

TUGAS AKHIR

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH DETERGEN MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN SISTEM KONTINU**



IRSYAAD CAESAR RAMADHAN

D131171303

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

TUGAS AKHIR

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH DETERGEN MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN SISTEM KONTINU**



IRSYAAD CAESAR RAMADHAN

D131171303

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Judul : **Pengolahan Air Limbah Detergen Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu**

Disusun Oleh :

Nama : **Irsyaad Caesar Ramadhan** **D131171303**

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 9 Juni 2022

Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, MSc.
NIDK : 8827760018

Pembimbing II

Nurjannah Oktorina, S.T., M.T.
NIDK. 8883201019

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irsyaad Caesar Ramadhan
NIM : D131171303
Program Studi : S1-Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **Pengolahan Air Limbah Detergen Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu** adalah hasil penelitian, pemikiran, karya ilmiah saya sendiri sebagai penulis dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulisan lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun terbitnya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan skripsi ini, maka penulis siap untuk klarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Gowa, 08 Juni 2022

Yang membuat pernyataan



Irsyaad Caesar Ramadhan

D131171303

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas rahmat, hidayah dan izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengolahan Air Limbah Detergen Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang telah mengantar umat manusia menuju masa yang terang benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang Strata-I Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari banyak kesulitan yang dihadapi selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan bimbingan, nasehat dan doa dari segala pihak, membuat penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada kedua orang tua Ir. Muslimin dan dr. Hj. Maidah yang senantiasa mendukung, mendoakan, dan memberi nasihat kepada penulis dan keluarga penulis yang terbaik, tercinta, dan sebagainya yang tidak bisa penulis ungkapkan semuanya. Semoga kesejahteraan dan keselamatan senantiasa mendampingi kehidupan kita. Pada kesempatan kali ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT. selaku Dekan dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc., selaku pembimbing pertama yang mendukung dan memperhatikan perkembangan penulis selama menyelesaikan tugas akhir.

5. Ibu Nurjannah Oktorina Abdullah, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang meluangkan waktu, membimbing, dan memperhatikan perkembangan penulis selama menyelesaikan tugas akhir.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan selama ini.
7. Pak Syarif selaku laboran Laboratorium Kualitas Air yang membantu penulis selama penelitian dilakukan di Laboratorium.
8. Seluruh Staf dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin terkhusus Ibu Sumi dan Kak Olan yang telah banyak membantu penulis dalam proses administrasi.
9. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Kualitas Air dalam Anak Air Bede (Ju, Eky, Ziq, Ten, Wasimah, Jijah, Firdha, Ajox, Putri, Ra, Ncus, Fhyphi, dan Afni) yang telah menyemangati penulis.
10. Penghuni Kos Nindi Nomor 12 (Fer, Ju, Eky, dan Ziq) yang menjadi tempat berkumpul, bertukar pendapat, dan rehat sejenak penulis.
11. Teman-teman Plastis 2018 yang telah sama-sama berjuang dari awal *Till The End*.

Serta kepada seluruh pihak yang membantu selama penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan kalian. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan dari tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberi manfaat untuk perkembangan dalam bidang ilmu pengetahuan.

Gowa, 06 Maret 2022

Penulis

ABSTRAK

IRSYAAD CAESAR RAMADHAN. *Pengolahan Air Limbah Detergen Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu* (dibimbing oleh Mary Selintung dan Nurjannah Oktorina Abdullah).

Kebanyakan limbah detergen di Indonesia dibuang ke dalam badan air tanpa ada perlakuan sebelumnya. Hal ini menyebabkan kemampuan *self purification* dari badan air akan menurun seiring berjalannya waktu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu pada parameter pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan fosfat.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan delapan buah elektrode aluminium yang dialirkan arus listrik searah (DC). Elektrode dipasang secara paralel dengan empat anode dan empat katode. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian adalah tegangan listrik dan debit aliran. Variasi tegangan aliran sebesar 12 V (V1), 18 V (V2), 24 V (V3), dan 30 V (V4). Sedangkan variasi debit aliran berupa 200 mL/menit (Q1), 400 mL/menit (Q2), 600 mL/menit (Q3), dan 800 mL/menit (Q4). Adapun karakteristik air limbah detergen yang didapatkan berupa pH 10,42, COD, 8440 mg/L, 1976 mg/L, fosfat 3,340 mg/L, dan klorida 200 mg/L.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel tegangan listrik dan debit aliran memiliki pengaruh dalam menyisihkan polutan. Pada variasi yang diteliti metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu secara efektif hanya mampu mengolah TSS dan fosfat di bawah baku mutu yang diprasyarkan. Sedangkan, parameter pH dan COD tidak mampu memenuhi baku mutu yang diprasyarkan. Variasi Q1V4 dengan tegangan listrik 40 V dan debit aliran 800 mL/menit yang disertai dengan konsentrasi aluminium sebesar 139,896 mg/L dan konsumsi energi sebesar 12,5 kWh/m³ merupakan variasi terbaik dalam penyisihan air limbah detergen dengan penurunan kadar COD, TSS, dan fosfat masing-masing 22,63%, 97,05% dan 78,02%.

Kata kunci : Detergen, Elektrokoagulasi, Elektrode Aluminium, Sistem Kontinu

ABSTRACT

IRSYAAD CAESAR RAMADHAN. *Detergent Wastewater Treatment Using Electrocoagulation Method with Continuous System* (guided by Mary Selintung and Nurjannah Oktorina Abdullah)

Most detergent wastewater in Indonesia is discharged into water bodies without any prior treatment. This causes the self-purification ability of water bodies to decrease over time. This study aims to determine the effectiveness of detergent wastewater treatment using the electrocoagulation method with a continuous system on pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), and phosphate.

The research was using eight aluminium electrodes which were supplied with Direct Current (DC). The electrodes are installed in parallel with four anodes and four cathodes. The independent variables are electric voltage and flow rate. The variation of electric voltage is 12 V (V1), 18 V (V2), 24 V (V3), and 30 V (V4). While the variations in flow rate are 200 mL/minute (Q1), 400 mL/minute (Q2), 600 mL/minute (Q3), and 800 mL/minute (Q4). The characteristics of the detergent wastewater were pH 10,42, COD, 8440 mg/L, 1976 mg/L, phosphate 3,340 mg/L, and chloride 200 mg/L.

The results shows that electric voltage and flow rate have an influence in removing pollutants. The method was effectively only able to process TSS and phosphate below the quality standard. Meanwhile, the pH and COD parameters were not able to meet the quality standards. The variation of Q1V4 with electric voltage of 40 V and flow rate of 800 mL/minute accompanied by aluminium concentration of 139,896 mg/L and energy consumption of 12.5 kWh/m³ is the best variation in the removal of detergent wastewater with a decrease in COD, TSS, and phosphates were 22.63%, 97,05% and 78.02%, respectively.

Keywords : Detergent, Electrocoagulation, Aluminium Electrode, Continuous System

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Ruang Lingkup	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Air Limbah Detergen	7
B. Pengolahan Air Limbah	15
C. Elektrokoagulasi	17
D. Sistem Kontinu	21
E. Studi Penelitian Terdahulu Yang Relevan	23

BAB III METODE PENELITIAN	29
A. Diagram Alir Penelitian	29
B. Rancangan Penelitian	30
C. Waktu dan Lokasi Penelitian	32
D. Alat dan Bahan	32
E. Populasi dan Sampel	33
F. Pelaksanaan Penelitian	34
G. Teknik Pengumpulan Data	39
H. Teknik Analisis Data	39
BAB IV PEMBAHASAN	40
A. Gambaran Umum Penelitian	40
B. Pengaruh Tegangan Listrik dan Debit Aliran	43
C. Konfigurasi Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu	59
D. Efektivitas Pengolahan Air Limbah Detergen	70
BAB V PENUTUP	76
A. Kesimpulan	76
B. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	81

DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Baku Mutu Air Limbah Detergen	15
2. Kemampuan Pengolahan Metode Elektrokoagulasi	20
3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian	23
4. Variabel Penelitian	30
5. Metode Pengujian Sampel	37
6. Karakteristik Limbah Detergen	40
7. Hasil Pengujian Parameter pH pada Variasi Tegangan Listrik	43
8. Hasil Pengujian Parameter pH pada Variasi Debit Aliran	44
9. Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Debit Aliran Terhadap pH	45
10. Hasil Pengujian Parameter COD pada Variasi Tegangan Listrik	47
11. Hasil Pengujian Parameter COD pada Variasi Debit Aliran	48
12. Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Debit Aliran Terhadap Efisiensi Penyisihan COD	49
13. Hasil Pengujian Parameter TSS pada Variasi Tegangan Listrik	51
14. Hasil Pengujian Parameter TSS pada Variasi Debit Aliran	52
15. Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Debit Aliran Terhadap Efisiensi Penyisihan TSS	53
16. Hasil Pengujian Parameter Fosfat pada Variasi Tegangan Listrik	55
17. Hasil Pengujian Parameter Fosfat pada Variasi Debit Aliran	56
18. Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Debit Aliran Terhadap Efisiensi Penyisihan Fosfat	57
19. Lama Waktu Kontak	59
20. Nilai Arus Listrik, Daya Listrik, dan Kerapatan Arus	59
21. Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap pH	60
22. Analisis Hubungan Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap pH	61
23. Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap COD	63

24. Analisis Hubungan Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap COD	63
25. Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap TSS	65
26. Analisis Hubungan Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap TSS	66
27. Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap Fosfat	68
28. Analisis Hubungan Konsentrasi Aluminium dan Konsumsi Energi terhadap Fosfat	68

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Skema Reaksi Elektrokoagulasi	19
2. Diagram Alir Penelitian	29
3. Ilustrasi Desain Reaktor	34
4. Ilustrasi Skema Pengolahan	35
5. Analisis <i>Flow Simulation</i> Unit Elektrokoagulasi	41
6. Rangkaian Reaktor	42
7. Sampel Air Limbah Detergen	42
8. Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Parameter pH	46
9. Pengaruh Debit Aliran Terhadap Parameter pH	46
10. Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Parameter COD	50
11. Pengaruh Debit Aliran Terhadap Parameter COD	50
12. Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Parameter TSS	54
13. Pengaruh Debit Aliran Terhadap Parameter TSS	54
14. Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Parameter Fosfat	58
15. Pengaruh Debit Aliran Terhadap Parameter Fosfat	58
16. Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan pH	62
17. Hubungan Konsumsi Energi dengan pH	62
18. Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan COD	64
19. Hubungan Konsumsi Energi dengan COD	65
20. Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan TSS	67
21. Hubungan Konsumsi Energi dengan TSS	67
22. Hubungan Konsentrasi Aluminium dengan Fosfat	69
23. Hubungan Konsumsi Energi dengan Fosfat	70
24. Penurunan Nilai Parameter pH	71
25. Efisiensi Penyisihan pada Parameter COD	72
26. Efisiensi Penyisihan pada Parameter TSS	73
27. Efisiensi Penyisihan pada Parameter Fosfat	74

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

1. *Detail Engineering Design* Reaktor
2. Metode Pengujian Sampel
3. Baku Mutu Air Limbah Detergen
4. Dokumentasi
5. Laporan Hasil Pengujian
6. Hasil Analisis Statistika

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia. Badan Pusat Statistika (BPS) pada Sensus Penduduk 2020 mencatat dalam kurun waktu 2010-2020 laju pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,25 persen dengan jumlah penduduk pada tahun 2020 sebesar 270,20 juta jiwa. Adapun, proporsi penduduk daerah perkotaan yang meningkat hingga 56,7 persen. Hal ini dapat menjadi titik-titik baru permasalahan lingkungan khususnya dalam pengolahan air limbah.

Kondisi pengelolaan air limbah di Indonesia sudah pada tahap yang sangat memprihatinkan. Dari sektor domestik, BPS mencatat pada tahun 2019 lebih dari separuh rumah tangga membuang air limbah ke badan air yakni sebesar 57,42 persen. Sedangkan, porsi rumah tangga yang membuang air limbah melalui IPAL dan tangki septik masing-masing sebesar 1,28 persen dan 10,26 persen. Dampaknya dapat dilihat dari jumlah sungai di Indonesia yang mengalami pencemaran pada kurun waktu 2018-2019. Terdapat kenaikan jumlah status sungai cemar sedang dari 5 menjadi 6 sungai dan jumlah status sungai cemar berat dari 25 menjadi 38 sungai.

Mayoritas sungai di Indonesia yang melewati kota-kota besar mengalami pencemaran salah satunya Sungai Jeneberang di Makassar. Sabara dkk. (2020) dan BPS (2019) mencatat pada Sungai Jeneberang memiliki kandungan *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Fecal Coli* masing-masing sebesar 3,30 mg/L; 2,76 mg/L; 13,54 mg/L; 11 mg/L; dan 430 jml/100 ml. Kandungan dari mayoritas parameter tersebut melewati baku mutu kualitas air . Pencemaran ini didominasi oleh limbah domestik yang berasal dari daerah pemukiman

Sumber pencemaran limbah domestik tersebut adalah *black water* berupa air kakus dan *grey water* berupa air limbah detergen. Air kakus mengandung banyak

mikroorganisme yang memberikan kontribusi terhadap rendahnya parameter DO serta tingginya parameter BOD dan *Fecal Coli*. Sedangkan, air limbah detergen merupakan komponen kimia yang mengandung banyak bahan seperti surfaktan, penguat, pemutih, dan penimbul busa (Yuliani, 2015). Air limbah detergen ini memberikan kontribusi terhadap tingginya parameter COD. Pencemaran limbah detergen ini juga dapat menyebabkan eutrofikasi di badan air imbas dari kadar fosfat yang tinggi (Ngatia dan Tylor, 2018).

Pengolahan limbah detergen dari rumah tangga saat ini masih kurang mendapatkan perhatian dari masyarakat maupun pemerintah. Kebanyakan limbah detergen di Indonesia dibuang ke dalam badan air tanpa ada perlakuan sebelumnya. Hal ini menyebabkan kemampuan *self purification* dari badan air akan menurun seiring berjalannya waktu. Penurunan kualitas air akan berimbas pada keterbatasan dalam penggunaan air sebagai air baku (Rangeti dan Dzwairo, 2021).

Oleh karena itu, diperlukannya pengolahan terhadap limbah detergen sebelum dibuang ke dalam badan air. Metode pengolahan limbah detergen dapat dilakukan menggunakan penguraian biologis yang merombak senyawa pada detergen menjadi bahan dengan sifat-sifat yang dapat diterima lingkungan. Metode lain yang dapat digunakan adalah koagulasi-flokulasi yang memanfaatkan bahan kimia berupa koagulan. Efisiensi metode koagulasi-flokulasi dalam mengelola parameter COD air limbah tergolong tinggi hingga 83 persen dengan menggunakan koagulan *ferric sulfate* (Malakootian dkk., 2016). Akan tetapi, kekurangan metode-metode tersebut terletak pada biaya pengoperasian, area unit pengolahan yang besar, dan menggunakan bahan khusus. Hal ini menjadikan metode-metode tersebut sulit diterapkan secara komunal seperti pada kawasan domestik maupun kawasan komersial.

Salah satu metode yang efektif dan efisien dalam mengelola limbah detergen adalah metode elektrokoagulasi yang memanfaatkan koagulan yang berasal dari korosi elektrode akibat elektrolisis. Kelebihan dari metode elektrokoagulasi ini berupa tingkat efisiensi pengolahan yang tinggi pada parameter COD hingga lebih dari 90 persen (Suprihatin dan Aselfa, 2020) dan *sludge* yang dihasilkan lebih ramah lingkungan tanpa perlunya pengelolaan khusus. Kelebihan lainnya berupa

tidak diperlukannya bahan khusus seperti bahan kimia maupun mikroorganisme tertentu. Di sisi lain, biaya operasi dan perbaikannya lebih rendah jika dibandingkan metode pengolahan air limbah lainnya.

Pemanfaatan metode elektrokoagulasi saat ini umumnya menggunakan sistem *batch* yang membiarkan air limbah tersebut dikelola pada waktu tunggu tertentu. Penggunaan sistem *batch* sulit diterapkan pada berbagai skala pengolahan air limbah detergen. Oleh karena itu, perlu kiranya dikembangkan sistem kontinu sebagai alternatif metode sistem pengolahan sehingga proses elektrokoagulasi yang dapat terus berjalan dalam mengelola air limbah detergen.

Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukannya penelitian terkait “Pengolahan Air Limbah Detergen Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Sistem Kontinu” dalam skala laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel air limbah detergen yang berasal dari air limbah penatu yang dihasilkan dari Laundry Shifa. Pemilihan sampel air limbah penatu dikarenakan air limbah penatu tersebut dapat mewakili karakteristik limbah detergen. Selain itu, mayoritas industri penatu di kawasan tersebut belum memiliki sistem pengolahan air limbah. Hal ini dapat berdampak pada menurunnya kualitas air pada badan air. Adapun parameter zat pencemar yang akan diamati terbatas pada pH, COD, TSS, dan fosfat karena telah mewakili karakteristik zat pencemar air limbah detergen.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan listrik dan debit aliran terhadap efisien terhadap efisiensi pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu?
2. Bagaimana konfigurasi metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu untuk mencapai efisiensi pengolahan air limbah detergen yang optimum?
3. Bagaimana efektivitas pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi tegangan listrik dan debit aliran terhadap efisiensi pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu.
2. Merancang konfigurasi metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu untuk mencapai efisiensi pengolahan air limbah detergen yang optimum.
3. Mengukur efektivitas pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi penulis:

Sebagai kontribusi dalam melaksanakan penelitian sebagai bagian dari kewajiban Tri Dharma Perguruan Tinggi serta merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi sarjana di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi instansi pendidikan:

Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan riset bidang kualitas air pada metode pengolahan air limbah terutama pada pengolahan air limbah detergen dan metode elektrokoagulasi.
3. Bagi pelaku usaha:

Sebagai salah satu alternatif pengolahan air limbah detergen dalam usaha pengelolaan lingkungan terutama pada bidang air limbah.
4. Bagi masyarakat:

Memberikan pengetahuan kepada masyarakat terkait pengolahan air limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu sehingga masyarakat dapat sadar akan pentingnya pengolahan air limbah terutama limbah detergen

E. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan berupa penelitian eksperimental pada skala laboratorium.
2. Model prototipe pengolahan limbah detergen menggunakan metode elektrokoagulasi dengan sistem kontinu.
3. Sampel air limbah detergen yang digunakan berupa sampel terkontrol yang dibuat dengan konsentrasi tertentu mengikuti sampel air limbah detergen asli.
4. Variasi yang akan digunakan adalah beberapa konfigurasi debit aliran dan tegangan listrik.
5. Parameter yang akan dipantau adalah *Power of Hydrogen* (pH), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan fosfat (PO₄).

F. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yang mencakup lingkup bahasan tersendiri. Adapun sistematika penulisan untuk mendapatkan arah dan gambaran penelitian ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, dasar pemikiran perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai teori dan informasi tentang pengolahan air limbah detergen dan metode elektrokoagulasi dalam kaitannya dengan pengembangan penelitian dalam penyelesaian masalah yang diteliti.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai kerangka berpikir penelitian, ruang lingkup, metode pengumpulan data, dan metode analisis data yang digunakan pada penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil yang didapatkan dari penelitian terkait masalah yang diteliti. Pada bab ini data yang dikumpulkan akan disajikan dan dianalisis untuk mendapatkan jawaban dari masalah yang diteliti.

BAB V PENUTUP

Bab ini mencakup penarikan kesimpulan dari data-data hasil penelitian beserta saran terkait dengan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air Limbah Detergen

Air limbah adalah air yang telah digunakan manusia dalam berbagai aktivitasnya. Air limbah tersebut dapat berasal dari aktivitas rumah tangga, perkantoran, pertokoan, fasilitas umum, industri maupun dari tempat-tempat lain. Air limbah berupa air bekas yang tidak terpakai yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia dalam memanfaatkan air bersih (Supriyatno, 2000). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah menyebutkan bahwa air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair.

Limbah detergen merupakan limbah air limbah dari limbah industri dan aktivitas rumah. Komponen utama ditemukan di dalam detergen adalah surfaktan, *builder* (pembentuk) berupa komponen fosfat, dan aditif. Surfaktan dan *builder* dapat menyebabkan efek secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan dan manusia. Surfaktan dapat menghilangkan kelembapan pada permukaan sehingga menyebabkan permukaan kasar dan meningkatkan permeabilitas lapisan terluar. Fosfat digunakan sebagai *builder* pada detergen berbentuk *Sodium Tri Poly Phosphate* (Suprihatin dan Aselfa, 2020).

1. Klasifikasi detergen

Detergen merupakan produk yang mengandung surfaktan dan kandungan lainnya yang digunakan untuk mencuci kain. Kemampuan ini didapatkan akibat sifat hidrofobik dan hidrofilik pada molekul detergen. Detergen ini memiliki beragam jenis variasi kombinasi antara kutub hidrofobik dan hidrofilik. Menurut Bhairi dan Mohan (2007) mengklasifikasikan detergen berdasarkan gugus kutub hidrofilik sebagai berikut:

a. Detergen ionik

Detergen ionik memiliki gugus kutub dengan kandungan ion yang seimbang antara negatif (anion) atau positif (kation). Detergen ionik ini memiliki kandungan rantai hidrokarbon (alkil) berupa *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS), *Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide* (CTAB), atau struktur steroid kompleks lainnya. Secara umum, detergen ionik sangat efisien dalam memutus interaksi protein-protein dibandingkan interaksi lemak-lemak dan lemak-protein. Terdapat daya tolak antara gugus polar molekul detergen yang bermuatan sama dalam misel. Oleh karena itu, ukuran misel ditentukan oleh efek gabungan gaya tarik hidrofobik pada rantai dan gaya tolak gugus ionik. Akibatnya, penetralan muatan pada gugus kepala dengan peningkatan konsentrasi ion yang mengarah ke ukuran misel yang lebih besar. Ukuran misel juga meningkat dengan bertambahnya panjang rantai alkil.

b. Detergen non ionik

Detergen non ionik merupakan molekul tidak bermuatan, gugus kepala terdiri dari bagian *polyoxethylene* berupa gugus *glycosidic*. Secara umum, detergen non ionik lebih baik digunakan untuk memutus interaksi lemak-lemak dan lemak-protein daripada interaksi protein-protein. Oleh karena itu, detergen ini dianggap non denaturant dan banyak digunakan dalam isolasi protein membran dalam bentuk biologis aktifnya. Tidak seperti detergen ionik, garam memiliki efek minimal pada ukuran misel dari detergen non-ionik.

c. Detergen zwitterionik

Detergen zwitterionik merupakan molekul yang unik karena menawarkan sifat gabungan dari detergen ionik dan non ionik. Seperti detergen non ionik, detergen zwitterionik tidak memiliki muatan netral. Detergen ini tidak memiliki konduktivitas dan mobilitas elektroforesis serta tidak mengikat resin penukar ion. Di lain sisi seperti detergen ionik, detergen zwitterionik efisien dalam memutus interaksi protein-protein.

2. Sifat-sifat detergen

Bhairi dan Mohan (2007) menjelaskan beberapa sifat-sifat umum yang dimiliki detergen sebagai berikut:

a. *Critical micelle concentration (CMC)*

Critical micelle concentration merupakan konsentrasi terendah di atas monomer yang mengelompok untuk membentuk misel. Miselisasi terjadi pada rentang konsentrasi tertentu dengan cakupan yang sempit. Nilai CMC menurun dengan panjang rantai alkali dan meningkat dengan adanya ikatan rangkap dan titik percabangan rantai. Penambahan zat aditif seperti urea dapat memecahkan struktur rantai sehingga meningkatkan CMC. Pada detergen ionik, CMC berkurang dengan meningkatkan konsentrasi ion berlawanan, tetapi tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu. Sebaliknya, CMC dari detergen non ionik tidak terpengaruhi oleh peningkatan kekuatan ionik, tetapi terjadi peningkatan akibat peningkatan suhu. Di lain sisi, CMC yang tinggi diperlukan ketika dialisis digunakan untuk menghilangkan detergen.

b. *Kraft point*

Kraft point merupakan titik kesetimbangan antara tiga fase kristalin, misel, dan monomer detergen. Pada titik ini larutan detergen menjadi jernih dan konsentrasi detergen mencapai nilai CMC. Pada suhu yang sangat rendah, detergen tetap berada dalam bentuk kristal yang tidak larut dan berada dalam kesetimbangan dengan sejumlah kecil monomer terlarut. Dengan meningkatnya suhu, semakin banyak monomer yang masuk ke dalam larutan sampai konsentrasi detergen CMC. Pada titik ini detergen didominasi berbentuk misel.

c. *Cloud point*

Cloud point merupakan titik terjadinya pengeruhan dan pemisahan fase untuk menghasilkan lapisan kaya detergen dan lapisan air. Pemisahan fase ini terjadi karena penurunan hidrasi gugus kepala.

d. *Aggregation number*

Aggregation number merupakan jumlah molekul detergen monomer yang terkandung dalam satu misel. Nilai ini dapat diperoleh dengan membagi berat molekul misel dengan berat molekul monomer. Berat molekul misel dan monomer dapat diperoleh dengan teknik filtrasi gel, *light scattering*, kesetimbangan sedimentasi dan *small angle X-ray*. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai berupa ukuran misel dan kekuatan ion.

e. *Hydrophile-lipophile balance (HLB)*

Hydrophile-lipophile balance merupakan ukuran hidrofobisitas relatif detergen. Terdapat korelasi antara nilai HLB dan kemampuan melarutkan protein membran. Detergen yang paling hidrofobik memiliki nilai HLB mendekati nol, sedangkan detergen yang paling sedikit memiliki kemampuan hidrofobik memiliki nilai HLB mencapai 20. Pada umumnya, detergen dengan nilai HLB dalam kisaran 12 hingga 20 sering digunakan untuk pelarutan tanpa mengalami denaturasi.

3. Komposisi detergen

Keberadaan sifat-sifat yang dimiliki detergen tidak lepas dari komponen yang menyusun detergen itu sendiri. Bajpai dan Tyagi (2007) menjelaskan mengenai komposisi detergen sebagai berikut:

a. Surfaktan

Surfaktan merupakan zat aktif permukaan berupa molekul heterogen dan berantai panjang yang mengandung gugus hidrofilik dan hidrofobik. Salah satu ciri khas surfaktan adalah kecenderungannya untuk teradsorpsi pada permukaan molekul yang berorientasi sama dengan gugus hidrofilik atau hidrofobik yang dimilikinya. Kekhasan surfaktan ini akan memberikan informasi tentang jenis dan mekanisme interaksi yang melibatkan surfaktan pada permukaan dan kemampuannya sebagai zat aktif permukaan.

Pada suatu detergen memungkinkan untuk mengandung lebih dari satu jenis surfaktan. Hal ini disesuaikan dengan peruntukan detergen yang

mempunyai kemampuan untuk menghilangkan jenis tanah tertentu, efektivitas pada kain tertentu, dan respons terhadap kesadahan air. Kemampuan surfaktan dapat ditentukan dengan memvariasikan gugus hidrofilik dan hidrofobik.

b. *Builder*

Builder merupakan komponen terpenting setelah surfaktan yang membentuk kemampuan detergen. Hal ini dikarenakan *builder* berperan dalam membangun sifat air agar surfaktan dapat bekerja secara maksimal. Beberapa contoh peranan *builder* pada detergen berupa melunakkan air sadah, menyediakan kondisi alkalinitas yang sesuai, dan menghilangkan tanah pada kain.

c. *Processing aids*

Processing aids merupakan beberapa komponen yang membantu kinerja surfaktan agar lebih efisien. Salah satu contoh komponennya adalah solven seperti alkohol. Alkohol ini berguna untuk pelarut bahan detergen, menyesuaikan viskositas, dan mencegah terjadinya pemisahan produk. Selain itu, alkohol untuk menurunkan titik beku.

d. *Anti redeposition agents*

Anti redeposition agents merupakan komponen yang mencegah tanah yang terpisah untuk mengendap kembali pada kain. Salah satu contoh komponennya adalah *Carboxymethyl cellulose* yang akan teradsorpsi pada tanah dan substrat dan memberikan muatan negatif. Muatan negatif pada tanah dan substrat akan menyulitkan terjadinya pengendapan kembali pada kain.

e. *Alkaline agents*

Alkaline agents merupakan komponen yang memberikan kondisi basa. Salah satu contoh komponennya adalah sodium karbonat. Kondisi basa berguna untuk memberikan muatan negatif pada tanah dan substrat. Selain

itu, pada kondisi basa tanah berminyak dapat dihilangkan secara spontan karena terbentuknya sabun.

f. *Bleach agents*

Bleach agents merupakan komponen yang membuat kain putih bersih. Komponen ini biasanya bekerja dengan *activator* agar bisa bekerja. Beberapa contoh komponennya adalah sodium perkarbonat dan hidrogen peroksida. Hidrogen peroksida akan beraksi dengan tanah dan komponen organik yang akan diputihkan maupun diurai.

g. *Suds control agents*

Suds control agents merupakan komponen stabilisator berupa penekan busa. Komponen ini akan menghambat busa atau mengendalikan pada tingkat rendah. Salah satu contoh komponen ini adalah berupa rantai panjang khusus pada molekul sabun yang biasa digunakan untuk mengontrol busa.

h. *Enzymes*

Enzymes merupakan komponen tambahan detergen yang ditambahkan dengan tujuan khusus. Salah satu contohnya adalah protease dan lipase yang digunakan untuk mencerna protein dan lipid yang melekat pada kain. Selain itu, ada juga selulosa yang dikembangkan untuk menghilangkan tanah pada serat kain.

i. Penghambat korosi

Penghambat korosi merupakan komponen tambahan untuk menghambat terjadinya erosi pada detergen yang dirancang untuk memanfaatkan mesin cuci. Salah satu contohnya adalah sodium silikat yang bisa menghambat erosi pada bagian mesin cuci.

j. Zeolit

Zeolit merupakan komponen yang digunakan untuk menyerap ion logam multivalen seperti ion kalsium dan magnesium yang menyusun kesadahan air. Keberadaan ion kalsium dan magnesium pada air akan

membuat surfaktan memiliki *Kraft point* yang lebih tinggi dari suhu lingkungan. Hal ini membuat komponen surfaktan akan mengendap dan kehilangan kemampuannya sebagai zat aktif permukaan. Dengan adanya zeolit akan mencegah terjadinya pengendapan surfaktan tersebut.

k. *Opacifiers*

Opacifiers merupakan komponen yang memberikan tampilan pada detergen yang kaya dan buram. Komponen ini tidak terlibat pada reaksi yang terjadi pada detergen dan hanya sekedar penambah penampilan.

l. Pewarna

Pewarna merupakan komponen aditif yang ditambahkan untuk memberikan warna dan individualitas suatu produk detergen. Pada beberapa jenis detergen, penambahan pewarna biru dapat memberikan warna kebiruan pada kain putih.

m. Pengharum

Pengharum merupakan komponen aditif yang ditambahkan untuk memberikan aroma pada detergen. Penambahan komponen ini bertujuan menutupi bau kimia dan tanah serta memberikan aroma menyenangkan pada kain.

4. Karakteristik limbah detergen

Karakteristik limbah detergen dapat dilihat dari beberapa parameter zat pencemar yang ditimbulkan akibat komposisi detergen. Suprihatin dan Aselfa (2020) menyebutkan beberapa karakteristik limbah detergen sebagai berikut:

a. Fosfat

Nilai fosfat pada air limbah detergen berasal dari komponen *builder* detergen. Fosfat pada umumnya berbentuk *Sodium Tri Poly Phosphate*.

b. Amonia

Amonia pada detergen merupakan komponen pembersih. Amonia bersifat penguat detergen agar mempercepat reaksi pengikatan detergen.

c. Metilen biru dan surfaktan anion (MBAS)

Nilai MBAS pada air limbah detergen berasal dari komponen surfaktan khususnya pada surfaktan anion. Surfaktan merupakan komponen utama detergen yang dapat mengikat padatan, minyak, dan lemak.

d. *Chemical oxygen demand* (COD)

Nilai COD pada air limbah detergen berasal dari komponen organik dari detergen berupa fosfat, amonia, dan surfaktan. Semakin banyak komponen organik pada detergen yang bisa teroksidasi maka semakin besar nilai COD pada detergen tersebut.

e. *Power of Hydrogen* (pH)

Nilai pH pada air limbah detergen berasal dari kesetimbangan kandungan ion H^+ dan OH^- berupa intensitas keasaman maupun kebasaan dari suatu bahan. Nilai pH ini sangat dipengaruhi dengan larutan yang memiliki sifat asam dan basa.

f. Warna

Nilai warna pada air limbah detergen berasal dari komponen pewarna. Nilai ini sangat bergantung terhadap kandungan atau jenis pewarna yang digunakan pada detergen.

g. Kekeruhan

Nilai kekeruhan pada air limbah detregen berasal dari komponen *surfaktan* yang mencapai *Cloud point* berupa proses pengeruhan akibat penurunan hidrasi gugus kepala.

h. *Total suspended solid* (TSS)

Nilai TSS pada air limbah detergen berasal dari komponen surfaktan yang memiliki 3 fase yaitu kristalin, misel dan monomer detergen. TSS ini sangat dipengaruhi pada fase kristalin sebelum larut dan misel setelah mengikat padatan, minyak, dan lemak.

5. Baku mutu air limbah detergen

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemaran dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Penetapan baku mutu air limbah ini merupakan usaha pengolahan kualitas lingkungan pada sumbernya sebelum di lepas ke badan air. Selain itu, penetapan baku mutu air limbah melalui peraturan menteri dapat dijadikan landasan hukum dalam penindakan pihak yang tidak melakukan pengolahan air limbah domestik yang dihasilkannya. Ketentuan baku mutu air limbah detergen yang telah ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Detergen

Parameter	Kadar Tertinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Tertinggi (kg/ton)		
		Sabun	Minyak Nabati	Detergen
BOD ₅	75	0,60	1,88	0,075
COD	180	1,44	4,50	0,180
TSS	60	0,48	1,50	0,06
Minyak dan Lemak	15	0,120	0,375	0,015
Fosfat (PO ₄)	2	0,016	0,05	0,002
MBAS (detergen)	3	0,024	0,075	0,003
pH		6 – 9		

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

B. Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah merupakan proses penyisihan kontaminan dari air limbah baik berupa limpasan maupun domestik. Hal ini meliputi proses fisika, kimia, dan biologi untuk menghilangkan kontaminan fisik, kimia dan biologi (Khopar, 2004). Proses pengolahan air limbah ini bertujuan agar air limbah yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan setidaknya pada tingkatan yang tetap

menjaga kemampuan *self recovery* lingkungan. Metcalf and Eddy (2008) menyebutkan mengenai tingkatan dalam pengolahan air limbah sebagai berikut:

1. Preliminer

Penyisihan konstituen air limbah seperti kain, kayu, bahan terapung, pasir, dan lemak yang dapat memicu perbaikan atau masalah operasi pada operasi, proses pengolahan, dan sistem tambahan.

2. Primer

Penyisihan bagian dari padatan tersuspensi dan bahan organik dari air limbah.

3. Primer lanjutan

Penyisihan yang ditingkatkan untuk padatan tersuspensi dan bahan organik dari air limbah. Biasanya dapat dicapai dengan penambahan bahan kimia atau filtrasi.

4. Sekunder

Penyisihan bahan organik yang dapat diurai berbentuk larutan maupun suspensi dan padatan tersuspensi. Proses disinfeksi juga termasuk dalam pengolahan sekunder konvensional.

5. Sekunder dengan penyisihan unsur hara

Penyisihan bahan organik yang terurai, padatan tersuspensi, dan unsur hara seperti nitrogen, fosfat, atau keduanya nitrogen dan fosfat.

6. Tersier

Penyisihan sisa padatan tersuspensi setelah pengolahan sekunder, biasanya dengan menggunakan filtrasi media granula atau lapisan mikro. Disinfeksi juga termasuk bagian dari pengolahan tersier. Penyisihan unsur hara sering termasuk dalam pengolahan tersier.

7. Pengolahan tingkat lanjut

Penyisihan materi tersuspensi dan terlarut yang tersisa setelah pengolahan biologi biasa yang dilakukan ketika dibutuhkan untuk keperluan penggunaan air kembali.

C. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah proses elektrokimia yang memberikan muatan pada polutan melalui pemberian arus listrik yang menyebabkan peluruhan elektrode dan menjebak polutan dalam bentuk flok sehingga dapat dipisahkan dari campuran elektrolit. Ion logam yang dihasilkan dari peluruhan anode dan hidrolisis akan bertindak sebagai koagulan yang membuai polutan bermuatan menyatu membentuk flok yang lebih besar (Tahreen dkk., 2020).

1. Mekanisme elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan proses kimia yang timbul akibat adanya daya listrik. Kebanyakan dalam pemanfaatan elektrokoagulasi menggunakan listrik *Direct Current* (DC) atau arus searah. Hal ini menjadikan terjadinya fenomena oksidasi pada anode dan reduksi pada katode. Fenomena ini biasa dikenal dengan reaksi reduksi-oksidasi (redoks) pada sel elektrolisis. Hakizimana dkk. (2017) menjelaskan mengenai mekanisme elektrokoagulasi berupa pembentukan koagulan secara in situ menggunakan *electrodissolution* pada elektrode dengan memanfaatkan arus listrik antara kedua elektrode logam yang digunakan. Secara umum, reaksi elektrokoagulasi terjadi pada 3 bagian sebagai berikut:

a. Reaksi pada anode

Reaksi yang terjadi pada anode merupakan reaksi oksidasi. Fatah dkk. (2015) menjelaskan arus listrik menyebabkan peluruhan logam anode ke dalam air limbah. Ion logam pada pH yang tertentu akan membentuk berbagai jenis koagulan dan logam hidroksida yang dapat mendestabilisasi dan mengumpulkan partikel suspensi atau presipitasi dan menyerap kontaminan yang terlarut. Berikut reaksi yang terjadi pada anode sebagaimana pada Persamaan 1.



Reaksi pada anode aluminium pada Persamaan 2.



Reaksi pada anode besi pada Persamaan 3



Pada kondisi potensial anode yang tinggi, reaksi sekunder dapat terjadi. Air dapat teroksidasi membentuk ion hidrogen dan gas oksigen sebagaimana pada Persamaan 4. Air yang mengandung anion klor dapat air membentuk oksidator kuat yang dapat mengoksidasi bahan organik sebagaimana pada Persamaan 5 dan Persamaan 6.



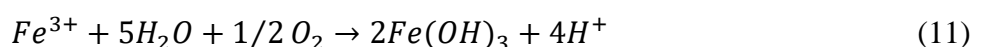
b. Reaksi pada katode

Reaksi yang terjadi pada katode merupakan reaksi reduksi. Ozyurt dan Camcioglu (2018) menjelaskan gas hidrogen dan ion hidroksida akan terbentuk akibat reduksi pada air sebagaimana pada Persamaan 7. Pada kondisi asam, terjadi reduksi ion hidrogen sebagaimana pada persamaan 8.



c. Reaksi pada elektrolit

Fatah dkk. (2015) menjelaskan reaksi yang terjadi pada elektrolit merupakan reaksi yang timbul akibat reaksi pada anode dan katode membentuk logam hidroksida. Pada elektrode aluminium, ion Al^{3+} yang dihasilkan akan bereaksi dengan OH^{-} dan air membentuk koagulan sebagaimana pada Persamaan 9 dan Persamaan 10. Hal serupa juga terjadi pada elektrode besi sebagaimana pada Persamaan 11 dan Persamaan 12.



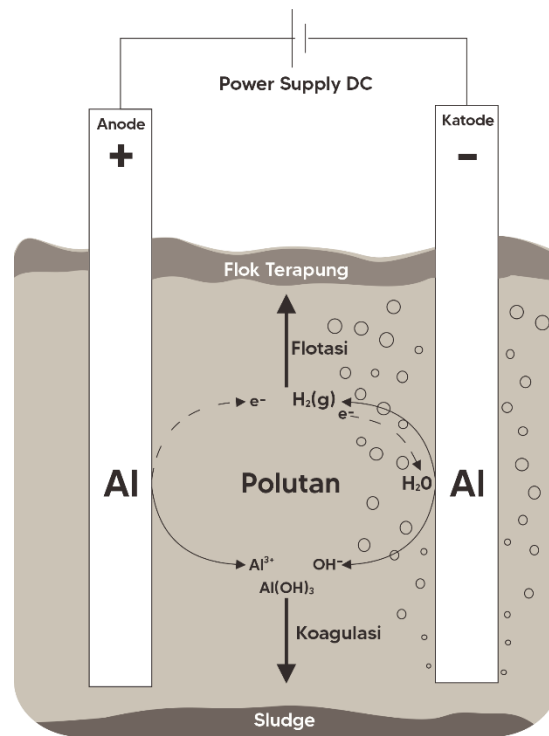
Koagulan berupa logam hidroksida inilah yang akan mengumpulkan partikel padatan yang telah destabilisasi sebelumnya membentuk flok. Flok

ini kemudian akan mengendap atau mengapung sehingga dapat tersisihkan dari air limbah yang diolah.

Pada kondisi elektrolit dengan kandungan NaCl dan konduktivitas tinggi dapat menyebabkan percepatan reaksi oksidasi dan membentuk oksidator kuat yang dapat mengoksidasi bahan organik. Adapun reaksi yang terjadi sebagaimana pada Persamaan 13.



Skema reaksi elektrokoagulasi yang terjadi pada air limbah detergen dengan menggunakan elektrode aluminium seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Reaksi Elektrokoagulasi

2. Faktor yang mempengaruhi elektrokoagulasi

Reaksi kimia yang terjadi pada reaktor elektrokoagulasi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor ini sangat erat kaitannya dengan efektivitas metode ini dalam menyisihkan zat pencemar pada air limbah yang diolah. Iswanto dkk. (2013) menyebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi sebagai berikut:

- a. Kerapatan arus listrik, peningkatan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan untuk membentuk flok. Besarnya arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan banyaknya koagulan yang dihasilkan.
- b. Waktu kontak, lamanya waktu kontak yang terjadi berbanding lurus dengan besaran jumlah muatan listrik yang mengalir selama proses elektrokoagulasi terjadi.
- c. Tegangan, hambatan listrik pada elektrolit lebih besar daripada elektrode maka perlu diperhatikannya *boundary* antara elektrolit dan elektrode.
- d. pH, efisiensi dan efektivitas proses elektrokoagulasi dipengaruhi oleh pH elektrolit. Kondisi pH tertentu dapat menghambat laju terbentuknya koagulan pada proses elektrokoagulasi.
- e. Ketebalan elektrode, semakin tebal elektrode yang digunakan maka gaya tarik elektrostatis dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.
- f. Jarak antara elektrode, semakin besar jarak antara elektrode maka semakin besar hambatan yang terjadi sehingga menyebabkan arus yang mengalir akan semakin kecil.

3. Efisiensi pengolahan metode elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi dalam pengolahan air limbah memiliki kemampuan pengolahan yang relatif efektif dan lebih ramah lingkungan. Mickley (2004) menyebutkan efisiensi pengolahan zat pencemar menggunakan elektrokoagulasi pada Tabel 2.

Tabel 2. Kemampuan Pengolahan Metode Elektrokoagulasi

Parameter	Efisiensi Pengolahan (%)
BOD	90
TSS	99
Minyak dan Lemak	93 hingga 99
Logam berat	95 hingga 99
Fosfat	93
Bakteri dan Virus	99,99
TDS	15 hingga 30

Sumber: Mickley (2004). *Pretreatment Capabilities And Benefits of Electrocoagulation*.

4. Kelebihan dan kekurangan metode elektrokoagulasi

Pemanfaatan metode elektrokoagulasi dalam mengelola air limbah memiliki kelebihan dan kekurangan. Hal inilah yang menjadikan metode elektrokoagulasi dapat dimanfaatkan atau tidak pada suatu unit pengolahan. Butler dkk. (2011) menyebutkan tentang kelebihan dan kekurangan dari metode elektrokoagulasi sebagai berikut:

a. Kelebihan

- 1) Dapat mengolah berbagai jenis air limbah.
- 2) Dapat mengolah berbagai variasi konsentrasi polutan dalam air limbah.
- 3) Efisiensi pengolahan air limbah yang relatif tinggi.
- 4) Menghasilkan *sludge* yang lebih sedikit dan ramah lingkungan.
- 5) Biaya operasi yang lebih rendah dibandingkan metode lain.
- 6) Memanfaatkan tegangan listrik yang relatif rendah.
- 7) Tidak membutuhkan bahan kimia maupun mikroorganisme tertentu.

b. Kekurangan

- 1) Pengolahan sangat bergantung pada ketersediaan elektrode dan listrik.
- 2) Pengoperasian unit elektrokoagulasi membutuhkan setelan yang bervariasi sesuai kebutuhan pengolahan air limbah.

D. Sistem Kontinu

Sistem kontinu pada suatu pengolahan air limbah merupakan desain reaktor yang membawa air limbah yang akan diolah sebagai aliran yang mengalir. Desain reaktor dengan sistem kontinu memperhitungkan laju reaksi bahan kimia. Pergerakan bahan kimia melalui semua tabung harus sama dan konstan. Laju aliran pada reaktor harus dirancang dengan memperhitungkan laju pencampuran reaktan agar terjadi secara sempurna sehingga tidak terjadi adanya reaktan yang tidak bereaksi. Foutch dan Johannes (2003) membagi jenis reaktor dengan sistem kontinu berdasarkan jenis operasional sebagai berikut:

1. *Continuous stirred tank reactors (CSTR)*

Continuous stirred tank reactors adalah reaktor yang mengumpulkan reaktan ke dalam tangki yang tercampur dengan baik menggunakan pengaduk atau tanpa pengadukan. Reaktan yang tercampur kemudian akan dikeluarkan secara simultan.

2. *Plug flow reactor (PFR)*

Plug flow reactor adalah reaktor yang terdiri dari pipa atau tabung panjang. Reaktan akan bercampur sejalan reaksi saat bergerak ke bagian bawah reaktor yang menghasilkan perubahan konsentrasi sejalan reaktor.

3. *Recycle reactor*

Recycle reactor adalah reaktor yang mengembalikan aliran keluar masuk ke dalam reaktor. Pada reaktor ini terjadi operasi secara terus menerus dengan adanya aliran reaktan yang berkelanjutan dari *feed* penampung kembali ke unit pengolahan. Mekanisme kerja reaktor ini memungkinkan antara kondisi CSTR dan PFR.

E. Studi Penelitian Terdahulu Yang Relevan

Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Erick Butler, Yung-Tse Hung, Ruth Yu-Li Yeh, dan Mohammed Suleiman Al Ahmad, 2011	<i>Electrocoagulation in Wastewater Treatment</i>	Metode elektrokoagulasi memiliki efisiensi penyisihan hingga 100% pada parameter warna, kekeruhan, <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD), <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD), serta memiliki proses perawatan yang lebih efisien dan cepat daripada koagulasi kimia. Elektrokoagulasi dapat dengan mudah digunakan untuk mengolah berbagai jenis air limbah seperti industri, pertanian, maupun domestik.
2	Baran Ozyurt dan Sule Camcioglu, 2018	<i>Applications of Combined Electrocoagulation and Electrooxidation Treatment to Industrial Wastewaters</i>	Pengolahan dengan metode hibrid antara elektrokoagulasi dan elektrooksidasi yang dilakukan didapatkan minimal penyisihan 54,16% COD, 90,4% warna, 90% BOD, 37% kekeruhan, 94,4% fenol, 42,9% fosfat, 72% TOC, dan 97% TSS.
3	I. Kabdash, I. Arslan-Alaton, T. Olmez-Hanci, dan O. Tunay, 2012	<i>Electrocoagulation Applications For Industrial Wastewaters: A Critical Review</i>	Elektrokoagulasi telah diterapkan di berbagai jenis pengolahan air limbah industri yang berfokus pada situasi dan studi kasus tertentu. Sejauh ini, reaksi elektrokoagulasi hanya dioptimalkan secara empiris tanpa landasan teoritis yang mendalam. Oleh karena itu diperlukannya pemahaman yang lebih mendasar untuk menentukan kriteria desain yang lebih aplikatif dan terskala.

Lanjutan Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Ansiha Nur dan Agus Jatnika, 2014	Aplikasi Elektrokoagulasi Padangan Elektrode Aluminium Pada Proses Daur Ulang Grey Water Hotel.	Kondisi optimum reaksi elektrokoagulasi tercapat pada waktu detensi 15 menit dengan tingkat penyisihan kekeruhan sebesar 87,73%, COD sebesar 87,48%, dan minyak lemak sebesar 77,50%. Pada aplikasi elektrokoagulasi sistem kontinu dengan variasi kontak 975 detik dengan tingkat penyisihan kekeruhan sebesar 87,32%, COD sebesar 89,09%, dan minyak lemak sebesar 89,79%.
5	Wael Abdelmoez, Nasser A. M. Barakat, dan Asmaa Moaz, 2013	<i>Treatment of Wastewater Contaminated with Detergents and Mineral Oils Using Effective and Scalable Technology</i>	Integrasi pengolahan limbah pencucian mobil menggunakan koagulasi, flokulasi, <i>settling</i> , filtrasi, oksidasi, dan filtrasi pasir dapat menghasilkan air bersih dari limbah yang dihasilkan dari pencucian mobil. Parameter seperti COD dan kekeruhan dapat diturunkan hingga 88% dan 100% dengan metode yang lebih murah dan menggunakan lahan lebih kecil.
6	A. Benhadji dan M. Taleb Ahmed, 2019	<i>Detergent Removal from Rinsing Water by Peroxi Electrocoagulation Process</i>	Metode <i>Peroxi Electrocoagulation Process</i> (PEP) terbukti lebih efektif untuk mengolah air limbah detergen daripada proses <i>Electrooxidation</i> (EO). Penyisihan COD terjadi pada pH tertentu dan naik seiring kenaikan tegangan. Metode ini menurunkan nilai hingga COD 250 mgO ₂ /L dari 7584 mgO ₂ /L (reduksi COD 77%) pada 0,0227A/cm ² , pH 9,5 dan 5.

Lanjutan Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
7	Bambang Iswanto, M. Lindu, dan Diana Hendrawan, 2013	<i>Domestic Waste Water Treatment By Electrocoagulation</i>	Metode elektrokoagulasi dan flokulasi mampu menurunkan kontaminan di bawah standar baku mutu. Dengan waktu retensi selama 20 detik didapatkan efisiensi penyisihan parameter TSS (80,50%), COD (82,10%), BOD (85,72%), dan NO ₃ (57,06%) dari air limbah restoran. Kemampuan reaktor ini sangat ditentukan oleh jenis air limbah, waktu retensi, dan elektrode yang digunakan.
8	Afshin Takdastan, Majid Farhadi, Jila Salari, Neda Kayedi, Bayram Hashemzadeh, Mohammad Jawavd Mohammadi, Somayeh Rahimi, Yusef Omidi Khaniabadi, Mehdi Vosaugi, dan Amir Zahedi, 2017	<i>Electrocoagulation Process for Treatment of Detergent and Phosphate</i>	Efisiensi metode elektrokoagulasi dalam pengelolaan detergen dan fosfat dari air limbah cuci mobil. Hasil yang didapatkan rata-rata penurunan detergen dan fosfat masing-masing sebesar 93% dan 78%. Kecepatan reaksi digunakan untuk menyatakan pengurangan konsentrasi kontaminan.

Lanjutan Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
9	Amina Tahreen, Mohammed Saedi Jami, dan Fathilah Ali, 2020	<i>Role of Electrocoagulation in Wastewater Treatment: A Development Review</i>	Aspek utama dari elektrokoagulasi adalah variabel operasional yang sangat bergantung dengan jenis air limbah yang spesifik. Pemanfaatan metode elektrokoagulasi yang hibrid dengan metode lain dapat digunakan untuk menggantikan sistem pengolahan yang konvensional secara berkelanjutan.
10	Suprihatin dan F.S. Aselfa, 2020	<i>Pollutants Remival in Electrocoagulation of Detergen Wastewater</i>	Proses elektrokoagulasi yang dilakukan pada air limbah detergen menyebabkan penurunan kadar fosfat, amoniak, MBAS, COD, warna, Kekeruhan, dan TSS dengan terjadinya peningkatan nilai PH. Penurunan parameter tersebut bervariasi dari 50%-95% tergantung dari parameter yang diolah, waktu kontak, dan tegangan digunakan.
11	Ahmed Samir Naje, Mohammad A. Ajeel, Peter Adeniyi Alaba, dan Shreeshivadasan Chelliapan, 2018	<i>Treatment of Textile Wastewater Using a Novel Electrocoagulation Reactor Design</i>	Model reaktor novel elektrokoagulasi dengan anode berputar memberikan dampak yang signifikan dalam mengelola air limbah tekstil. Efisiensi pengolahan dari model ini dari parameter warna, BOD, kekeruhan, COD, dan TSS adalah masing-masing sebesar 98,50%, 95,55%, 96%, 98%, dan 97,10% dalam kurun waktu 10 menit reaksi.

Lanjutan Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
12	Mona A. Abdel-Fatah, Ahmed M. Awad, Enas M. Ahmed, dan Ahmed T. El-Aref, 2015	<i>Comparison of Different Electrocoagulation Processes for Real Wastewater Degradation</i>	Metode Elektrokoagulasi dengan besi, aluminium, dan fenton tersebut terbukti menurunkan warna dengan efisiensi antara 84,8% dan 98,6%. Kemampuan penyisihan parameter COD sangat optimal pada pH 9 sedangkan untuk penyisihan Fe dan Mn sangat optimal pada pH 3. Selain itu, penyisihan TDS terjadi penurunan dari konsentrasi 15200 ke 8560 ppm.
13	Gopika G.L. dan K. Mophin Kani, 2017	<i>Electrocoagulation and Electrodeionization Process for Dairy Wastewater Treatment Using Iron Electrode</i>	Hasil yang didapatkan dari pengolahan menggunakan elektrokoagulasi terjadi penyisihan maksimal pada COD 98,43%, kekeruhan 99%, dan BOD 93,3%. Sedangkan, pengolahan menggunakan elektrodeionisasi dapatkan penyisihan maksimal pada COD 98,15%, kekeruhan 98,77%, dan BOD 96,66%.
14	Mohammad M. Emamjomeh dan Muttucumaru Sivakumar, 2009	<i>Review of Pullutants Removed by Electrocoagulation and Electrocoagulation /Flotation Process</i>	Penelitian menunjukkan penggunaan elektrode aluminium lebih efisien daripada elektrode besi. Teknologi elektrokoagulasi sangat berpotensi untuk mengolah warna dari air limbah tekstil dengan efisiensi penyisihan yang tinggi. Kapasitas dan efisiensi dari proses elektrokoagulasi untuk pengolahan air limbah industri sangat tergantung pada limbah air dan konsentrasi awal polutan.

Lanjutan Tabel 3. Studi Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
15	Khalid Bani-Melhem dan Edwqars Smith, 2012	<i>Grey Water Treatment by A Continuous Process of An Electrocoagulation Unit and A Submerged Membrane Bioreactor System</i>	Elektrokoagulasi digunakan sebagai proses <i>pratment</i> pada <i>Submerged Membrane Bioreactor System</i> (SMBR) untuk pengolahan <i>grey water</i> . Hasil yang didapatkan dari kedua metode tersebut dapat meningkatkan kualitas air limbah dibandingkan menggunakan hanya metode SMBR. Selain itu, kedua metode tersebut dapat meningkatkan kemampuan dari proses filtrasi membran.