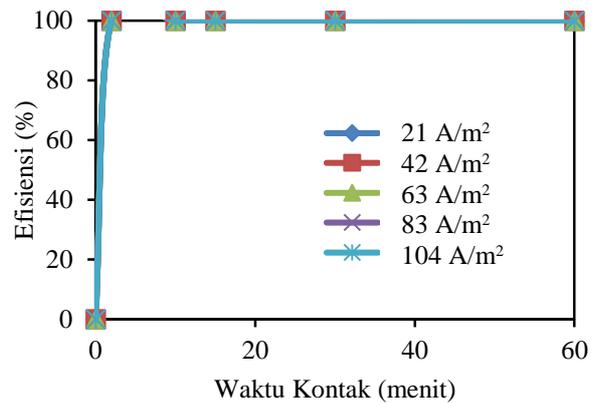


Pengurangan gas hidrogen akan mengakibatkan penurunan NO_3 pada air limbah.

Pengaruh waktu kontak pada efisiensi penurunan NO_3 juga memiliki pola yang sama dengan penurunan COD. Dimana semakin lama waktu kontak maka semakin tinggi pula efisiensi penurunan. Waktu optimum yang didapat pada penelitian ini adalah 15 menit dengan efisiensi 66,07 %. Hal ini berbeda dari penelitian yang dilakukan Majlesi (2016), yang mana waktu optimum penurunan NO_3 terjadi sebelum menit ke-30 dengan efisiensi 96%. Perbedaan ini dikarenakan Majlesi (2016) menggunakan jarak elektroda yang lebih rapat yaitu 1,5 cm dan sampel yang digunakan sampel artifisial. Jarak elektroda yang lebih rapat akan membantu mengurangi hambatan elektrolit yang berada di antara elektroda. Hambatan elektrolit yang berkurang akan mempercepat pengikatan ion-ion pada air limbah. Sampel artifisial juga akan menaikkan efisiensi penurunan dikarenakan senyawa yang disisihkan hanya NO_3 saja. Adamovic (2015) juga melakukan penelitian pengolahan elektrokoagulasi pada limbah percetakan dimana jarak elektroda yang digunakan sebesar 1 cm dan menghasilkan efisiensi 92,8 % pada penurunan kekeruhan dan 99% pada penurunan tembaga.

3.4 Pengaruh Kerapatan Arus dan Waktu Detensi pada Penurunan *Total Suspended Solid* (TSS)

Pengaruh variasi rapat arus dan waktu kontak terhadap penyisihan TSS dapat dilihat pada **Gambar 5**. Hasil pengukuran TSS menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi TSS sangat baik dengan menggunakan proses elektrokoagulasi. Pada menit ke-2 rata-rata efisiensi penyisihan hampir mencapai 100% pada setiap variasi rapat arus dan cenderung konstan hingga menit ke-60. Tetapi pada rapat arus 21 A/m^2 terjadi penurunan efisiensi penyisihan pada menit ke-10 hingga ke-30. Pada rapat arus 42 A/m^2 penurunan terjadi pada menit ke-15. Sedangkan pada rapat arus 63 A/m^2 dan 83 A/m^2 penurunan terjadi pada menit ke 30. Penyisihan terbaik tercapai pada rapat arus 104 A/m^2 pada waktu waktu 30 menit yaitu 99,998 %.



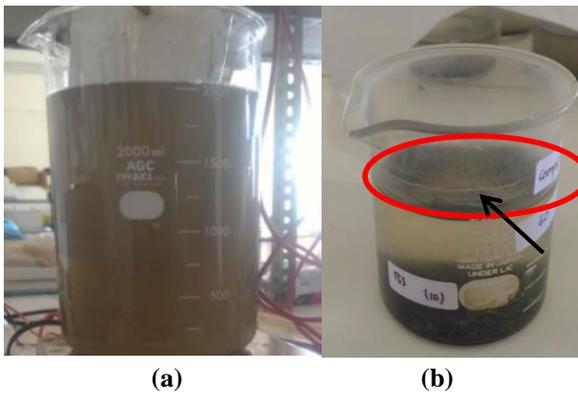
Gambar 5. Pengaruh Variasi Rapat Arus dan Waktu Kontak Terhadap Penyisihan TSS

Anoda yang digunakan pada penelitian ini adalah plat aluminum, sehingga akan membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ setelah mengalami reaksi oksidasi. Mekanisme pengendapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada bak elektrokoagulasi mengikuti prinsip koagulasi-flokulasi. Pada proses ini akan terjadi pertumbuhan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi besar dan akhirnya mengendap (Setianingrum, 2016). Tetapi dikarenakan adanya pengadukan dan gas hidrogen, beberapa flok yang terbentuk akan menempel pada dinding wadah sampel seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Flok yang Masih Belum Mengendap

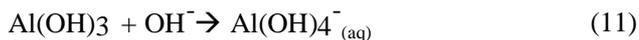
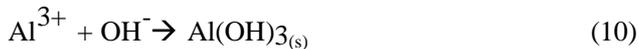
Pelepasan gas hidrogen pada proses elektrokoagulasi menyebabkan terjadinya proses flotasi pada sampel. Gas hidrogen akan mengikat partikel polutan yang memiliki densitas partikel lebih kecil dibandingkan dengan densitas air sehingga cenderung mengapung. Flok yang terangkat ke permukaan sampel dapat dilihat pada **Gambar 7(b)**. Pembentukan flok pada proses elektrokoagulasi berhubungan dengan besarnya kuat arus dan tegangan listrik yang diberikan. Semakin besar kuat arus dan tegangan yang diberikan semakin banyak pula flok-flok dihasilkan yang dapat mengikat kontaminan pada limbah. Pengikatan flok pada proses elektrokoagulasi juga dibantu oleh kecepatan pengadukan (Mollah dkk., 2004).



Gambar 7. (a) Sampel sebelum Proses Elektrokoagulasi (b) Flok yang Terbentuk dari Proses Flotasi Setelah Proses Elektrokoagulasi

3.5 Pengaruh pH terhadap Efisiensi Penyisihan

pH awal air limbah tahu adalah 3,6, kemudian dilakukan penambahan NaOH hingga pH menjadi 7. Hal ini dikarenakan pH larutan mempengaruhi keseluruhan efisiensi dan efektifitas elektrokoagulasi. Aluminium hidroksida yang berperan sebagai koagulan akan mengalami presipitasi pada pH 6-10 (Munawarti,2015). Berlangsungnya proses reaksi elektrodik mengakibatkan terjadinya perubahan komposisi elektrolit terutama kenaikan pH karena adanya pelepasan OH^- dan gas $\text{H}_{2(\text{g})}$ pada reaksi katodik. Apabila OH^- yang dilepaskan semakin banyak sehingga menaikkan nilai pH dan melarutkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ menjadi $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, sesuai dengan reaksi berikut:

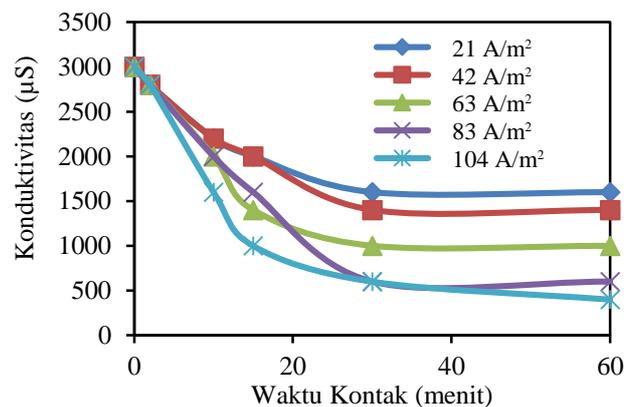


Efisiensi penurunan COD, NO_3 dan TSS pada penelitian ini cukup baik. Hal ini bisa menjadi indikator bahwa pH yang digunakan sudah tepat untuk proses elektrokoagulasi. Sementara itu pH saat kondisi optimum pada penelitian ini adalah 8,5. Penelitian elektrokoagulasi dengan pH yang sama dilakukan oleh Elnenay dkk (2017) dalam menyisihkan COD dari limbah hasil pengeboran. Efisiensi dari penelitian tersebut adalah 89%. Sementara itu Majlesi, dkk (2016) melakukan penurunan nitrat dengan elektrokoagulasi dengan pH yang sama. Efisiensi terbaik dalam penurunan nitrat mencapai 96%. Nofitasari (2012) menyatakan bahwa besarnya pH tidak mengalami perubahan yang berarti. Dimana pH awal limbah cair *elektroplating* 6,26 menjadi 7,18 setelah proses elektrokoagulasi.

Nur (2014) menyatakan bahwa rentang pH optimum dalam menyisihkan COD, kekeruhan dan minyak lemak dari limbah hotel pada rentang 4 -10. Tak (2015) menyatakan bahwa rentang pH terbaik untuk penurunan COD dari limbah peternakan adalah 4 – 8. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa pH yang menjadi indikator terdapatnya ion OH^- pada proses elektrokoagulasi dan mempengaruhi pelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$.

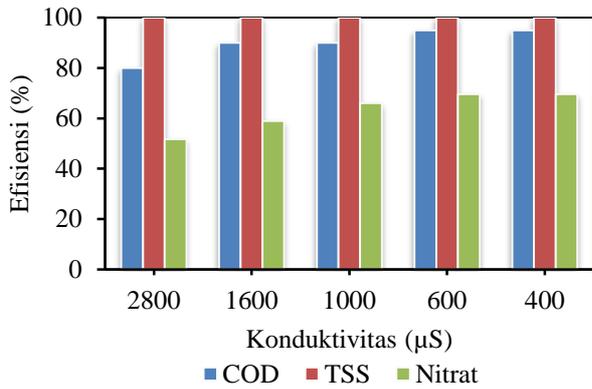
3.6 Konduktivitas

Hasil pengukuran konduktivitas dapat dilihat pada **Gambar 8** Konduktivitas awal limbah 3000 μS kemudian cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu kontak dan cenderung kosntan pada setelah menit ke-30. Penurunan konduktivitas memiliki tren yang sama seperti COD dan NO_3 , dimana penurunan konduktivitas meningkat seiring bertambah besarnya rapat arus. Persentase penurunan konduktivitas mencapai 86% pada rapat arus 104 A/m^2 .



Gambar 8. Pengaruh Variasi Rapat Arus dan Waktu Kontak Terhadap Konduktivitas

Konduktivitas merupakan ukuran kemampuan dari suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik (Nourma, 2013). Nilai konduktivitas akan menunjukkan konsentrasi ion-ion dalam larutan. Pada proses elektrokoagulasi akan terjadi pelepasan ion-ion dari elektroda untuk mengikat polutan. Ion-ion Al^{3+} dan OH^- akan berikatan membentuk koagulan dan mengikat polutan yang kemudian akan diendapkan. Sementara itu gas H^+ akan menyebabkan terjadinya proses flotasi yang juga mengurangi polutan air limbah tahu. Oleh karena itu konduktivitas berbanding terbalik dengan efisiensi penurunan. Semakin tinggi efisiensi penurunan yang didapat maka semakin rendah konduktivitas larutannya. Hubungan efisiensi penyisihan dengan konduktivitas dapat dilihat ada **Gambar 9**.

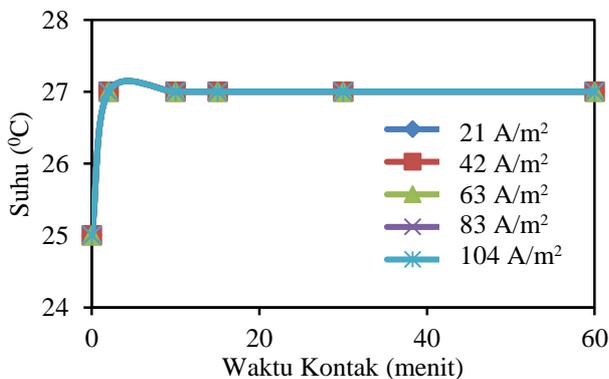


Gambar 9. Pengaruh Konduktivitas Terhadap Efisiensi Penyisihan COD, NO₃ dan TSS

Konduktivitas dipengaruhi oleh ion – ion logam yang berada pada larutan. Semakin sedikit ion logam pada larutan maka semakin rendah konduktivitasnya (Afrian, 2014). Pada proses elektrokoagulasi semakin lama waktu kontak maka semakin sedikit ion Al³⁺ yang dilepaskan dikarenakan adanya kejenuhan pada elektroda dan pembentukan flok. Oleh karena itu penurunan konduktivitas semakin banyak seiring bertambahnya waktu kontak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hudori (2008) karena ion-ion dari elektroda akan mengikat ion-ion yang berada pada air limbah untuk membentuk flok yang dapat dipisahkan. Setelah menit ke-30 konduktivitas cenderung konstan sejalan dengan efisiensi penurunan polutan dimana cenderung konstan setelah menit ke-30. Sementara itu Adeline (2015) juga menemukan hasil penelitian dimana konduktivitas menurun seiring bertambahnya waktu kontak hingga ke menit-60.

3.7 Suhu

Hasil pengukuran suhu dapat dilihat pada **Gambar 10**. Suhu pada percobaan proses elektrokoagulasi mengalami kenaikan dari suhu awal limbah yaitu dari 25°C menjadi 27°C.

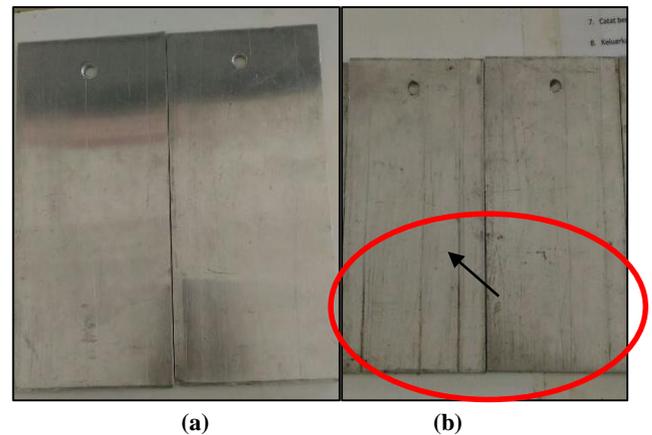


Gambar 10. Pengaruh Variasi Rapat Arus dan Waktu Kontak Terhadap Suhu

Kenaikan suhu air limbah dikarenakan adanya perubahan energi listrik menjadi energi panas pada air limbah (Siringo-ringo, 2014). Tetapi setelah menit ke-2 suhu sampel cenderung konstan. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan energi listrik yang menyebabkan penguraian ikatan hidrogen pada molekul air. Penguraian molekul air ini akan menyerap panas sampai suhu pada sampel tidak mengalami perubahan lagi (Campbell, 1999).

3.8 Elektroda Aluminium

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium dengan kemurnian sebesar 95,7 % (Laboratorium Teknologi Mineral dan Batu Bara Bandung, 2014). Elektroda aluminium akan melepaskan ion Al³⁺ yang berfungsi untuk pembentukan flok pada air limbah. Pelepasan ion aluminium menyebabkan terjadi korosi pada katoda yang dapat dilihat pada **Gambar 11**. Adanya pengikisan pada katoda ini menyebabkan terjadinya kejenuhan katoda sehingga ion Al³⁺ yang dilepaskan berkurang yang mengakibatkan efisiensi penyisihan cenderung konstan.



Gambar 11 Elektroda Aluminium (a) Sebelum Proses Elektorkoagulasi (b) Setelah Elektrokoagulasi

Waktu kontak yang efektif dalam menurunkan COD adalah 10 menit sementara NO₃ pada waktu 15 menit dan TSS pada waktu 2 menit. COD dan NO₃ Konduktivitas sampel mengalami penurunan dikarenakan terjadinya penurunan polutan pada sampel. Penurunan terjadi dikarenakan adanya pelepasan ion Al³⁺, OH⁻ dan gas hidrogen pada elektroda. Semakin tinggi efisiensi penyisihan yang didapat maka semakin rendah konduktivitas larutannya. Sementara itu berdasarkan hasil penelitian ini pH yang menjadi indikator terdapatnya ion OH⁻ pada proses elektrokoagulasi dan mempengaruhi pelarutan Al(OH)₃. Selain itu pelepasan ion Al³⁺ dapat

dibuktikan dengan adanya korosi yang terjadi pada elektroda. Rekapitulasi kualitas air limbah tahu setelah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Rekapitulasi kualitas air limbah tahu setelah proses elektrokoagulasi

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	BM*	Setelah EC
pH	-	3,6	6-9	8,5
COD	mg/L	1.760	300	88
NO ₃	mg/L	4,5	10**	1,37
TSS	mg/L	3.301,2	200	0,05
Konduktivitas	μS	140	-	400
Suhu	°C	25	-	27

Keterangan: BM = Baku mutu, EC = Elektrokoagulasi

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi penyisihan optimum untuk COD, NO₃, dan TSS masing-masing sebesar 95%, 69,64%, dan 99,99 % pada rapat arus 104 A/m² dan waktu kontak 30 menit, sementara itu waktu optimum penyisihan COD terjadi pada waktu kontak 10 menit, NO₃ pada waktu 15 menit dan TSS pada waktu kontak 2 menit pada rapat arus 104 A/m²
2. Peningkatan efisiensi penyisihan COD, NO₃, TSS dan penurunan konduktivitas berbanding lurus dengan peningkatan rapat arus dan waktu kontak;
3. Air limbah tahu proses elektrokoagulasi memenuhi standar baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeline, L., Bambang I. dan Muhammad L. 2015. *Studi Kinerja Elektrokoagulasi Menggunakan Reaktor Kontiniu dan Batch terhadap Air Limbah Domestik Perkantoran Gedung Syarif Thajeb (M) Universitas Trisakti*. Jurnal Jursan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti Vol 7 No. 2 Desember 2015, 67 – 74.
- Afriani, C. 2014. *Pengukuran Electrical Conductivity (EC)*. Jurnal Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.
- Campbell, N. A, Jane, B. R and Lawrence, G. M. 2002. *Biologi*. Erlangga. Jakarta
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kansisius. Jogjakarta
- Elenenay, A.M.H., Ehsan N., Gehan F.M and Mohamed H.A.M. 2016. *Treatment of Drilling Fluids Wastewater by Electrocoagulation*. Egyptian Journal of Petroleum (2017) 26, 203 – 208.
- Hanum, F. 2015. *Aplikasi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 4, No. 4
- Kaswinarni, F. 2013. *Tesis Kajian Teknis Pengolahan Limah Padat dan Limbah Cair Industri Tahu*. Universitas Diponegoro
- Majlesi, M., Sayed, M.M., Mahdieh, S., Sohrab, G., and Amir S. 2016. *Improvement of Aqueous Nitrate Removal by Using Continuous Electrocoagulation/ Electroflotation Unit with Vertical Monopolar Electrode*. Journal Sustainable Environment Research 26 (2016) 287 – 290
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Parga, J. dan Cocke, D.L. 2004. *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*. Journal of Hazardous Materials. Vol. B114, pp. 199 – 210.
- Nur, A. 2014. *Aplikasi Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Aluminium pada Proses Daur Ulang Grey Water Hotel*. Jurnal Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Insitut Teknologi Bandung
- Rachmawati, B. 2015. *Jurnal Proses Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah Laundry*. Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 6 No 1 Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
- Siringo-ringo, E. 2013. *Pengunaan Metode Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Aluminium Sebagai Sacrificial Electrode*. Jurnal Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia
- SNI 06-6989. 11-2004, *Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter*
- SNI 06-6989. 1-2004, *Air dan Air Limbah – Bagian 1 : Cara Uji Daya Hantar Listrik (DHL)*
- SNI 06-6989. 73-2004 *Air dan Air Limbah- Bagian 73 : Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) dengan Refluks Tertutup secara titrimetri*
- SNI 06-6989. 23-2003, *Air dan Air Limbah – Bagian 23 : Cara Uji Suhu dengan Termometer*
- SNI 06-6989.3-2004, *Air dan Air Limbah- Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) secara Gravimetri*
- SNI 6989.59:2008, *Air dan Air Limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah*
- SNI 6989.79:2011, *Air dan Air Limbah – Bagian 79: Cara Uji Nitrat(NO₃-N) dengan Spektrofotometer UV-visibel secara Reduksi Kadmium*

- Sriharti, T. S. Dan Sukirno. 2004. *Teknologi Penanganan Limbah Cair Tahu*. Jurnal UPT Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna-LIPI
- Suyata, I. 2009. *Penurunan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu dengan Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi* Jurnal Fakultas Sains dan Teknik UNSOED Molekul, Vol 4 No. 2, November, 2009: 105-114
- Tak, B., Bong, T., Young, K., Yong, P. and Gil M. 2015. *Optimization of Color and COD Removal from Livestock Wastewater by Electrocoagulation Process: Application of BOX – Behnken Design (BBD)*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 28 (2015) 307 - 315
- Wahyuni, E. 2016. *Tingkat Toksisitas Limbah Cair Pabrik Tahu terhadap Pertumbuhan dan Kadar Protein Biji Tanaman Kacang Merah (Phaseollus vulgaris. L)*. Universitas Halu Oleo, Kendari.