

**TESIS**  
**PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI**  
**(*PRODUCED WATER*) MENGGUNAKAN**  
**KATALIS BEKAS SEBAGAI MATERIAL FILTER**  
**KERAMIK YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM**  
***REVERSE OSMOSIS (RO)***



**AGRIVINA ABEL NOVIRA**  
**03012681923003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2022**

**TESIS**  
**PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI**  
**(*PRODUCED WATER*) MENGGUNAKAN**  
**KATALIS BEKAS SEBAGAI MATERIAL FILTER**  
**KERAMIK YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM**  
***REVERSE OSMOSIS (RO)***

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



**AGRIVINA ABEL NOVIRA**  
**03012681923003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2022**


**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI  
(PRODUCED WATER) MENGGUNAKAN  
KATALIS BEKAS SEBAGAI MATERIAL FILTER  
KERAMIK YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM  
REVERSE OSMOSIS (RO)**

**TESIS**

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

Palembang, Juni 2022  
Menyetujui  
Pembimbing I



Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D  
NIP. 196009091987031004

Pembimbing II



Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.  
NIP. 197808222002122001

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,  
Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002



Ketua Jurusan Teknik Kimia,  
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul "Pengolahan Air Terproduksi (*Produced Water*) Menggunakan Katalis Bekas Sebagai Material Filter Keramik Yang Terintegrasi Dengan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 13 Juni 2022.

Palembang, Juni 2022

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Said, M.Sc  
NIP. 196108121987031003



Anggota :

1. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA  
NIP. 196010111985032002
2. Dr. Ir. H. M. Hatta Dahlan, M.Eng  
NIP. 195910191987111001
3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T  
NIP. 198010312005011003



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T. NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia,  
  
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Agrivina Abel Novira

NIM : 03012681923003

Judul : Pengolahan Air Terproduksi (*Produced Water*)  
Menggunakan Katalis Bekas Sebagai Material Filter  
Keramik Yang Terintegrasi Dengan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

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 berlaku.

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



Palembang, Mei 2022  
Yang Membuat Pernyataan,



Agrivina Abel Novira  
NIM. 03012681923003

## RINGKASAN

PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI (*PRODUCED WATER*)  
MENGUNAKAN KATALIS BEKAS SEBAGAI MATERIAL FILTER  
KERAMIK YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM *REVERSE OSMOSIS*  
(RO)

Agrivina Abel Novira, Dibimbing oleh Prof.Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D dan Dr.  
Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Produced Water Treatment Using Spent Catalyst As Ceramic Filter Material  
Integrated With Reverse Osmosis (RO) System

xvii + 65 halaman, 14 Tabel, 26 Gambar, 6 Lampiran

### RINGKASAN

Filter keramik berbentuk tabung silinder yang terbuat dari campuran katalis bekas, tanah liat alam, dan pati gadung (*Dioscorea hispida Dennst*) telah dibuat untuk pengolahan air terproduksi. Parameter air terproduksi yang dianalisa adalah konsentrasi total padatan terlarut (TDS), kadar fenol, dan kadar barium. Dua jenis filter keramik dibuat menggunakan katalis bekas yang teraktivasi dan non-aktivasi dalam berbagai komposisi. Air terproduksi di alirkan ke filter keramik pada waktu operasi masing-masing 30, 60, 90 menit, dan tekanan yang diterapkan ke dalam filter keramik adalah 2,3, 2,5, dan 2,7 kg/cm<sup>2</sup> diikuti oleh membran reverse osmosis (RO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu kontak 90 menit dan tekanan 2,7 kg/cm<sup>2</sup> filter keramik D (25% katalis bekas teraktivasi, 70% tanah liat alami, 5% pati gadung) dapat menurunkan TDS, fenol, dan barium sebesar 43,21%, 68,69%, 26,21%, masing-masing dan diikuti oleh 86,68% TDS, 82,40% fenol, dan 93,33% barium di RO permeat. Hasil yang berbeda diperoleh dengan menggunakan filter keramik B (katalis bekas teraktivasi 70%, lempung alam 25%, dan pati gadung 5%) dapat mereduksi TDS, fenol, dan barium masing-masing sebesar 34,11%, 71,84%, dan 38,30% dan pada RO dapat menurunkan 67,93%, 91,77%, dan 82,92%, masing-masing. Dari hasil tersebut, katalis bekas teraktivasi dapat meningkatkan total penyisihan TDS, fenol, dan barium dari pengolahan air terproduksi. Filter keramik yang terbuat dari katalis bekas yang teraktivasi dapat menjadi pretreatment sebelum proses RO.

**Kata Kunci :** air terproduksi, filter keramik, katalis bekas, membran *reverse osmosis*, tanah liat

## SUMMARY

### PRODUCED WATER TREATMENT USING SPENT CATALYST AS CERAMIC FILTER MATERIAL INTEGRATED WITH REVERSE OSMOSIS (RO) SYSTEM

Agrivina Abel Novira, Supervised by Prof.Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D and Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T.

Pengolahan Air Terproduksi (*Produced Water*) Menggunakan Katalis Bekas Sebagai Material Filter Keramik Yang Terintegrasi Dengan Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

xvii + 65 Pages, 14 Tables, 26 Pictures, 6 Appendix

### SUMMARY

*A cylindrical tube shape ceramic filter made from a mixture of the residue catalytic cracking (RCC) unit spent catalyst, natural clay, and gadung (Dioscorea hispida Dennst) starch was employed for produced water (PW) treatment. The parameter of produced water characterized were total dissolved solids (TDS), phenol, and barium concentration. Two types of ceramic filters were made using activated, and non-activated RCC spent catalysts in various compositions. Produced water transferred to the ceramic filter at operating times of 30, 60, 90 min, respectively, and applied pressures into the ceramic filter were set as 2.3, 2.5, and 2.7 kg/cm<sup>2</sup> followed by a reverse osmosis (RO) membrane. The results showed that at contact time 90 min and applied pressure 2.7 kg/cm<sup>2</sup> ceramic filter D (25% activated RCC, 70% natural clay, 5% gadung starch) could reduce TDS, phenol, and barium by 43.21%, 68.69%, 26.21%, respectively and followed by 86.68% TDS, 82.40% phenol, and 93.33% barium in RO permeate. Different results were obtained using ceramic filter B (70% activated RCC spent catalyst, 25% natural clay, and 5% gadung starch) could reduce TDS, phenol, and barium as 34.11%, 71.84%, and 38.30%, respectively and in RO permeates were 67.93%, 91.77%, and 82.92%, respectively. From these results, activation of the RCC spent catalyst will increase the total removal of TDS, phenol, and barium from PW. The ceramic filter made from the activated RCC spent catalyst could be a pretreatment before RO processes.*

**Keywords:** *Ceramic Filter, Natural Clay, Produced Water, Reverse Osmosis, Spent Catalyst*

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji dan Syukur Kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tesis dengan judul “*Pengolahan Air Terproduksi (Produced Water) Menggunakan Katalis Bekas Sebagai Material Filter Keramik Yang Terintegrasi Dengan Sistem Reverse Osmosis (RO)*” dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulisan tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan kontribusi dalam menyelesaikan Tesis ini.

Selanjutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan doa, semangat, motivasi dan dukungan moral serta finansial.
2. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, IPU selaku Rektor Universitas Sriwijaya yang telah memberikan beasiswa pendidikan bagi Tenaga Kependidikan Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku ketua prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D selaku dosen pembimbing tesis ke-I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis dari penyusunan proposal, penelitian, jurnal hingga kepenyusunan ujian tesis.
6. Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tesis ke –II yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan proposal, penelitian, jurnal hingga kepenyusunan ujian tesis.
7. Prof. Dr. Ir. H. M. Said, M.Sc., Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA., Dr. Ir. H. M. Hatta Dahlan, M.Eng., dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku dosen penguji



yang dengan berbagai kebijaksanaannya memberikan arahan, saran dan koreksi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.

8. Kepala Laboratorium dan Analis serta Teknisi di Laboratorium Separasi dan Purifikasi Universitas Sriwijaya.
9. Restu Larassyah Aryani Putri, S.E. selaku tenaga administrasi pada Program Studi Magister Teknik Kimia yang selalu membantu proses administrasi selama pengerjaan tesis ini.
10. Rekan - rekan seperjuangan Magister Teknik Kimia 2019 periode Agustus, yang telah memberikan dorongan setulus hati.
11. Seluruh rekan seperjuangan penelitian, Rara Eka Dyla Putri dan Elvita yang telah saling mendukung untuk melalui perjuangan bersama-sama, bersama kalian studi ini sangat berkesan.
12. Semua pihak yang telah turut serta membantu dari awal sampai akhir penulisan tesis ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan dan yang membacanya. Semoga Allah SWT selalu membimbing dan melindungi kita semua.

Palembang, 22 Juni 2022

Penulis



Agrivina Abel Novira

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
RINGKASAN .....	vi
SUMMARY .....	vii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Hipotesis Penelitian .....	6
1.5 Ruang Lingkup .....	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Air Terproduksi ( <i>Produced Water</i> ) .....	7
2.1.1 Karakteristik Air Terproduksi ( <i>Produced Water</i> ).....	7
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Terproduksi .....	8
2.1.3 Parameter Air Terproduksi.....	9
2.1.4 Dampak Air Terproduksi Terhadap Lingkungan .....	11
2.2 Filter Keramik .....	13
2.2.1 Limbah Katalis.....	15
2.2.2 Tanah Liat .....	16
2.2.3 Gadung sebagai Bahan Pembentuk Pori .....	17
2.3 Teknologi Membran .....	17

2.3.1	Pengertian Membran .....	17
2.3.2	Klasifikasi Membran.....	18
2.3.3	Karakterisasi Membran .....	22
2.4	<i>Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	22
2.5	Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2	Bahan dan Peralatan Penelitian .....	25
3.2.1	Bahan Penelitian .....	25
3.2.2	Peralatan Penelitian.....	25
3.3	Rancangan Penelitian .....	26
3.3.1	Variabel Penelitian .....	26
3.3.2	Tahapan atau Prosedur Penelitian.....	26
3.3.3	Diagram Alir Penelitian .....	29
3.4	Skema Rangkaian Alat .....	30
3.5	Metode Pengolahan Data dan Analisa Sampel.....	31
3.5.1	Metode Pengolahan Data .....	31
3.5.2	Analisis Data .....	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1	Hasil Analisa Limbah Awal .....	33
4.2	Hasil Pembuatan Filter Keramik .....	33
4.3	Pengaruh Penggunaan Filter Keramik dan Membran <i>Reverse</i> <i>Osmosis</i> (RO) Terhadap Penurunan <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	34
4.4	Pengaruh Penggunaan Filter Keramik dan Membran <i>Reverse</i> <i>Osmosis</i> (RO) Terhadap Nilai Derajat Keasaman (pH) .....	39
4.5	Pengaruh Penggunaan Filter Keramik dan Membran <i>Reverse</i> <i>Osmosis</i> (RO) Terhadap Penurunan Kadar Fenol .....	42
4.6	Pengaruh Penggunaan Filter Keramik dan Membran <i>Reverse</i> <i>Osmosis</i> (RO) Terhadap Penurunan Konsentrasi Ion Logam Barium .....	43

4.7 Analisa SEM ( <i>Scanning Electrone Microscope</i> ) dan EDX ( <i>Energy Dispersive X-Ray</i> ) Filter Keramik .....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52
LAMPIRAN .....	59

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat ( <i>on-Shore</i> ) Lama .....	8
Tabel 2. 2 Kelebihan Dan Kekurangan Filter Keramik.....	14
Tabel 2. 3 Hasil analisa RCC menggunakan XRF .....	15
Tabel 2. 4 Karakteristik Tanah Liat Sumatera Selatan.....	16
Tabel 3. 1 Variasi Filter Keramik.....	27
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Terhadap Sampel Awal Air Terproduksi .....	33
Tabel 4. 2 Persentase Penurunan TDS Filtrat.....	37
Tabel 4. 3 Konsentrasi TDS Permeat RO dari Hasil Setiap Variasi Filter Keramik.....	39
Tabel 4. 4 Nilai pH Filtrat di Setiap Variasi Filter Keramik .....	40
Tabel 4. 5 Nilai pH Permeat RO Hasil Setiap Variasi Filter Keramik.....	41
Tabel 4. 6 Kadar Fenol Setiap Filter Keramik pada Tekanan 2,7 kg/cm <sup>2</sup> dan Waktu 90 Menit.....	43
Tabel 4. 7 Konsentrasi Ion Logam Barium Setiap Filter Keramik pada Tekanan 2,7 kg/cm <sup>2</sup> dan Waktu 90 Menit.....	44
Tabel 4. 8 Hasil analisa EDX pada filter keramik C sebelum dan sesudah	49
Tabel 4. 9 Hasil analisa EDX pada filter keramik D sebelum dan sesudah digunakan .....	50

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Struktur Kimia Fenol .....	10
Gambar 2. 2 Filter Keramik .....	14
Gambar 2. 3 Ilustrasi Pemisahan Selektif 2 fasa pada membrane.....	17
Gambar 2. 4 Proses Osmosis dan <i>Reverse Osmosis</i> .....	19
Gambar 2. 5 Diagram skema pemisahan membran.....	20
Gambar 2. 6 (a) <i>Hollow Fibre Membrane Module</i> (b) <i>Tubular Membrane Module</i> (c) <i>Flat Plate Module</i> (d) <i>Spiral Wound Module</i> ..	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Proses Pengolahan Limbah Cair menggunakan Filter Keramik – RO.....	31
Gambar 4. 1 Hasil Filter Keramik Berpori.....	34
Gambar 4. 2 Penurunan TDS (%) Pada Filter Keramik A dan Filter Keramik B .....	35
Gambar 4. 3 Penurunan TDS (%) Pada Filter Keramik C dan Filter Keramik D .....	36
Gambar 4. 4 Pengaruh Variasi Filter Keramik Terhadap Penurunan TDS (%)......	37
Gambar 4. 5 Grafik Penurunan TDS Filtrat Filter Keramik dan Permeat RO Pada Filter Keramik A dan Filter Keramik B .....	38
Gambar 4. 6 (a) Pengaruh Proses pada Filter Keramik A yang terintegrasi dengan Membran RO (b) Pengaruh Proses pada Filter Keramik B yang terintegrasi dengan Membran RO ..	41
Gambar 4. 7 Pengaruh Variasi Filter Keramik Terhadap Persentase Penurunan Kadar Fenol Filtrat pada Tekanan 2,7 kg/cm <sup>2</sup> dan Waktu 90 menit.....	42
Gambar 4. 8 Pengaruh Variasi Filter Keramik Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Ion Logam Barium Filtrat dan Permeat RO Tekanan 2,7 kg/cm <sup>2</sup> dan Waktu 90 Menit .....	44

Gambar 4. 9 Hasil Analisa SEM Filter Keramik C (a) sebelum digunakan dan (b) sesudah digunakan.....	46
Gambar 4. 10 Hasil Analisa SEM Filter Keramik D (a) sebelum digunakan dan (b) sesudah digunakan.....	47
Gambar 4. 11 Spektrum EDX Filter Keramik C (a) Sebelum Digunakan (b)Setelah Digunakan .....	48
Gambar 4. 12 Spektrum EDX Filter Keramik D (a) Sebelum Digunakan (b)Setelah Digunakan .....	49
Gambar L.6 1 Cetakan Filter Keramik.....	64
Gambar L.6 2 Filter keramik A dan B .....	64
Gambar L.6 3 Filter Keramik C dan D .....	64
Gambar L.6 4 Filter keramik E dan F .....	64
Gambar L.6 5 Filter Keramik B setelah digunakan .....	65
Gambar L.6 6 Filter Keramik C setelah digunakan .....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman	
Lampiran 1	Peraturan Gubernur No 8 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik Dan Pertambangan Batubara.....	59
Lampiran 2	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan .....	60
Lampiran 3	Prosedur Analisa Penentuan Kadar Barium Dengan Menggunakan Metode APHA 3120:2017 .....	61
Lampiran 4	Prosedur Analisa Penentuan Kadar Fenol Dalam Air Dan Air Limbah Dengan Menggunakan Metode Amino Antipirin .....	62
Lampiran 5	Parameter <i>Produced Water</i> .....	63
Lampiran 6	Foto Dokumentasi .....	64



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
H <sub>2</sub> S	Hidrogen Sulfida
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>
B3	Bahan Berbahaya dan Beracun
RO	<i>Reverse Osmosis</i>
pH	Derajat keasaman
PAH	Hidrokarbon poliaromatik
BTEX	Benzena, toluena, etilbenzena, dan xilena
Ppm	<i>parts per million</i>
CBM	<i>Coal Bed Methane</i>
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksida
RCC	<i>Residue Catalytic Cracking</i>
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
XRD	<i>X-ray diffraction</i>
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>
PW	<i>Produced Water</i>
O & G	<i>Oil and Grease</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri Minyak dan Gas ialah salah satu industri yang terus berkembang di Indonesia setiap tahunnya. Industri ini juga merupakan penghasil bahan bakar yang memenuhi berbagai kebutuhan hidup manusia. PT. Pertamina EP Asset 2 Field Prabumulih dengan perusahaan yang besar dan jangkauan wilayah kerja yang luas melakukan berbagai cara untuk meningkatkan jumlah produksi minyak dan gas bumi (Anugrah dkk., 2020). Setelah melalui tahap pemisahan minyak dan air, maka air hasil pemisahan yang disebut dengan air terproduksi (*produced water*), yang mana dihasilkan sebesar 80% dari limbah cair yang dihasilkan, sebagian besar diinjeksikan kembali kedalam sumur (Said, 2022). Namun, apabila sumur sedang slip, maka air terproduksi tidak dapat diinjeksikan kedalam sumur sehingga harus di buang ke lingkungan (Surahman dkk., 2021).

Produksi, industri minyak dan gas, memiliki masalah dengan volume limbah cair yang sangat besar, dan 80% dari limbah cair yang dihasilkan adalah air, yang disebut air terproduksi. Air ini berbeda dengan air karena mengandung bahan kimia berbahaya dan unsur lain dalam minyak dan gas

Air limbah dihasilkan dari industri minyak dan gas terbanyak adalah air terproduksi . Pada dasarnya air terproduksi adalah kombinasi dari air formasi, dan air tambahan yang diinjeksi untuk meningkatkan pemulihan minyak dan gas. Sejauh ini, air terproduksi dapat menampung berbagai kontaminan, seperti senyawa minyak, mineral terlarut, senyawa kimia, dan padatan terlarut (Yousef dkk., 2020)

Selama minyak dan gas terus diproduksi, jumlah air terproduksi juga akan semakin besar jumlahnya. Industri Migas di Sumatera Selatan tahun 2019 menghasilkan air terproduksi sebesar 25.775.574 barel atau 4.097.987.333 liter. Total yang diinjeksi ke dalam sumur injeksi sebesar 25.750.294 barel atau 4.093.968.135 liter (Surahman, 2020).

Air terproduksi yang dihasilkan tidak dapat langsung dibuang karena dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Air terproduksi yang dihasilkan mengandung konsentrasi logam yang tinggi, zat terlarut organik yang mudah menguap (volatil), zat beracun (toksik) yang terkait dengan produk hidrokarbon, dan konsentrasi padatan terlarut yang tinggi. Kandungan ini dapat mempengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia sebagai limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya). Komponen-komponen ini harus dihilangkan sebelum pengalihan air yang dihasilkan atau kembali ke operasi pengeboran (Utami, 2019).

Karakteristik air terproduksi yang dihasilkan perlu diketahui agar dapat ditemukan cara yang tepat untuk mengurangi konsentrasi pencemar di dalamnya sebelum dibuang. Dengan pengolahan yang tepat, air terproduksi yang dihasilkan dapat digunakan dengan baik. Pengolahan air terproduksi bertujuan untuk desinfeksi, menyingkirkan minyak, lemak, zat organik terlarut, *suspended solids*, gas terlarut dan menurunkan kesadahan sesuai dengan baku mutu yang telah ditentukan.

Senyawa yang terkandung dalam air terproduksi yang dihasilkan biasanya merupakan senyawa yang berbahaya bagi lingkungan yang melebihi baku mutu yang ditentukan, sehingga berpotensi pencemaran lingkungan. Kondisi air terproduksi yang dihasilkan dari PT Pertamina EP Asset 2 *Field* Prabumulih yaitu COD sebesar 430 mg/l, minyak dan lemak sebesar 377 mg/l, H<sub>2</sub>S sebesar 0,14 mg/l, Ammonia sebesar 17,71 mg/l, Fenol sebesar 1,3 mg/l, dan TDS sebesar 12670 mg/l (Surahman, 2020). Air terproduksi ditemukan memiliki konsentrasi tertinggi untuk kalsium (Ca<sup>2+</sup>), barium (Ba<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), natrium (Na<sup>+</sup>), strontium (Sr<sup>2+</sup>), dan radium (Ra<sup>2+</sup>, yaitu 226Ra dan 228Ra) (Ye & Prigiobbe, 2018). Fokus penelitian ini adalah pada barium. Barium merupakan logam berat yang paling umum dan melimpah yang ditemukan dalam air terproduksi dari reservoir minyak dan gas (Vilcáez, 2020). Air terproduksi yang berasal dari lapangan mengandung barium (Ba) 5,070 mg/L sebagai Ba<sup>2+</sup>. Melihat data ini masih ada nilai baku mutu yang belum terpenuhi sesuai dengan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 untuk kandungan Ba ditetapkan yaitu 2,00 mg/L. Oleh karena itu, air terproduksi perlu adanya pengolahan lanjutan sebelum dibuang ke lingkungan agar memenuhi baku mutu. Pengolahan

air terproduksi menggunakan metode yang efektif diharapkan dapat menurunkan kadar pencemar sehingga mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari pembuangan air terproduksi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi jumlah limbah air terproduksi yang dihasilkan. Oleh karena itu, digunakan teknologi membran yang sedang berkembang saat ini. Pemisahan membran mempunyai keunggulan diantaranya tanpa bahan kimia tambahan, kebutuhan energi rendah, pembentukan lumpur berkurang, dan permeat berkualitas tinggi. Pada membrane, hanya molekul yang lebih kecil dari ukuran pori yang dapat melewati membran, sedangkan sisanya tetap berada di permukaan membran.

Salah satu pengaplikasian teknologi membrane ini yaitu dengan menggunakan filter keramik. Teknologi keramik berpori dikenal sebagai metode pemurnian air limbah yang efisien (Mustapha dkk., 2021). Membran keramik atau anorganik, terbuat dari bahan seperti silika, oksida logam atau karbon, memiliki stabilitas termal dan kimia yang unggul, dan penggunaannya dalam aplikasi industri minyak merupakan teknologi yang sedang berkembang (Dickhout dkk., 2017). Harga filter keramik relative mahal dikarenakan harga bubuk alumina yang mahal. Penggunaan katalis bekas yang tinggi alumina dan silika merupakan solusi untuk menekan biaya produksi filter keramik.

Katalis bekas yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT Pertamina RU III Plaju yang dimana selalu menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi pada proses peretakan (*cracking*). Jumlah katalis bekas yaitu 15,980 ton dengan metode pengolahan diserahkan ke Pihak Ketiga Berizin (Stabilisasi) dan sebanyak 10,30 ton katalis bekas hanya disimpan di TPS Limbah B3 (Gudang Limbah B3) (PT Pertamina (Persero) Refinery Unit III, 2017). Jika katalis bekas ini setiap harinya selalu disimpan atau ditimbun, maka jumlahnya mengalami peningkatan yang mana akan sangat berbahaya bagi lingkungan dan juga berdampak pada kesehatan manusia. Komponen utama katalis bekas adalah alumina dan silika dimana merupakan material utama dalam pembuatan filter keramik (Herbudiman dkk., 2011)(Man dkk., 2018). Oleh karena itu, katalis bekas ini berpotensi untuk digunakan kembali sebagai adsorben dalam pengolahan air terproduksi.

Selain katalis bekas, pembuatan filter keramik juga membutuhkan penambahan zat yang berperan sebagai pembentuk pori, serta penambahan tanah liat. Bahan pembentuk pori yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati gadung yang sering digunakan sebagai bahan untuk membuat porositas pada keramik karena membentuk pori-pori pada saat pembakaran pada suhu sekitar 500°C (Elomari dkk., 2017). Penggunaan tanah liat sebagai adsorben yang komponen utamanya terdiri dari silika dan alumina memiliki keunggulan dibandingkan adsorben lain yang tersedia secara komersial dalam hal biaya rendah, ketersediaan melimpah, luas permukaan spesifik tinggi, sifat adsorpsi yang sangat baik, sifat tidak beracun, dan potensi pertukaran ion yang besar (Uddin, 2017).

Filter keramik termasuk kategori mikrofiltrasi (Nasir & Faizal, 2016), maka dari itu, setelah melewati filter keramik, dilanjutkan dengan menggunakan membran RO, kualitas air terproduksi menjadi sangat tinggi stabil dan jauh dibawah baku mutu. Oleh karena itu, air yang dihasilkan dapat dengan aman dibuang ke lingkungan dan dapat digunakan sebagai air bersih. Teknologi RO juga dapat diterapkan pada pengolahan PW untuk mengurangi konsentrasi TDS yang tinggi (Camarillo dkk., 2016),(Jang dkk., 2017). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas membran RO untuk perlakuan PW, misalnya efisiensi penyisihan membran RO pada rentang keasaman 4-9 oleh RO pada perlakuan PW terhadap penyisihan fenol, TDS, dan barium secara keseluruhan. efisiensi masing-masing 99,7%, 71,4%, dan 90,67% (Ipek, 2004),(Alzahrani dkk., 2017). Piemonte dkk (2015) dalam simulasi mereka menunjukkan bahwa proses RO menurunkan TDS hingga batas untuk digunakan kembali dan menyarankan kelayakan RO untuk mengolah PW untuk air berkualitas tinggi (Olajire, 2020). Dalam pekerjaan saat ini, filter keramik dari katalis bekas digunakan dalam kombinasi dengan RO untuk pengolahan air terproduksi. Apabila hanya menggunakan membran RO dalam pengolahan air terproduksi akan dengan mudah mengotori membran. Oleh karena itu penggunaan filter keramik pada pengolahan awal merupakan salah satu alternatif untuk mencegah terjadinya *fouling* pada membran RO (sebagai *pretreatment*).

Hasil penelitian ini di harapkan dapat memberikan solusi pengelolaan limbah industri yang terus menerus dihasilkan selama industri tersebut masih

berproduksi, dan juga dapat memberikan solusi permasalahan krisis air bersih yang di hadapi masyarakat sehingga menghasilkan air bersih. Hal lain yang di harapkan dari penelitian ini menghasilkan teknologi tepat guna bagi masyarakat dan juga bagi industri berupa alat pengolah air limbah dengan teknologi membran dengan tujuan untuk meningkatkan pola hidup sehat masyarakat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah

- 1) Bagaimana karakteristik filter keramik berbahan katalis bekas, tanah liat dan pati gadung?
- 2) Bagaimana kondisi operasi tekanan dan waktu operasi terbaik pada pengolahan air terproduksi menggunakan filter keramik yang terintegrasi dengan *reverse osmosis*?
- 3) Bagaimana pengaruh variasi perbandingan komposisi tanah liat, katalis bekas dan pati gadung dalam pembuatan filter keramik terhadap penurunan kadar TDS, pH, Fenol dan Barium pada pengolahan air terproduksi ?
- 4) Bagaimana karakteristik *permeat* yang dihasilkan dari proses filter keramik yang terintegrasi *reverse osmosis* sesuai baku mutu yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

- 1) Mengkaji karakteristik filter keramik berbahan katalis bekas, tanah liat dan pati gadung
- 2) Mengkaji kondisi operasi tekanan dan waktu operasi terbaik pada pengolahan air terproduksi menggunakan filter keramik yang terintegrasi dengan *reverse osmosis*
- 3) Mengkaji pengaruh variasi perbandingan komposisi tanah liat, katalis bekas dan pati gadung dalam pembuatan filter keramik terhadap penurunan kadar TDS, pH, Fenol dan Barium pada pengolahan air terproduksi

- 4) Mengkaji karakteristik *permeat* yang dihasilkan dari proses filter keramik yang terintegrasi *reverse osmosis* sesuai baku mutu yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012

#### **1.4 Hipotesis Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini adalah

- 1) Katalis bekas, tanah liat dan pati gadung dapat digunakan sebagai bahan filter keramik.
- 2) Kondisi operasi optimum pada filter keramik yaitu pada tekanan tinggi dan waktu operasi lama
- 3) Semakin besar komposisi tanah liat banding katalis bekas maka terjadi penurunan kadar TDS, pH, Fenol dan Barium setelah proses filter keramik yang terintegrasi *reverse osmosis*
- 4) Karakteristik *permeat* yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi standar baku mutu yang diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012

#### **1.5 Ruang Lingkup**

- 1) Penelitian ini berskala laboratorium
- 2) Air terproduksi yang digunakan berasal dari PT Pertamina EP Prabumulih
- 3) Katalis bekas yang digunakan berasal dari PT Pertamina RU III Plaju
- 4) Membran *reverse osmosis* yang digunakan adalah membran komersial CSM RE4040-BE

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

- 1) Peneliti mengharapkan penelitian ini dapat meningkatkan pengetahuan tentang kesehatan masyarakat dan memberikan wawasan kepada para peneliti untuk mengelola air terproduksi dan limbah katalis untuk diaplikasikan ke kehidupan sehari-hari
- 2) Kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan bagi industri untuk pengelolaan limbah padat dan cair serta pertimbangan pengambilan kebijakan lebih lanjut terkait industri hijau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelwahab Emam, E. 2018. Clay Adsorption Perspective on Petroleum Refining Industry. *Industrial Engineering*, 2(1), 19–25.
- Achak, M., Hafidi, A., Ouazzani, N., Sayadi, S., & Mandi, L. 2019. Low cost biosorbent “banana peel” for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 117–125.
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da’na, D. A. 2019. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28(September 2018), 222–239.
- Alzahrani, S., Mohammad, A. W., Hilal, N., Abdullah, P., & Jaafar, O. 2017. Comparative study of NF and RO membranes in the treatment of produced water-Part I: Assessing water quality. *Desalination*, 315, 18–26.
- Amari, A., Gannouni, H., Khan, M. I., Almesfer, M. K., Elkhaleefa, A. M., & Gannouni, A. 2018. Effect of structure and chemical activation on the adsorption properties of green clay minerals for the removal of cationic dye. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(11).
- Amissah, E. K. 2016. *A Study On The Properties Of Blended Regenerated Spent Catalyst*. University Of Ghana, Ghana.
- Andarini, N., Haryati, T., & Lutfia, Z. 2018. Sintesis zeolit A dari abu terbang (fly ash) batubara variasi rasio molar Si/Al. *Jurnal ILMU DASAR*, 19(2), 105–110.
- Anugrah, A., Luh, N., Ratna, G., Kiswandono, A. A., & Shinta, D. 2020. Analisa Kualitas Air Injeksi Berdasarkan Parameter H<sub>2</sub>S, Bakteri, dan Scale Index di SP VI Talang Jimar PT.Pertamina EP Asset 2 Field Prabumulih, 5(01), 82–91.
- Arsyad, R. 2020. Analisis Variasi Perendaman Spent Catalyst Rcc (Limbah Pertamina) Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Panas Ac-Wc. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 3(1), 15–27.
- Azaman, F., Nor, M. A. A. M., Abdullah, W. R. W., Razali, M. H., Zulkifli, R. C., Zaini, M. A. A., & Ali, A. 2021. Review on natural clay ceramic membrane: Fabrication and application in water and wastewater treatment. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 17(1), 62–78.
- Ben Ali, M., Hamdi, N., Rodriguez, M. A., Mahmoudi, K., & Srasra, E. 2018. Preparation and characterization of new ceramic membranes for ultrafiltration. *Ceramics International*, 44(2), 2328–2335.
- Bouزيد Rekik, S., Bouaziz, J., Deratani, A., & Baklouti, S. 2017. Study of ceramic



- membrane from naturally occurring-kaolin clays for microfiltration applications. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 61(3), 206–215.
- Camarillo, M. K., Domen, J. K., & Stringfellow, W. T. 2016. Physical-chemical evaluation of hydraulic fracturing chemicals in the context of produced water treatment. *Journal of Environmental Management*, 183, 164–174.
- Chaukura, N., Chiworeso, R., Gwenzi, W., Motsa, M. M., Munzeiwa, W., Moyo, W., ... Nkambule, T. T. I. 2020. A new generation low-cost biochar-clay composite 'biscuit' ceramic filter for point-of-use water treatment. *Applied Clay Science*, 185(December 2019), 105409.
- Danforth, C., Chiu, W. A., Rusyn, I., Schultz, K., Bolden, A., Kwiatkowski, C., & Craft, E. 2020. An integrative method for identification and prioritization of constituents of concern in produced water from onshore oil and gas extraction. *Environment International*, 134(October 2019), 105280.
- De Gisi, S., Galasso, M., & De Feo, G. 2019. Treatment of tannery wastewater through the combination of a conventional activated sludge process and reverse osmosis with a plane membrane. *Desalination*, 249(1), 337–342.
- Dehmani, Y., Sellaoui, L., Alghamdi, Y., Lainé, J., Badawi, M., Amhoud, A., ... Abouarnadasse, S. 2020. Kinetic, thermodynamic and mechanism study of the adsorption of phenol on Moroccan clay. *Journal of Molecular Liquids*, 312, 113383.
- Diana, S., Zaharani, L., & Fona, Z. 2018. Pemanfaatan Fly Ash dan Clay dalam Pembuatan Membran Keramik dengan Penambahan PVA Sebagai Perikat untuk Merejeksi TSS pada Air Sungai. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2(1), 91–95.
- Dickhout, J. M., Moreno, J., Biesheuvel, P. M., Boels, L., Lammertink, R. G. H., & de Vos, W. M. 2017. Produced water treatment by membranes: A review from a colloidal perspective. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487, 523–534.
- Ekpunobi, U. E., Agbo, S. U., & Ajiwe, V. I. E. 2019. Evaluation of the mixtures of clay, diatomite, and sawdust for production of ceramic pot filters for water treatment interventions using locally sourced materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1).
- Elomari, H., Achiou, B., Karim, A., Ouammou, M., Albizane, A., & Bennazha, J. 2017. Influence of starch content on the properties of low cost microfiltration membranes. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 5(3), 313–319.
- Fard, A. K., McKay, G., Chamoun, R., Rhadfi, T., Homme, H. P., & Atieh, M. A. 2017. Barium Removal from Synthetic Natural and Produced Water using MXene as Two Dimensional (2-D) Nanosheet Adsorbent. *Chemical Engineering Journal*.

- Fitri, R. F. 2020. *Pengolahan Air Terproduksi Menggunakan Metode Kombinasi Proses Elektrokoagulasi Dengan Elektroda Besi ( Fe ) Dan Adsorpsi Dengan Media Silika & Karbon Aktif*. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Fitriana, N., & Rahmayanti, M. 2020. Aplikasi Membran Filter Keramik Untuk Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red dan Nilai COD Limbah Cair Batik. *Al-Kimia*, 8, 159–167.
- Fitriani, R. O., Hartiati, A., & Suhendra, L. 2018. Karakteristik Gula Cair Yang Dibuat Dari Pati Ubi Gadung (*Dioscorea Hispida D.*) Dalam Variasi Jenis Dan Konsentrasi Asam. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 6(3), 203–210.
- Gaol, El. R. L. 2019. *Pengolahan limbah cair industri karet menggunakan Sand Filter dan Bentonit dengan Proses Hybrid Membran (UF-RO)*. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Gayatri, H. W. 2020. Pemanfaatan Limbah Katalis RCC-15 Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Genteng Beton (hal. 7610). Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Gniadek, M., & Dąbrowska, A. 2019. The marine nano- and microplastics characterisation by SEM-EDX: The potential of the method in comparison with various physical and chemical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 210–216.
- Gobel, A. P. 2018. Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Dalam Menetralkan Air Asam Tambang pada Settling Pond Penambangan Banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, 2(1), 1–11.
- Harianingsih, & Setiawan, H. 2016. Membran secara umum didefinisikan sebagai penghalang antara dua fasa yang bersifat selektif sehingga memungkinkan suatu fasa / komponen tertentu menembus lebih cepat dibandingkan fasa / komponen lainnya di bawah pengaruh gaya penggerak ( driving force ) ,. *Prosiding SNST ke-7*, 62–67.
- Hasan, M. M., Saeed, T., & Nakajima, J. 2019. Integrated simple ceramic filter and waste stabilization pond for domestic wastewater treatment. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 1–12.
- Herbudiman, B., Setyaning, A., & Kemala, P. 2011. The Use Of Spent Catalyst RCC-15 As Powder On Environmental- Friendly High-Performance Self-Compacting Concrete, 89–94.
- Hidayat, T. 2019. *Pembuatan Keramik Berpori Dari Tanah Liat Dan Serbuk Tembaga (Cu) Dengan Menggunakan Serbuk Batang Kelapa Sawit Sebagai Agen Pembentuk Pori Untuk Filter Pada Gas Buang Kendaraan Bermotor*. Universitas Sumatera Utara, Medan.

- Hubadillah, S. K., Othman, M. H. D., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rahman, M. A., Harun, Z., ... Nomura, M. 2018. Fabrications and applications of low cost ceramic membrane from kaolin: A comprehensive review. *Ceramics International*, 44(5), 1–66.
- Idris, A. M., & El-Zahhar, A. A. 2019. Indicative properties measurements by SEM, SEM-EDX and XRD for initial homogeneity tests of new certified reference materials. *Microchemical Journal*, 146, 429–433.
- Ipek, U. 2004. Phenol removal capacity of RO with and without pre-treatment. *Filtration and Separation*, 41(7), 39–40.
- Iqbal, E. M. 2019. *Pengembangan Teknologi Membran Keramik Berbasis Tanah Liat Untuk Penurunan Kadar Logam Timbal (Pb) Dalam Limbah Artifisial*. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Jang, E., Jeong, S., & Chung, E. 2017. Application of three different water treatment technologies to shale gas produced water. *Geosystem Engineering*, 20(2), 104–110.
- Jiménez, S., Micó, M. M., Arnaldos, M., Medina, F., & Contreras, S. 2018. State of the art of produced water treatment. *Chemosphere*, 192, 186–208.
- Jose, S., Mishra, L., Debnath, S., Pal, S., Munda, P. K., & Basu, G. 2019. Improvement of water quality of remnant from chemical retting of coconut fibre through electrocoagulation and activated carbon treatment. *Journal of Cleaner Production*, 210, 630–637.
- Karm, Z., Subhi, A. D., & Hamied, R. S. 2020. Comparison study of produced water treatment using electrocoagulation and adsorption. *Revista de Chimie*, 71(11), 22–29.
- Kusumajati, R. A. 2018. *Pembuatan Membran Hibrid...*, Ega Nabella Zanna, Fakultas Teknik Dan Sains UMP, 2018. Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto.
- Kusworo, T. D., Qudratun, & Utomo, D. P. 2017. Performance evaluation of double stage process using nano hybrid PES/SiO<sub>2</sub>-PES membrane and PES/ZnO-PES membranes for oily waste water treatment to clean water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 6077–6086.
- Malakootian, M., Mahvi, A. H., Mansoorian, H. J., & Khanjani, N. 2018. Agrowaste based ecofriendly bio-adsorbent for the removal of phenol: Adsorption and kinetic study by acacia tortilis pod shell. *Chiang Mai Journal of Science*, 45(1), 355–368.
- Man, K., Zhu, Q., Guo, Z., & Xing, Z. 2018. Fe-Ti/Fe (II)-loading on ceramic filter materials for residual chlorine removal from drinking water. *Chemosphere*, 200, 405–411.

- McLaughlin, M. C., Borch, T., McDevitt, B., Warner, N. R., & Blotvogel, J. 2020. Water quality assessment downstream of oil and gas produced water discharges intended for beneficial reuse in arid regions. *Science of the Total Environment*, 713, 1–19.
- Meidinariasty, A., Zamhari, M., Septiani, D., & Novianita. 2019. Uji Kinerja Membran Mikrofiltrasi dan Reverse Osmosis pada Proses Pengolahan Air Reservoir Menjadi Air Minum Isi Ulang. *Jurnal Kinetika, Politeknik Negeri Sriwijaya*, 10(3), 35–41.
- Mohamad Said, K. A., Ismail, A. F., Abdul Karim, Z., Abdullah, M. S., & Hafeez, A. 2021. A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 151, 257–289.
- Mohammadi, S., Kargari, A., Sanaeepur, H., Abbassian, K., Najafi, A., & Mofarrah, E. 2015. Phenol removal from industrial wastewaters: a short review. *Desalination and Water Treatment*, 53(8), 2215–2234.
- Mora Delfita Tadjuka, D. K. W. dan B. H. 2017. Fenol Pada Limbah PLTU Palu Charcoal of Hyacinth ( *Eichornia crassipes* ) as an Adsorbent of Phenol in Palu PLTU Waste. *Jurnal Akademika Kimia*, 6(May), 119–124.
- Mustapha, S., Oladejo, T. J., Muhammed, N. M., Saka, A. A., Oluwabunmi, A. A., Abdulkabir, M., & Joel, O. O. 2021. Fabrication of porous ceramic pot filters for adsorptive removal of pollutants in tannery wastewater. *Scientific African*, 11.
- Muthia, E. 2017. *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Pertama, Vol. 53). Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Nair, C. S., & Kani, M. 2017. Evaluating the Performance of Locally Made Ceramic Filters for Household Water Treatment. *International Journal for Research in Technological Studies*, 4(6), 40–45.
- Nakano, K., Wang, J., & Sim, L. N. 2021. Combination of Ultrafiltration and Ceramics Adsorption Filter for Pretreatment in Seawater Reverse Osmosis Desalination Process. *Laporan Teknis Hitachi Metals*, 37, 44–53.
- Nasir, S., Chrisya Andira, S., & Dona, V. 2020. Utilizing Adsorption Bentonit And Hybrid UF-RO In Processing Liquid Waste Of Pulp Industry. *Journal of Innovation and Technology*, 1(1), 17–22.
- Nasir, S., & Faizal, S. 2016. Ceramic Filters And Their Application For Cadmium Removal From Pulp Industry Effluent. *International Journal of Technology*, 5, 786–794.
- Nursia, Syahbanu, I., & Shofiyani, A. 2018. Adsorpsi Senyawa Fenolik dalam Asap Cair pada Arang Aktif dari Cangkang Luar Buah Karet. *Jurnal Kimia*

*Khatulistiwa*, 7(4), 60–65.

- Okechukwu, J. ., Osemeahon, S. ., & Dimas, B. . 2021. Development And Evaluation Of The Performance Of Ceramic Water Filter Prepared From Dried Duckweed Plant. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 6.
- Olajire, A. A. 2020. Recent advances on the treatment technology of oil and gas produced water for sustainable energy industry-mechanistic aspects and process chemistry perspectives. *Chemical Engineering Journal Advances*, 4(October), 1–25.
- Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012. 2012. Baku mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, Hotel, Rumah Sakit, Domestik dan Pertambangan Batubara.
- Pratiwi, R., Suherman, S. E., Poongan, R. A. L., Mutakin, M., & Hasanah, A. N. 2018. Design of Optical Sensor Membrane Based on Polymer Poly(methyl methacrylate) for Paracetamol Detection in Traditional Herbal Medicine. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2018.
- PT Pertamina (Persero) Refinery Unit III. 2017. *Laporan Keberlanjutan*. Palembang.
- Rafiqul Islam, M. 2016. A Study on the TDS Level of Drinking Mineral Water in Bangladesh. *American Journal of Applied Chemistry*, 4(5), 164.
- Rinawati, Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. 2016. Penentuan Kandungan Zat Padat ( Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid ) Di Perairan Teluk Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 1(01), 36–45.
- Rumaizah, C. Z., Fazureen, A., Mohd Hasmizam, R., Asmadi, A., & Mohd Al Amin, M. N. 2019. Properties and filtration performance of porous clay membrane produced using sawdust as pore forming agent. *Key Engineering Materials*, 821, 337–342.
- Saifuddin, S., Elisa, E., & Sami, M. 2018. Efisiensi Kinerja Membran Keramik Tanah Liat & Zeolit Aktif Sebagai MediaFilter Untuk Filtrasi Air Sungai, 2(1), 240–247.
- Saifuddin, S., Lisa, A., Amalia, Z., Faridah, F., & Elfiana, E. 2020. Applications of micro size anorganic membrane of clay, zeolite and active carbon as filters for peat water purification. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1), 1–7.
- Shivaraju, H. P., Egumbo, H., Madhusudan, P., Anil Kumar, K. M., & Midhun, G. 2019. Preparation of affordable and multifunctional clay-based ceramic filter matrix for treatment of drinking water. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(13), 1633–1643.

- Suherman, S. D. M., Firdaus, M. A., Ryansyah, M. H. D., & Sari, D. A. 2020. Teknologi Dan Metode Pengolahan Limbah Cair Sebagai Pencegahan Pencemaran Lingkungan. *Barometer*, 5(1), 232–238.
- Surahman. 2020. *Penurunan TDS, COD dan Minyak & Lemak Air Terproduksi (Produced Water) Pada Prose Pre-treatment Menggunakan Electrocoagulan di Industri Migas Sumatera Selatan*. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Surahman, Said, M., & Bahrin, D. 2021. The Reduction of TDS, COD, and Oil-and-Fats in Produced Water by Pre-Treatment Process Using Electrocoagulants in the Oil and Gas Industry of South Sumatra, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(6), 2261–2270.
- Uddin, M. K. 2017. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438–462.
- Utami, I. T. 2019. *Studi Penanganan Air Terproduksi Di PT Pertamina Hulu Energi Siak*. Jakarta.
- Vilcáez, J. 2020. Reactive transport modeling of produced water disposal into dolomite saline aquifers: Controls of barium transport. *Journal of Contaminant Hydrology*, 233, 1–13.
- Ye, Z., & Prigiobbe, V. 2018. Effect of ionic strength on barium transport in porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 209(January), 24–32.
- Yousef, R., Qiblawey, H., & El-Naas, M. H. 2020. Adsorption as a process for produced water treatment: A review. *Processes*, 8(12), 1–22.
- Yunanda, E. A., & Riyadi, D. M. N. 2017. *Desalinasi Air Payau Menjadi Air Bersih Dengan Menggunakan Metode Reverse Osmosis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.