

TESIS
PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI
MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI PROSES
ELEKTROKOAGULASI DENGAN ELEKTRODA
BESI (Fe) DAN ADSORPSI DENGAN MEDIA SILIKA
& KARBON AKTIF



RIZZA FADILLAH FITRI
03012681822003

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020

TESIS
PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI
MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI PROSES
ELEKTROKOAGULASI DENGAN ELEKTRODA
BESI (Fe) DAN ADSORPSI DENGAN MEDIA SILIKA
& KARBON AKTIF

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



RIZZA FADILLAH FITRI
03012681822003

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020

HALAMAN PENGESAHAN

PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI DENGAN
KOMBINASI METODE ELEKTROKOAGULASI
MENGUNAKAN ELEKTRODA BESI (Fe) DAN
ADSORPSI MENGGUNAKAN SILIKA DAN KARBON
AKTIF

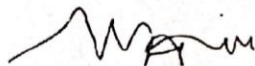
TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing I



Prof. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc, Ph.D.

NIP. 196108121987031003

Pembimbing II,



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya,



Prof. H. Subriyeh Masir, M.S. Ph.D
NIP. 19600909 198703 1 004

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Kimia FT
Unsri,



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 19801031 200501 1003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul "Pengolahan Air Terproduksi dengan Kombinasi Metode Elektrofokagulasi menggunakan elektroda Besi (Fe) dan Adsorpsi menggunakan Silika dan Karbon Aktif" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 14 Agustus 2020.

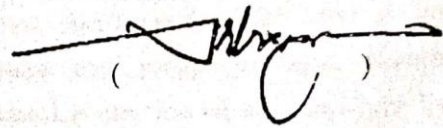
Palembang, Agustus 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D.

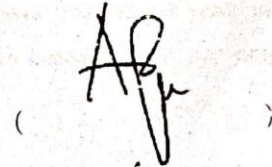
NIP. 19600909 198703 1 004



Anggota :

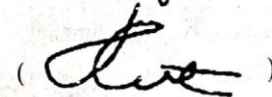
1. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, Ph.D.

NIP. 19720809 200003 2 001



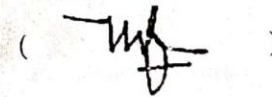
2. Dr.Ir. H. M. Hatta Dahlan, M.Eng

NIP. 19591019 198711 1 001



3. Dr.Ir. H. M. Faizal, DEA

NIP. 195805 1498403 1 001



Mengetahui,

Koordinator Program Studi

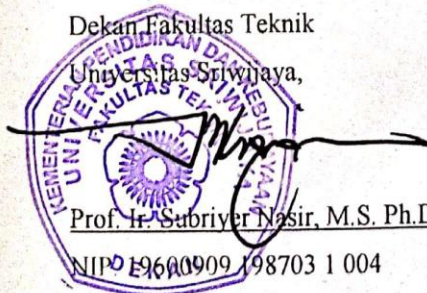
Magister Teknik Kimia,



Dr. David Bahrin, S.T., M.T

NIP. 19801031 200501 1003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S. Ph.D

NIP. 19600909 198703 1 004

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizza Fadillah Fitri

NIM : 03012681822003

Judul : Pengolahan Air Terproduksi dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi menggunakan elektroda Besi (Fe) dan Adsorpsi menggunakan Silika dan Karbon Aktif

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2020

Yang Membuat Pernyataan,

Rizza Fadillah Fitri

NIM. 03012681822003

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Penulis Panjatkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun makalah ini tepat pada waktunya. Laporan hasil penelitian ini membahas tentang pengolahan Air Terproduksi menggunakan metode kombinasi Elektrolisis dengan elektroda besi secara simultan.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapat tantangan dan hambatan akan tetapi dengan bantuan dari berbagai pihak tantangan itu bisa teratasi. Olehnya itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini, semoga bantuannya mendapat balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan baik dari bentuk penyusunan maupun materinya. Kritik konstruktif dari pembaca sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan laporan selanjutnya.

Akhir kata semoga laporan ini dapat memberikan manfaat kepada kita sekalian.

Palembang, mei 2020

Penulis

RINGKASAN

PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI DENGAN KOMBINASI METODE ELEKTROKOAGULASI MENGGUNAKAN ELEKTRODA BESI (Fe) DAN ADSORPSI MENGGUNAKAN SILIKA DAN KARBON AKTIF
Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Agustus 2020

Rizza Fadillah Fitri, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc, Ph.D dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

Treatment of Produce Water with a Combination of Electrocoagulation with Iron (Fe) Electrodes and Adsorption using Silica and Activated Carbon

RINGKASAN

Produksi Industri migas memiliki permasalahan yaitu memiliki volume limbah cair yang besar dan 80% dari limbah cair yang dihasilkan adalah air, yang disebut pula sebagai air terproduksi. Air ini berbeda dengan air biasanya karena mengandung bahan-bahan kimia berbahaya dan unsur-unsur lainnya yang terkandung di dalam minyak dan gas bumi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) kualitas air terproduksi hasil samping dari proses pengolahan industri hulu migas di Sumatera Selatan, (2) Pengaruh waktu proses (30, 60, 90, 120, dan 150 menit) dan tegangan elektroda (3, 6, 9, dan 12 volt) terhadap penurunan kadar alkalinitas, ammonia (NH₃-N), COD, Minyak dan Lemak, TDS dan *total hardness* pada proses pengolahan air terproduksi dengan metode kombinasi antara elektrolisa menggunakan elektroda besi (Fe) dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif, dan (3) Mengevaluasi karakteristik *permeat* hasil proses menggunakan elektroda besi (Fe) dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif sesuai standar baku mutu air limbah kegiatan eksplorasi dan produksi migas dari fasilitas darat (*onshore*) berdasarkan Permen LH RI No. 19 tahun 2010.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode elektrokoagulasi, metode adsorpsi dan kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi. Pada metode elektrokoagulasi di variasikan tegangan 3, 6, 9 dan 12 Volt serta variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dengan proses kontinyu dan laju alir 9,18 ml/menit. Elektrokoagulasi menggunakan elektroda Besi (Fe) dengan dimensi p=15 cm, l= 5 cm dan tebal= 1 cm. Pada metode adsorpsi di variasikan waktu proses adsorpsi yaitu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Adsorpsi dengan menggunakan adsorben silika yang terbuat dari bottom ash dan adsorben karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa. Proses adsorpsi secara kontinyu dengan laju alir 9,18 ml/menit. Pada kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi di variasikan tegangan 3,6,9 dan 12 Volt serta waktu 30,60,90,120 dan 150 menit. Proses kombinasi di lakukan secara kontinyu dengan laju alir 9,18 ml/menit.

Pada metode elektrokoagulasi dengan tegangan 12 Volt dan waktu proses 90 menit memiliki pengaruh terhadap penurunan kontaminan dalam air

terproduksi, dengan persentase reduksi COD 51,63%, TDS 78,02%, Ammonia 43,12%, Minyak dan Lemak 94,61 %, Alkalinitas 78,36% dan Total Hardness 64,84% dari limbah awal. Pada metode adsorpsi dengan waktu proses 150 menit memiliki pengaruh terhadap penurunan kontaminan dalam air terproduksi, dengan persentase reduksi COD 10,83%, TDS 47,09%, Ammonia 44,16%, Minyak dan Lemak 92,86 %, Alkalinitas 59,41% dan Total Hardness 51,09% dari limbah awal. Dan pada proses kombinasi Elektrokoagulasi dan adsorpsi dengan tegangan 12 Volt dan waktu 150 menit memiliki pengaruh terhadap penurunan parameter COD 97,39%, TDS 91,19%, Ammonia 69,18%, Minyak dan lemak 98,14%, Alkalinitas 92,84% dan total hardness 93,74% dari limbah awal.

Hasil penelitian diperoleh (1) Kualitas air terproduksi hasil samping dari proses pengolahan industri hulu migas di Sumatera Selatan masih belum memenuhi baku mutu permen LH no. 19 tahun 2010 sehingga diperlukan pretreatment awal setelah proses pemisahan air dan minyak, (2) Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan minyak dan lemak tertinggi (98,14%) dari kandungan awal sebesar 377 mg/l menjadi 7 mg/l, COD (97,39%) dari kandungan awal 430,25 mg/l menjadi 11,24 mg/l, TDS (91,19%) dari kandungan awal 12670 mg/l menjadi 989 mg/l, Ammonia (69,18%) dari kandungan awal 17,71 mg/l menjadi 5,46 mg/l, Alkalinitas (92,84%) dari kandungan awal 317,86 mg/l menjadi 7 mg/l, Total Hardness (93,74%) dari kandungan awal 201,84 mg/l menjadi 12,63. Kondisi terbaik diperoleh pada tegangan 12V selama 150 menit mampu mereduksi air terproduksi hingga memenuhi baku mutu berdasarkan peraturan menteri lingkungan hidup no. 19 tahun 2010, dan (3) Secara keseluruhan pengolahan air terproduksi dengan membandingkan metode Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi Elektrokoagulasi- adsorpsi sudah mampu mereduksi kontaminan yang terdapat pada air terproduksi namun yang memenuhi standar baku mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas berdasarkan peraturan menteri lingkungan hidup no. 19 tahun 2010 hanya dengan menggunakan metode kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi.

Kata Kunci : Elektrokoagulasi, Adsorpsi dan Air Terproduksi

SUMMARY

TREATMENT OF PRODUCE WATER WITH A COMBINATION OF ELECTROCOAGULATION WITH IRN (FE) ELECTRODES AND ADSORPTION USING SILICA AND ACTIVATED CARBON
Scientific paper in the form of Tesis, August 2020

Rizza Fadillah Fitri, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc, Ph.D dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

Pengolahan Air Terproduksi dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi menggunakan Elektroda Besi (Fe) dan Adsorpsi Menggunakan Silika dan Karbon Aktif

SUMMARY

Production The oil and gas industry has a problem that is having an enormous volume of liquid waste and 80% of the liquid waste produced is water, which is called produced water. This water differs from water because it contains dangerous chemicals and other elements in oil and gas.

This research aims to find out (1) the quality of produced water of oil and gas industry in South Sumatra, (2) the effect of time (30, 60, 90, 120, and 150 minutes) and voltage (3, 6, 9, and 12 volts) to decrease levels of alkalinity, ammonia (NH₃-N), COD, Oil and grease, TDS and total hardness in the produced water treatment process using a combination method of electrolysis using iron electrodes (Fe) and adsorption with silica and activated carbon, and (3) Evaluating the permeate characteristics of the process results using iron (Fe) electrodes and adsorption with silica and activated carbon to the quality standards of oil and gas exploration and production wastewater from onshore facilities based on PERMEN LH RI No. 19 of 2010.

The research method employed was an electrocoagulation method, the adsorption method and the combination of the electrocoagulation and adsorption methods. In the electrocoagulation method, the voltage variations of 3, 6, 9 and 12 volts were varied and the time variations were 30, 60, 90, 120 and 150 minutes with a continuous process and a flow rate of 9.18 ml / minute. Electrocoagulation using iron (Fe) electrodes with dimensions $l = 15$ cm, $w = 5$ cm and $t = 1$ cm. In the adsorption method the adsorption process time was varied, namely 30, 60, 90, 120 and 150 minutes. Adsorption using silica adsorbent made from bottom ash and activated carbon adsorbent made from coconut shell. The adsorption process was continuous with a flow rate of 9.18 ml / minute. In the combination of electrocoagulation and adsorption methods, the voltage was varied by 3,6,9 and 12 volts and time 30,60,90,120 and 150 minutes. The combination process was carried out continuously with a flow rate of 9.18 ml / minute.

The electrocoagulation method with a voltage of 12 volts and a processing time of 90 minutes has an effect on reducing contaminants in produced water, with a reduction percentage of 51.63% COD, 78.02% TDS, 43.12% ammonia,

94.61% oil and grease, Alkalinity 78.36% and Total Hardness 64.84% from the initial waste. The adsorption method with a processing time of 150 minutes has an effect on decreasing contaminants in produced water, with a reduction percentage of COD 10.83%, TDS 47.09%, Ammonia 44.16%, Oil and grease 92.86%, Alkalinity 59.41 % and Total Hardness 51.09% of the initial waste. And the combination process of electrocoagulation and adsorption with a voltage of 12 volts and time of 150 minutes has an effect on decreasing the parameters of COD 97.39%, TDS 91.19%, Ammonia 69.18%, Oil and grease 98.14%, Alkalinity 92.84 % and total hardness of 93.74% from the initial waste.

The results of research shows that (1) The quality of produced water of oil and gas industry in South Sumatra still does not meet the quality standards of PERMEN LH RI no. 19 of 2010 so that early pretreatment is needed after the separation process of water and oil, (2) The results showed that the highest reduction in oil and grease (98.14%) from the initial content of 377 mg / l to 7 mg / l, COD (97, 39%) from the initial content of 430.25 mg / l to 11.24 mg / l, TDS (91.19%) from the initial content of 12670 mg / l to 989 mg / l, Ammonia (69.18%) of the initial content 17.71 mg / l to 5.46 mg / l, Alkalinity (92.84%) from the initial content of 317.86 mg / l to 7 mg / l, Total Hardness (93.74%) from the initial content of 201.84 mg / l to 12.63. The best condition is obtained at a voltage of 12V for 150 minutes, which is able to reduce the produced water to meet quality standards based on regulation of the minister of environment no. 19 of 2010, and (3) Overall produced water treatment by comparing the methods of electrocoagulation, adsorption and the combination of electrocoagulation-adsorption has been able to reduce contaminants contained in produced water but that meet the quality standards of Wastewater Exploration and Oil and Gas Production Activities based on the regulation of the minister of environment life no. 19 of 2010 only using a combination method of electrocoagulation and adsorption.

Keywords : Electrocoagulation, Adsorption and Produced Water.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iv
HALAMAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesa	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Air Limbah.....	9
2.1.1. Definisi Air Limbah.....	9
2.1.2. Karakteristik Air Limbah.....	9
2.1.2.1. Sifat Fisika Air Limbah.....	9
2.1.2.2. Sifat Kimia Air Limbah.....	10
2.1.2.3. Sifat Biologi Air Limbah.....	10
2.2. Air Terproduksi.....	10
2.2.1. Karakteristik Air Terproduksi.....	11
2.2.1.1. Air Terproduksi dari Produksi Minyak	11
2.2.1.2. Air Terproduksi dari Produksi Gas Alam.....	12
2.2.1.3. Air Terproduksi dari Produksi CBM.....	12
2.2.2. Komponen Air Terproduksi.....	13
2.2.2.1. Komponen Minyak Terlarut.....	13
2.2.2.2. Komponen Mineral Terlarut.....	14
2.2.2.3. Senyawa Kimia dari Proses Produksi.....	14
2.2.2.4. Padatan dari Proses Produksi	14
2.2.3. Analisis Air Terproduksi	14
2.2.4. Water Management Industri Migas Sumsel.....	16
2.3. Metode Elektrolisis / Elektrokoagulasi	19
2.3.1. Kelebihan Metode Elektrolisis.....	23
2.3.2. Kekurangan Metode Elektrolisis	24

2.3.3. Plat Elektroda.....	24
2.3.4. Logam Besi (Fe)	25
2.3.4.1.Sifat Fisika dan Kimia Besi.....	26
2.4. Adsrbsi	27
2.5. Penelitian terdahulu (<i>State of the art</i>)	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.2. Alat dan Bahan.....	33
3.2.1. Alat.....	33
3.2.2. Bahan	33
3.3. Rancangan Penelitian.....	34
3.3.1. Variabel penelitian	34
3.3.2. Prosedur penelitian	34
3.3.2.1.Prosedur pembuatan silika dari boottom ash	35
3.3.2.1.Prosedur pembuatan karbon aktif dari tempurung Kelapa	36
3.3.2.1.Prosedur pengolahan air terproduksi	36
3.5.3. Diagram alir	37
3.2.2. Skema peralatan penelitian	40
3.2.2. Metode pengolahan dan analisis data	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
2.1 Hasil Analisa Limbah Awal.....	43
2.2.Pembahasan.....	44
2.1.1. Pengaruh Proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi antara Elektrokaogulasi dengan adsorpsi Terhadap <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	47
2.1.2. Pengaruh proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi Terhadap <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	50
2.2.1. Pengaruh Proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi antara Elektrokoagulasi dengan adsorpsi Terhadap Amonia Total (NH ₃ -N)	53
2.2.2. Pengaruh Proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi antara Elektrokoagulasi dengan adsorpsi Terhadap Minyak & lemak.....	56
2.2.2. Pengaruh Proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorsori Terhadap Alkalinitas	59
2.2.2. Pengaruh Proses Elektrokoagulasi, adsorpsi dan Kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi Terhadap Total Hardness.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	72
2.1 Kesimpulan	72
2.2.Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan Silika dari <i>Bottom ash</i>	80
Lampiran 2. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa.....	82
Lampiran 3. Pengolahan air terproduksi.....	84
Lampiran 4. Hasil analisa	85

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas	13
Tabel 4.1 Hasil Analisa Terhadap Sampel Awal air terproduksi.....	43
Tabel 4.2 Hasil analisa air terproduksi setelah melalui proses elektrokoagulasi dengan elektroda Fe-Fe ..	44
Tabel 4.3 Hasil analisa air terproduksi menggunakan proses adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif ..	45
Tabel 4.4 Hasil analisa air terproduksi menggunakan kombinasi proses elektrokoagulasi dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. <i>Process Flow Diagram</i> WIP	15
2.2. Prinsip Elektrolisis	18
2.3. Interaksi yang Terjadi dalam Proses Elektrolisis	19
3.1. Diagram alir pembuatan silika	38
3.2. Diagram alir pembuatan karbon aktif	39
3.3. Diagram alir pengolahan air terproduksi	40
3.4. Rancangan peralatan pengolahan air terproduksi	41
4.1 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap penurunan COD	48
4.2 Pengaruh proses filtrasi terhadap penurunan COD	49
4.3 Pengaruh proses kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap penurunan COD	50
4.4 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap TDS	52
4.5 Pengaruh proses adsorpsi terhadap TDS	53
4.6 Pengaruh proses kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap kadar TDS	54
4.7 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	55
4.8 Pengaruh proses adsorpsi terhadap ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	56
4.9 Pengaruh proses kombinasi elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	57
4.10 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap minyak dan lemak	58
4.11 Pengaruh proses adsorpsi terhadap minyak dan lemak	59
4.12 Pengaruh proses kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap minyak dan lemak	60
4.13 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap alkalinitas	61
4.14 Pengaruh proses adsorpsi terhadap alkalinitas	62
4.15 Pengaruh proses kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap alkalinitas	63
4.16 Pengaruh proses elektrokoagulasi terhadap total hardness	64
4.17 Pengaruh proses adsorpsi terhadap total hardness	65
4.18 Pengaruh proses kombinasi antara elektrokoagulasi dengan adsorpsi terhadap total hardness	65

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

CBM	<i>Coal Bed Methane</i>
COD	Chemical Oxygen Demand
EC	Elektrokoagulasi
EC-EF	Elektrokoagulasi – Elektrofenton
EC-PC	Elektrokoagulasi- Peroxi koagulasi
EC-OA	Elektrokoagulasi- Oksidasi Anodik
EK + A	Elektrokoagulasi dan adsorpsi
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
PERMENKES	Peraturan Menteri Kesehatan
PFR	Plug Flow Reactor
PAC	<i>Powdered Active Carbon</i>
ppm	<i>Part Per Million</i>
TDS	Total Dissolved Solid
TSS	Total Suspended Solid
TCU	True Color Unit
TS	<i>Total solid</i>
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>
UP	Unit Pengolahan
VSS	<i>Volatile Suspended Solid</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Kemajuan dalam bidang industri di Indonesia meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini memberikan berbagai dampak positif yaitu terbukanya lapangan kerja, membaiknya sarana transportasi dan komunikasi serta meningkatnya taraf sosial ekonomi masyarakat. Suatu kenyataan yang perlu disadari bahwa perkembangan kegiatan industri secara umum juga merupakan sektor yang sangat potensial sebagai sumber pencemaran yang akan merugikan bagi kesehatan dan lingkungan.

Salah satu industri yang pertumbuhannya cukup pesat adalah industri perminyakan, yang diawali dengan berdirinya kilang minyak di Indonesia yaitu Unit Pengolahan (UP) I Pangkalan Brandan dengan kapasitas 5.000 barrel/hari, UP II Dumai dan Sungai Pakning dengan kapasitas 170.000 barrel/hari, UP III Plaju dan Sungai Gerong dengan kapasitas 135.000 barrel/hari, UP IV Cilacap dengan kapasitas 348.000 barrel/hari, UP V Balikpapan dengan kapasitas 270.000 barrel/hari, UP VI Balongan dengan kapasitas 125.000 barrel/hari, dan UP VII Kasim Irian Jaya dengan kapasitas 10.000 barrel/hari (Industri Hulu Migas, 2008).

Kegiatan usaha minyak bumi mempunyai peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi nasional. Minyak bumi merupakan komoditas ekspor utama Indonesia yang digunakan sebagai sumber bahan bakar dan bahan mentah bagi industri petrokimia. Sebagai *field* terbesar industri migas di Indonesia dengan jumlah sumur produksi 201 sumur dan sumur injeksi 73 sumur mengakibatkan Produksi dari Industri hulu migas yang ada di Sumatera Selatan akan sangat mempengaruhi pencapaian target produksi Industri Migas secara keseluruhan. Sebagian sumur migas di Indonesia merupakan sumur tua yang memerlukan injeksi air lebih banyak kedalam sumur untuk mengekstrak minyak. Rata-rata produksi air dalam setiap sumur mencapai 80% dari total produksi fluida. Setelah melalui tahap pemisahan minyak dan air, maka air hasil pemisahan yang disebut dengan air terproduksi (*produced water*) tersebut sebagian besar diinjeksikan

kembali kedalam sumur. Namun, apabila sumur sedang slip, maka air terproduksi tidak dapat diinjeksikan kedalam sumur sehingga harus di buang ke lingkungan. Sebelum dibuang ke lingkungan air terproduksi terlebih dahulu pada sistem pengolahan air terproduksi agar memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 19 tahun 2010 (Permen LH RI No. 19 tahun 2010).

Penginjeksian air terproduksi ke dalam sumur menimbulkan beberapa permasalahan seperti timbulnya *plugging* atau terbentuknya endapan (*scale*) didalam *stubing* dan *string* sumur injeksi. Timbulnya endapan dalam *stubbing* dan *string* sumur injeksi salah satunya disebabkan oleh tingginya alkalinitas dan total hardness dalam air terproduksi. Pada air terproduksi yang mengakibatkan tingginya alkalinitas adalah ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion bikarbonat (HCO_3^-) serta yang mengakibatkan tingginya *total hardness* adalah ion magnesium (Mg^{2+}) dan ion kalsium (Ca^{2+}).

Sistem pengolahan air terproduksi pada industri hulu migas di Sumatera selatan belum optimal disebabkan air terproduksi tidak diolah terlebih dahulu sebelum di injeksikan melainkan hanya dengan perlakuan *by pass* proses dari *wash tank* ke *water tank* melalui *skimmer tank* dan *nut shell filter*. Pada *nut shell filter* hanya terjadi proses *filtrasi* dengan bantuan zeolit sebagai *adsorben* namun karena air terproduksi mengandung ion-ion logam yang tinggi seperti Kandungan *Ca-Hardness* sebanyak 80 mg/L, *Mg-Hardness* 94,58 mg/L, CO_3^{2-} dan HCO_3^{2-} 2185,92 mg/ dan Silica 20,40 mg/L, sehingga mengakibatkan *nut shell filter* cepat jenuh dan mengakibatkan timbulnya *scale* pada rangkaian sistem pemipaan sumur injeksi. Ditinjau dari segi ekonomi dampak dari kualitas air terproduksi tersebut mengakibatkan biaya operasi dan biaya perawatan sumur injeksi yang sangat tinggi oleh karena itu diperlukan perlakuan lain sebelum air terproduksi di alirkan pada *skimmer* dan *nut shell filter* (Industri hulu migas di Sumatera selatan).

Beberapa metode telah dilakukan untuk menghilangkan senyawa polutan berbahaya yang ada pada air terproduksi seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Henny dkk (2013) yang mengolah air terproduksi menggunakan teknologi membran *ultrafiltrasi* mampu menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) 98%, Minyak 99%, Toluena 83% dan xylene 82%. Namun pada penelitian

tersebut kinerja membran harus diamati setiap waktu karena sering terjadi penyumbatan pori membran selain itu juga membran tersebut hanya mempunyai *lifetime* / masa hidup hingga 3- 5 tahun. Wibiana dkk (2018) telah melakukan penelitian pengolahan air terproduksi dengan bioreaktor membran dengan 2 (dua) jenis media filtrasi yaitu pasir aktif dan karbon aktif. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa dengan membran bioreaktor dengan penambahan filtrasi pasir aktif mampu menurunkan kadar kekeruhan air terproduksi hingga 100%, COD sebesar 88,13 %, TSS sebesar 76 % dan TDS sebesar 91,85 %. Namun pada penelitian tersebut penggunaan pasir aktif hanya mampu hingga hari ke-7 karena setelah hari ke-7 performa menurun disebabkan oleh pasir aktif yang sudah jenuh.

Hartuno dkk (2014) telah melakukan pengolahan air bersih di sungai Martapura dengan menggunakan filter berupa karbon aktif yang terbuat dari cangkang kelapa sawit mampu menghasilkan warna 0,0020 TCU, kekeruhan 0,11 NTU, TSS 0,428 mg/L, kandungan besi (Fe) 0,0249 mg/L dan kandungan mangan (Mn) 0,0063 mg/L. Pada proses pengolahan air menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sudah memenuhi standar baku mutu air bersih PERMENKES No. 416 Tahun 1990 dan standar kualitas air PP No. 82 Tahun 2001. Sulastri, dkk (2014) telah melakukan penelitian tentang pengolahan air telaga di desa Balong Panggang dengan metode filtrasi menggunakan media arang aktif dan pasir silika mampu menurunkan kadar kekeruhan hingga 89,41 %, warna 90,91 % dan *Total Dissolved solid* hingga 77,88 %. Beberapa proses tersebut maka diberikan usul lain yaitu dengan proses elektrolisis yang mampu menurunkan kandungan ion-ion logam pada Air Limbah selain itu juga biaya yang dibutuhkan relatif murah (Ridaningtyas, 2013).

Amarsooriya dkk (2019) telah melakukan penelitian tentang penurunan ion floride, alkalinitas dan total hardnes dari air tanah menggunakan proses elektrolisis dengan jenis elektroda yang digunakan yaitu platinum (Pt) sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda, yang dikombinasikan dengan sandfilter dengan media filtrasi pasir silika. Amarsooriya, dkk (2019) menjelaskan bahwa tingginya kadar alkalinitas air tanah disebabkan tingginya kandungan ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion bikarbonat (HCO_3^-) dalam air tanah serta tingginya *total hardnes* dalam air tanah diakibatkan karena tingginya kandungan ion magnesium (Mg^{2+})

dan ion kalsium (Ca^{2+}) dalam air tanah. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan proses elektrolisis mampu menurunkan kadar F^- sebesar 57%, kadar ion Magnesium (Mg^{2+}) 61%, ion kalsium (Ca^{2+}) 94% dan kadar ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion bikarbonat (HCO_3^-) menurun sebesar 82%.

Selanjutnya Zazou, dkk (2019) melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah industri tekstil menggunakan proses elektrokoagulasi, penelitian ini menggunakan elektroda besi (Fe) dengan variasi metode penelitian yaitu Elektrokoagulasi (EC), kombinasi Elektrokoagulasi-Elektrofenton (EC-EF), kombinasi Elektrokoagulasi- Peroxi koagulasi (EC-PC), kombinasi Elektrokoagulasi- Oksidasi Anodik (EC-OA), Variasi lama waktu elektrolisis 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan variasi arus listrik yang digunakan adalah 0,4, 0,8 dan 1,6 ampere. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa dengan proses kombinasi elektrokoagulasi-elektro fenton dengan semakin lama waktu elektrolisis dan semakin besar arus yang digunakan maka penurunan kadar *Total Organic Carbon* (TOC), turbidity dan warna akan semakin besar dengan penurunan terbesar masing-masing mencapai 97, 100 dan 100% yaitu pada waktu 90 menit dan arus sebesar 1,6 A.

Mylymaki dkk (2018) telah melakukan penelitian Penghapusan total karbon organik dari larutan gambut dengan metode hibrida Elektrokoagulasi dikombinasikan dengan adsorpsi. Pada penelitian ini dengan menggunakan perlakuan awal adsorpsi kemudian dilanjutkan elektrokoagulasi dengan variasi elektroda Al atau Fe, tegangan 2 volt. Variasi arus 0,21, 0,13, 0,08, 0,16, 0,10, 0,07 ampere dan variasi jarak elektroda 5, 10 dan 20 mm menghasilkan penghilangan kandungan TOC yang terbaik pada penggunaan elektroda Al dengan arus 0,21 A dan jarak antar elektroda 20 mm mampu menurunkan kadar TOC hingga 94,4 % sedangkan dengan menggunakan elektroda Fe arus 0,21 A dan jarak antar elektroda 20 mm mampu menurunkan hingga 94,5%.

Ni'am dkk (2017) telah melakukan penelitian Menurunkan Kandungan COD dan TSS Limbah Cair Tekstil menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi jumlah elektroda dan besar tegangan listrik. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah elektroda dengan besar tegangan tinggi mampu menurunkan kandungan COD dan TSS dengan waktu yang tidak

lama yaitu selama 75 menit dengan jumlah elektroda 4 elektroda dan tegangan 12 volt mampu menurunkan kandungan COD hingga 76% dan kandungan TSS hingga 85%.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah akan di kaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kualitas air terproduksi hasil samping dari proses pengolahan industri hulu migas di Sumatera Selatan?
2. Bagaimana pengaruh waktu proses (30, 60, 90, 120, dan 150 menit) dan tegangan elektroda (3, 6, 9, dan 12 volt) terhadap penurunan kadar alkalinitas, ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD, Minyak dan Lemak, TDS dan *total hardness* pada proses pengolahan air terproduksi metode kombinasi antara elektrolisa menggunakan elektroda besi (Fe) dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif?
3. Apakah karakteristik *permeat* hasil proses kombinasi elektrolisa dan adsorpsi menggunakan media silika dan karbon aktif memenuhi standar baku mutu air limbah kegiatan eksplorasi dan produksi migas dari fasilitas darat (*onshore*) lama berdasarkan Permen LH RI No. 19 tahun 2010?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dan mengevaluasi kualitas air terproduksi hasil samping dari proses pengolahan industri hulu migas di Sumatera Selatan.
2. Mengetahui dan menganalisis pengaruh pengaruh waktu proses (30, 60, 90, 120, dan 150 menit) dan tegangan elektroda (3, 6, 9, dan 12 volt) terhadap penurunan kadar alkalinitas, ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD, Minyak dan Lemak, TDS dan *total hardness* pada proses pengolahan air terproduksi dengan metode kombinasi antara elektrolisa menggunakan elektroda besi (Fe) dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif.

3. Mengevaluasi karakteristik *permeat* hasil proses menggunakan elektroda besi (Fe) dan adsorpsi dengan media silika dan karbon aktif sesuai standar baku mutu air limbah kegiatan eksplorasi dan produksi migas dari fasilitas darat (*onshore*) berdasarkan Permen LH RI No. 19 tahun 2010?

1.4.Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semakin besar tegangan pada proses elektrolisis maka semakin besar penurunan alkalinitas, ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD, minyak dan lemak, TDS dan *total hardness* pada proses pengolahan air tanah dengan metode kombinasi elektrolisis (Amarasooriya dkk., 2019).
2. Semakin lama waktu proses elektrolisis maka semakin tinggi penurunan Alkalinitas, Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD, Minyak dan Lemak, TDS dan Total Hardness pada proses pengolahan air tanah dengan metode kombinasi elektrolisis (Amarasooriya dkk., 2019).
3. Kualitas air hasil proses pengolahan air terproduksi dengan metode kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi mampu memenuhi baku mutu dan dapat meminimalisir terbentuknya *plugging* dan *scale* pada proses pemipaan sumur injeksi.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini merupakan penelitian berskala laboratorium.
2. Sample air terproduksi yang digunakan sebagai bahan baku adalah air terproduksi industri hulu migas struktur beringin formasi Prabumulih di Sumatera Selatan.
3. Temperatur proses elektrokoagulasi, adsorpsi dan kombinasi elektrokoagulasi – adsorpsi adalah 28°C dan tekanan 1 atm.
4. Elektroda yang digunakan pada pengolahan air terproduksi adalah material besi (Fe) sebagai katoda dengan ketebalan 1 mm.
5. Dimensi pelat elektroda pada pengolahan air terproduksi adalah 15 cm x 5 cm.

6. Tegangan listrik elektroda yang digunakan dalam pengolahan air terproduksi 3, 6, 9, dan 12 volt.
7. Proses yang digunakan dalam pengolahan air terproduksi untuk metode elektrokoagulasi menggunakan proses batch, metode adsorpsi menggunakan proses kontinyu dan kombinasi elektrokoagulasi – adsorpsi menggunakan proses kontinyu dengan waktu proses yang digunakan dalam pengolahan air terproduksi setiap 30 menit yaitu pada 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.
8. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan adsorben berupa silika dan karbon aktif yang berbentuk serbuk dengan ukuran partikel 0,4 – 2,0 mm dengan jumlah 20 g/L.
9. Analisa air terproduksi dan air hasil pengolahan meliputi alkalinitas, ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), COD, Minyak dan lemak, TDS dan *total hardness*.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi industri migas sumatera selatan untuk metode pengolahan air terproduksi.
2. Agar dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa dalam pengembangan ilmu teknologi pendidikan khususnya dalam pengolahan air terproduksi.
3. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti lain yang akan mengangkat tema yang sama namun dengan sudut pandang yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarasooriya, A.A.G.D., dan Kawakami, T. 2019. Removal of fluoride, hardness and alkalinity from groundwater by Electrolysis. *Journal Groundwater for sustainable development*, 9- 100231.
- Agung. 2012. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Elektrokoagulasi. (<http://core.ac.uk/download/files/379/11735109.pdf>. diakses pada tanggal 15 oktober 2019)
- Arifiani, N. 2014. *Studi Proses Elektrokoagulasi untuk Meningkatkan Kualitas Air Sungai Sebagai Air Baku*. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Aulianur, R.W. 2013. *Perbandingan Metode Elektrokoagulasi dengan Metode Presipitasi Hidroksida untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit* [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Brett, C.M.A. dan Brett, A.M.O. 1993. *Electrochemistry: principles, methods and applications*. Oxford University Press Inc., New York, pp. 326-328.
- Cakmaci, M., Kayaalp, N., dan Koyuncu, I. 2008. *Desalination of produced water from oil production fields by membrane processes*. Vol. 222, Hlm. 176-186.
- Ezechi, E.H., Isa, M.H. dan Muda, K. 2020. A comparative evaluation of two electrode systems on continuous electrocoagulation of boron from produced water and mass transfer resistance. *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 34. 101133.
- Razi, F., Pendashteh, A., Abdullah, L.C., Biak, D.R.A., Madaeni, S.S., dan Abidin, Z.Z. 2009. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, VI. 170, Hlm. 530-551.
- Ginting, E. S., Manurung, P., dan Riyanto, A. 2018. Pengaruh Konsentrasi NaOH Pada Ekstrak Nanosilika Berbasis Batu Apung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol.6(2): 209-218.
- Haryadi, D., Pardoyo., dan Azmiyawati, C. 2017. Pengaruh Variasi Jenis Asam Terhadap Karakteristik Nanosilika yang Disintesis dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 20(1):1-4.
- Hayati, D., Pardoyo., dan Azmiyawati, C. 2017. Pengaruh Variasi Jenis Asam Terhadap Karakteristik Nanosilika yang Disintesis dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 20(1):1-4.

Safitri, H.I., Ryanitha, F.A., dan Aryanti, N. 2015. Teknologi ultrafiltrasi untuk pengolahan air terproduksi (Produced Water), 2 (4): 205-211.

Hidayat, T., dan Sentosa, H.H. 2013. Recovery Silika dari Abu Batubara Boiler Tekanan Rendah. *Jurnal Konversi*. Vol. 2(2): 35-46.

Holt, P., Barton, G., dan Mitchell, C. 2004. *Electrocoagulation as A Wastewater Treatment*. The Third Annual Australian Environmental Engineering Research Event 23-26 November Castlemaine. Victoria.

AlGhouti, Mohammad A., AlKaabi, M.A., Ashfaq, M.Y. dan Dana, A.D. 2019. Produce water characteristics, treatment and reuse: A review. Department of Biological and Environment Science, Collage of Arts and Sciences, Qatar University.

Jamilatun S, dan Setyawan M. Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair. *Jurnal Spektrum Industri*, 2014. Vol. 12, No. 1, 1- 112.

Juliansyah, M. 2017. *Pembuatan Membran Silika Dari Bottom Ash Batubara Pltu Tanjung Enim Untuk Pengolahan Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Pembuatan Songket Palembang*. Laporan Akhir. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

Kheloufi, A., .2009. Improvement of Impurities Removal from Silica Sand by Leaching Process. Algeria: Silicon Technology Development Unit.

Lestiani, D.D., Muhayatun, dan Adventini, N. 2010. Karakteristik Unsur Pada Abu Dasar Dan Abu Terbang Batu Bara Menggunakan Analisis Aktivasi Neutron Instrumental. *Journal of Nuclear Science and Technology*. Vol. 10(1): 27-34.

Kumar, N.S., dan Goel, S. 2010. Factors influencing arsenic and nitrate removal from drinking water in a continuous flow electrocoagulation (EC) process. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 173. 528-533.

Liu, H., Gort S., dan Logan B.E. 2005. Electrochemically Assisted Microbial Production of Hydrogen from Acetate. *Environ Sci Technol* 39 : 4317-20.

Mamelkiana, M.A., Tuunila, R., Sillanpaa, N., dan Hakkinen, N. 2019. Systematic study on sulfate removal from mining waters by electrocoagulation. 216 : 43-50.

Metteson dan Michael J, 1995. *Electrocoagulation and Separation of Aqueous Suspensions of Ultrafine Particles, Colloids and Surface A Physicochemical and Engineering Aspects*. The University of Sydney. New South Wales.

Johan, M dan Fajria, S.S. 2019. *Ekstraksi Silika (SiO₂) dari Limbah Bottom Ash Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Pelarut Asam*. Laporan Penelitian Jurusan Teknik kimia, Universitas Sriwijaya.

Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., dan Cocke, D. L. 2004. *Electrocoagulation (EC) – Science and Applications*. Gill Chair of Chemistry & Chemical Engineering. Lamar University, Beaumont, TX 77710, USA.

Nainggolan, H. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Industri Perkebunan dan air Gambut menjadi Air Bersih*. Laporan penelitian USU Press

Peter. H. 2006, *Electrocoagulation As a Wastewater Treatment*, Departement of Chemical Engineering. The University of Sydney, New South Wales.

Andarani, P., dan Rezagama, A. 2015. Analisis Pengolahan Air terproduksi di water treating plant perusahaan eksploitasi minyak bumi (studi kasus PT.XYZ). 12 (2).

Pitcher, D dan Walsh, F. 1990. *Industrial Electrochemistry*. Second edition. Cambridge: Blackie Academic and Professionnal.

PT XYZ. 2008. *Leaflet Oil Treating Plant dan Water Treating Plant*.

Ridaningtyas, Y.W., Widodo, D.S., dan Hastuti. 2013. Pengolahan Limbah cair industri percetakan secara elektrolisis dengan elektroda karbon/karbon. 1 (1) : 51 – 58.

Cici, S. 2014. Penurunan Kadar Pb dan Cr pada Limbah Laboratorium dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi, Filtrasi dan Pengkkelatan Logam dengan Belimbing Wuluh. *Jurnal Penelitian Sains Prodi Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya*. Inderalaya.

Skoog, D.A., West, D.M., dan Holler, F.J. 1993. *Principle of Instrumental Analysis, 6th ed*. Philadelphia : Saunders Collage Pub.

Singh, dan Hardam, A. 1976. *Industrial Wastewater Management Handbook*. McGraw - Hill Book Company.

Sunardi. 2007. Pengaruh Tegangan Listrik dan Kecepatan Alir terhadap Hasil Pengolahan limbah cair yang mengandung Logam Pb,Cd dan TSS menggunakan Alat Elektrokoagulasi. *Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir*; 2007 Nov 21-22; Yogyakarta, Indonesia. Yogyakarta (ID).

Sutrisno, C.T dan astuti, S.E. 1987. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.

Tiana, dan Nadia,A. 2015. Air Terproduksi: Karakteristik dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung.

Wardhani E, Dirgawati M, dan Valyana KP. 2012. Penerapan Metode Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit. *Seminar Ilmiah Nasional*; 2012 Jun 12; Bandung, Indonesia. Bandung (ID)

Wibiana, W., Utami, A., Yogafanny, E.M., dan Kristiasi. 2018. Pengolahan air terproduksi dengan membran bioreaktor di wilayah penambangan Wonocolo. 15 (2).

Yuliusman. 2016. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa melalui aktivasi kimia dengan KOH dan fisika dengan CO₂. Program studi teknik kimia UPN Veteran. Surabaya.

Zhang, Y., dan Dawe, R.A., 2000. Influence of Mg²⁺ on the kinetics of calcite precipitation and calcite crystal morphology. Chem. Geol. 163 (1–4), 129–138.

