

**KARAKTERISASI DAN EKSTRAKSI MINYAK DARI
LUMPUR MINYAK BUMI MENGGUNAKAN PELARUT
TOLUENA KOMBINASI SURFAKTAN TRITON X-100 DAN
TRITON X-114**

SKRIPSI

oleh

Pratama Setiawan

NIM: 06101282126046

Program Studi Pendidikan Kimia



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

**KARAKTERISASI DAN EKSTRAKSI MINYAK DARI
LUMPUR MINYAK BUMI MENGGUNAKAN PELARUT
TOLUENA KOMBINASI SURFAKTAN TRITON X-100 DAN
TRITON X-114**

SKRIPSI

oleh

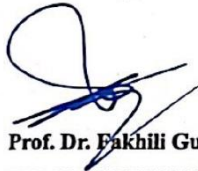
Pratama Setiawan

NIM: 06101282126046

Program Studi Pendidikan Kimia

Mengesahkan

Pembimbing 1



Prof. Dr. Fakhili Gulo, M.Si
NIP. 196412091991021001

Pembimbing 2



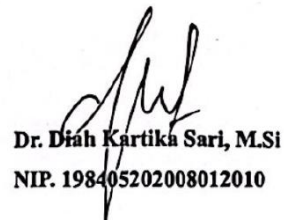
Macfa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd
NIP. 198505272008122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Koordinator Program Studi



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd
NIP. 197905222005011005



Dr. Diah Kartika Sari, M.Si
NIP. 198405202008012010

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pratama Setiawan

NIM : 06101282126046

Program Studi : Pendidikan Kimia

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul **“Karakterisasi dan Ekstraksi Minyak dari Lumpur Minyak Bumi Menggunakan Pelarut Toluena Kombinasi Surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114”** ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 5 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Pratama Setiawan

NIM. 06101282126046

PRAKATA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pratama Setiawan

NIM : 06101282126046

Program Studi : Pendidikan Kimia

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul **“Karakterisasi dan Ekstraksi Minyak dari Lumpur Minyak Bumi Menggunakan Pelarut Toluena Kombinasi Surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114”** ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 5 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Pratama Setiawan

NIM. 06101282126046

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah rabbi 'aalamiin, segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa (Allah SWT) atas limpahan rahmad, hidayah, dan karunia-Nya. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi “Karakterisasi dan Ekstraksi Minyak dari Lumpur Minyak Bumi Menggunakan Pelarut Toluena Kombinasi Surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114”. Penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata 1 pada Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak-pihak yang terlibat yaitu sebagai berikut.

1. Diri sendiri, seorang yang bernama Pratama Setiawan. Terima kasih sudah kuat, tegar, dan bertahan sehingga bisa menjalani perkuliahan sampai tahap akhir, menyelesaikan semua amanah dengan baik dan selesai dengan lebih cepat.
2. Orang tua tercinta, Bapak Sutekno dan Ibu Muntamah. Ucapan terimakasih karena telah pengupayakan banyak hal. Baik tenaga, moral, maupun finansial. Terima kasih telah memberikan kepercayaan dan amanah yang luar biasa untuk anak tunggal ini sehingga bisa jauh menjelajahi dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua doa, dukungan, dan nasihat yang diberikan kepada penulis. Jika ada kata yang lebih tinggi dari terima kasih, maka akan penulis sampaikan. Semoga senyum, canda, dan tawa yang indah tetap membersamai penulis dan terus bisa penulis nikmati
3. Seluruh keluarga besar Bapak Samijan (Alm) dan Bapak Rosidin. Terima kasih untuk seluruh doa, dukungan, nasihat, dan bantuan lainnya dalam menyelesaikan skripsi ini hingga selesai.

4. Bapak Prof. Dr. Fakhili Gulo, M.Si dan Ibu Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd selaku dosen pembimbing akademik sekaligus tugas akhir. Terima kasih banyak karena telah meluangkan waktu dan tenaga untuk senantiasa memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan selama proses penyusunan tugas akhir ini berlangsung.
5. Ibu Dr. Diah Kartika Sari, M.Si selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia. Terima kasih untuk arahan, saran, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis
6. Ibu Dr. Sofia, M.Si selaku dosen penguji. Terima kasih untuk masukan dan saran yang diberikan kepada penulis
7. Seluruh jajaran dosen program studi pendidikan kimia yang telah memberikan ilmu, saran, dan nasihat yang telah diberikan kepada penulis sejak awal perkuliahan dan selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Admin jurusan MIPA (Mbak Chika). Terima kasih telah banyak membantu penulis dan mempermudah selama proses administrasi mulai dari awal hingga tugas akhir ini selesai.
9. Laboran jurusan Pendidikan Kimia (Kak Daniel Alfarado, S.Si). Terima kasih telah banyak meluangkan tenaga, waktu, dan saran yang diberikan baik dalam proses perkuliahan maupun penelitian.
10. Teruntuk kakak-kakak penulis, Siska Nuri Fadilah, S.T., dan Wahyu Setiawan, S.T., terima kasih atas kerjasama, ilmu, nasihat, arahan, teguran, dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini berlangsung. Terimakasih untuk semua waktu, tenaga, dan lelahnya. Semoga menjadi manusia yang senantiasa dapat bermanfaat bagi masyarakat.
11. Teman dan sekaligus keluarga satu bimbingan (Aninda Putri, Chintia Azahra, Putri Nurhafizah, dan Inga Nurul Antasa). Terima kasih telah menemani, membantu, dan berjuang bersama dari awal penelitian sampai selesai penyusunan tugas akhir. Terima kasih atas cerita dan keluh kesah hebatnya.
12. Teruntuk sahabat Yunita Aprilia. Terima kasih atas doa, dukungan, dan tempat berkeluh kesah yang baik mulai dari awal perkuliahan sampai selesai penyusunan tugas akhir.

13. Teruntuk adik dan sahabat Dina Mustaqima. Terima kasih atas doa, dukungan, nasihat, dan cerita hebat yang terukir selama proses perkuliahan berlangsung sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar.
14. Teruntuk sahabat dan keluarga terkasih “Calon Honorer” (Ikbal, Pipit, Hendra, Atik, Awal, Nini, Amelpa, dan Caca). Terima kasih karena telah berproses bersama dari awal kehidupan di perkuliahan sampai selesai dan melewati suka duka sehingga mewarnai kehidupan perkuliahan penulis.
15. Teruntuk sahabat dan keluarga tersayang “Kempi Olang” (Jogi Imanuel, Jeri, Amanda Seliana, Intan, Angela Damayanti, Yoga, Maulia, Ais, Ferco, Debbi Irani, Syahira, Bagus, dan Abid). Terima kasih atas dukungan, nasihat, dan teguran kepada penulis karena dapat menjadikan cerita hebat dikemudian hari.
16. Teruntuk sahabat dan keluarga “Rusmini Kost” (Hisyam Dany Al-Daffa’ dan Reza Abelia Rosidin). Terima kasih atas nasihat, dukungan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan selesai dengan tepat waktu.
17. Teruntuk sahabat “FKIP Kiw Kiw” (Dian Anisa, Dewi Septiyani, Nadhirah Abel, dan Putri Nurhafizah). Terima kasih atas segala dukungan moral, nasihat, canda dan tawa yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik
18. Teruntuk sahabat dan keluarga “Cemara” (Fauzi, Regita, Irpan, Satria, Aldi, Arif, Sindi, Ama, dan Dela). Terima kasih atas segala doa, dukungan, motivasi yang diberikan penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
19. Teman-teman seperjuangan HMK 2021 yang telah banyak memberikan bantuan selama masa perkuliahan dan penyusunan tugas akhir hingga selesai.
20. Keluarga UKM-U-READ dan IMB OKU Timur. Terimakasih telah menjadi wadah penulis berproses selama perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
21. Almamater tercinta Universitas Sriwijaya yang selau penulis banggakan
22. Terakhir, terima kasih kepada suruh pihak yang telah memberikan dukungan dan semangat serta doa-doanya kepada penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak penulis sebutkan satu per satu Namanya.

MOTTO

“Bangunlah pagi hari untuk mencari rezeki dan kebutuhan-kebutuhanmu.
Sesungguhnya pada pagi hari terdapat barakah dan keberuntungan.”

(HR. At-Thabrani dan Al-Bazzar)

“Orang boleh pandai setinggi langit, tapi selama ia tidak menulis, ia akan
hilang di dalam masyarakat dan dari sejarah”

-Pramoedya Ananta Toer-

*"Education is the most powerful weapon, which you can
use to change the world."*

-Nelson Mandela-

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	iii
PRAKATA	iv
PERSEMBAHAN	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun	5
2.2 Ekstraksi Pelarut.....	6
2.3 Pelarut Toluena.....	7
2.4 Surfaktan	8
2.4.1 Triton X-100	9
2.4.2 Triton X-114	10
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Jenis Penelitian	12
3.3 Alat dan Bahan	12
3.3.1 Alat.....	12
3.3.2 Bahan	13
3.4 Prosedur Penelitian.....	13
3.4.1 Prosedur Karakterisasi Lumpur Minyak Bumi	13
3.4.2 Pengujian Analisis Morfologi Lumpur Minyak Bumi.....	17
3.4.3 Analisis Termogravimetri Lumpur Minyak Bumi.....	17

3.4.4	Prosedur Ekstraksi Lumpur Minyak Bumi	18
3.4.4.1	Persiapan Campuran Pelarut dan Surfaktan.....	18
3.4.4.2	<i>Pretreatment</i> Lumpur Minyak Bumi	19
3.4.4.3	Proses Ekstraksi	19
3.5	Diagram Alir.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Sifat Fisik dan Kimia Lumpur Minyak Bumi.....	25
4.2	Morfologi Lumpur Minyak Bumi	28
4.3	Analisis Termogravimetri Lumpur Minyak Bumi	30
4.4	Ekstraksi Lumpur Minyak Bumi	32
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		39
5.1	Simpulan.....	39
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA		40
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia Toluena (Road & Lincolnshire, 2014)	8
Tabel 2. Sifat fisik dan kimia Triton X-100 (Nitobenzene, 2017).....	10
Tabel 3. Sifat fisik dan kimia Triton X-114 (Thermo Fisher Scientific, 2012)	11
Tabel 4. Jenis dan komposisi campuran pelarut dan surfaktan.....	18
Tabel 5 Sifat fisik dan kimia lumpur minyak bumi	25
Tabel 6. Tabel hasil uji SEM-EDX.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur kimia Toluena.....	7
Gambar 2. Struktur kimia Triton X-100	10
Gambar 3. Struktur kimia Triton X-114	11
Gambar 4. Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 5. Diagram alir uji pH lumpur minyak bumi.....	21
Gambar 6. Diagram alir uji COD lumpur minyak bumi	21
Gambar 7. Diagram alir uji densitas lumpur minyak bumi.....	22
Gambar 8. Diagram alir analisis morfologi menggunakan SEM-EDX	22
Gambar 9. Diagram alir analisis morfologi menggunakan SEM-EDX	23
Gambar 10. Diagram alir analisis termogravimetri lumpur minyak bumi.....	24
Gambar 11. Hasil uji SEM-EDX dan sebaran unsur.....	29
Gambar 12. Kurva termogravimetri lumpur minyak bumi	32
Gambar 13. Variasi suhu terhadap pemisahan minyak.....	32
Gambar 14. Variasi waktu terhadap pemisahan minyak.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sifat Fisik dan Kimia Limbah Lumpur Minyak Bumi	51
Lampiran 2. Morfologi Lumpur Minyak Bumi.....	59
Lampiran 3. Analisis Termogravimetri Lumpur Minyak Bumi.....	61
Lampiran 4. Ekstraksi Lumpur Minyak Bumi	62
Lampiran 5. SK Pembimbing.....	66
Lampiran 6. Surat Izin Penelitian.....	68
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	71
Lampiran 8. Hasil Cek Plagiarisme	74

ABSTRAK

Lumpur minyak bumi tergolong dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dapat mencemari dan merusak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakterisasi sampel lumpur minyak bumi yang didapat dari PT Pertamina EP Prabumulih Field. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh suhu dan waktu ekstraksi terhadap hasil minyak dengan pelarut toluena kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114. Analisis karakterisasi lumpur minyak bumi meliputi analisis sifat fisik dan kimia (pH, densitas, viskositas, COD, kadar air, kadar minyak, dan total padatan), analisis morfologi menggunakan SEM-EDX-*Mapping*, dan analisis termogravimetri. Pada tahap ekstraksi, variasi suhu yang digunakan yaitu 60°C, 80°C, 100°C dan variasi waktu yang digunakan yaitu 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Berdasarkan hasil karakterisasi yang dilakukan sampel lumpur minyak tersebut tergolong ke dalam limbah berbahaya yang berdampak bagi lingkungan. Hasil ekstraksi pada variasi suhu menunjukkan bahwa suhu yang paling optimal terhadap produksi hasil minyak yaitu pada suhu 60°C. Sedangkan untuk hasil ekstraksi pada variasi waktu menunjukkan bahwa waktu yang paling optimal terhadap produksi hasil minyak yaitu pada waktu 40 menit.

Kata kunci: ekstraksi, karakterisasi, lumpur minyak bumi, suhu, waktu.

ABSTRACT

*Petroleum sludge is classified as hazardous and toxic waste (B3) which can pollute and damage the environment. This study aims to study the characterization of petroleum sludge samples obtained from PT Pertamina EP Prabumulih Field. This study also studies the effect of temperatur and extraction time on oil yields with toluena solvents combined with Triton X-100 and Triton X-114 surfactants. Petroleum sludge characterization analysis includes analysis of physical and chemical properties (pH, density, viscosity, COD, water content, oil content, and total solids), morphological analysis using SEM-EDX-*Mapping*, and thermogravimetric analysis. At the extraction stage, the temperatur variations used were 60°C, 80°C, 100°C and the time variations used were 20 minutes, 40 minutes, and 60 minutes. Based on the results of the characterization carried out, the oil sludge samples are classified as hazardous waste that has an impact on the environment. The extraction results at temperatur variations show that the most optimal temperatur for oil production is at 60°C. Meanwhile, the extraction results at time variations show that the most optimal time for oil production is at 40 minutes.*

Keywords: *characterization, extraction, petroleum sludge, temperatur, time*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Definisi limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) menurut peraturan pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 adalah zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya yang secara langsung ataupun tidak langsung dapat mencemari dan merusak lingkungan hidup. Salah satu contoh dari limbah B3 adalah lumpur minyak bumi dan sering dihasilkan oleh industri perminyakan (Chen *et al.*, 2024). Lumpur minyak bumi (*Petroleum Sludge*) merupakan limbah padat berbahaya yang didapatkan dari proses eksploitasi, transportasi, penyimpanan, dan pemurnian dari adanya minyak mentah yang terjadi di industri perminyakan (Chen *et al.*, 2020). Lumpur minyak bumi memiliki kandungan logam berat yang lebih tinggi konsentrasinya jika dibandingkan dengan lumpur limbah biasa dan memiliki struktur yang lebih kompleks (Duan *et al.*, 2022). Beberapa zat beracun yang terdapat di dalam kandungan lumpur minyak bumi yaitu hidrokarbon aromatik polisiklik, sulfida, seri benzena, dan logam berat (Kang *et al.*, 2024). Selain itu, lumpur minyak bumi dalam jumlah besar mengandung emulsi minyak, air, dan sumber daya yang dapat didaur ulang. Hal ini karena lumpur minyak bumi mengandung senyawa hidrokarbon yang tahan terhadap api dan merupakan energi terbarukan dengan nilai potensi yang tinggi (Hu *et al.*, 2020).

Industri perminyakan banyak mengakumulasi berbagai lumpur berminyak dari proses hulu ke hilir, seperti kegiatan penambangan, penyimpanan, transportasi, dan pemurnian. Sumber dari lumpur berminyak pada proses penambangan berasal dari tangki minyak, tangki pengendapan, tangki limbah, tangki pemisah tiga fase, dan bagian yang berada dibawah tangki limbah (Kang *et al.*, 2024). Lumpur minyak bumi dalam jumlah besar dihasilkan dari pabrik kilang, seperti proses pemisahan minyak dan air, pembersihan sedimen, dan pengolahan air dari limbah biologis (He *et al.*, 2023). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik produksi minyak bumi di Indonesia pada tahun 2022 adalah sekitar 223.532,50 barel minyak per hari (BPS, 2023). Pada tahun 2024 PT Pertamina EP

Prabumulih Field Regional Sumatera mencatat angka produksi 10.000 barel minyak per hari (BOPD) (Novian, 2024). Data ini menunjukkan bahwa produksi minyak bumi di Indonesia masih cukup besar. Hal ini berbanding lurus dengan lumpur minyak bumi yang dihasilkan dari sisa pertambangan minyak bumi. Produksi dari lumpur berminyak dalam hitungan tahunan dari kilang global diperkirakan lebih dari 60 juta ton pada satu dekade yang lalu dan jumlah ini terus meningkat dari tahun ke tahun (He *et al.*, 2023). Oleh karena jumlahnya yang cukup besar, maka hal yang dapat dilakukan yaitu memperbarui keramahan lingkungan, keberlanjutan, dan teknologi pengembangan ramah lingkungan yang lain (Hui *et al.*, 2020). Perkembangan industrialisasi dan urbanisasi yang pesat, ditambah dengan peningkatan populasi yang signifikan, menyebabkan peningkatan produksi limbah lumpur minyak bumi (Ghanbari *et al.*, 2021).

Salah satu sifat yang dimiliki oleh limbah minyak bumi adalah menjadi pencemar terhadap lingkungan. Lumpur minyak bumi sudah ditetapkan sebagai limbah berbahaya dan polutan lingkungan yang diprioritaskan oleh banyak negara. Lumpur minyak bumi ini menyebabkan dampak polusi yang sangat tidak sehat dan tidak dapat diterima oleh lingkungan karena memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia (Jagaba *et al.*, 2022). Hal ini dikarenakan adanya berbagai kontaminan seperti ion logam, hidrokarbon polisiklik, patogen, dan zat beracun lainnya (Zhou *et al.*, 2024). Selain itu, lumpur minyak bumi juga sebagai sumber karbon dan nutrisi yang digunakan untuk pemulihan energi dan dapat dijadikan pupuk untuk pertumbuhan tanaman (Li, *et al.*, 2023). Pemanfaatan sumber daya lumpur minyak bumi dapat mengurangi volume pembuangan dan tingkat pencemaran limbah padat berbahaya. Manfaat lainnya yaitu mengurangi penggunaan sumber daya tak terbarukan (Hui *et al.*, 2020). Pengolahan lumpur memerlukan biaya yang cukup mahal yaitu mencapai 60% dari total biaya yang diperlukan untuk operasional instalasi pengolahan limbah (Wang *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pengelolaan dan penanganan lumpur limbah sangat penting untuk melestarikan lingkungan, energi, dan ekonomi (Wang *et al.*, 2024).

Pemulihan energi dari lumpur berminyak telah banyak dikembangkan dengan beberapa serangkaian metode seperti bioremediasi, gasifikasi, fotokatalis,

ekstraksi pelarut, flotasi, pirolisis, sentrifugasi, elektrokinetik, dan lain sebagainya (Jagaba *et al.*, 2022). Metode yang paling baik dan menjanjikan yang dapat dilakukan untuk memulihkan minyak dari lumpur minyak bumi (*petroleum sludge*) adalah dengan menggunakan ekstraksi pelarut. Ekstraksi pelarut memiliki banyak keunggulan seperti efisiensi tinggi, kesederhanaan dan waktu dalam pemrosesan yang singkat serta metode ekstraksi pelarut ini sudah banyak digunakan di dalam bidang petrokimia (Zhu *et al.*, 2020). Penelitian yang dilakukan Nezhdbahadori *et al.*, (2018) mempelajari aktivitas dari Metil Etil Keton dan toluena sebagai pelarut polar dan non polar dalam ekstraksi bahan bakar, hasil yang didapatkan yaitu 30,41% diperoleh minyak dari penggunaan metil etil keton (MEK) dan 37,24% diperoleh minyak dari penggunaan toluena. Penggunaan pelarut dalam jenis tunggal dalam ekstraksi memiliki keterbatasan sehingga menjadi kurang optimal dalam perolehan hasil minyak. Oleh karena itu, perlu adanya kombinasi pelarut dengan pelarut lain atau pelarut dengan bahan lain untuk meningkatkan optimalisasi pemisahan minyak berlumpur (Hamidi *et al.*, 2021). Salah satu cara yang telah terbukti dan sangat optimal yaitu dengan mengkombinasikan pelarut dengan surfaktan (AL-Doury, 2019). Penelitian yang dilakukan Ramirez (2017) dalam AL-Doury (2019), menggunakan surfaktan (Triton X-100 dan X-114, Tween 80, natrium dodesil sulfat, SDS, dan rhamnolipid dan menggunakan pelarut (n-pentana, n-heksana, sikloheksana, toluena, dan iso-oktana) yang digunakan untuk mencuci lumpur. Penelitian tersebut ditemukan bahwa rhamnolipid dan Triton X-100, dan Triton X-114 memiliki tingkat perolehan minyak yang tertinggi (50-70%). Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan tersebut memiliki tingkat keberhasilan yang cukup tinggi dalam pemisahan minyak berlumpur.

Oleh sebab itu, pemisahan minyak bumi dari lumpur berminyak dengan mengkombinasikan pelarut toluena dan surfaktan sangat perlu untuk diteliti. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu dapat meningkatkan perolehan sumber energi potensial dan pengelolaan limbah B3 lebih baik, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan meningkatkan nilai ekonomi limbah.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik sampel lumpur minyak bumi di PT Pertamina EP Prabumulih Field?
2. Bagaimana hasil ekstraksi minyak dari lumpur minyak bumi pada variasi suhu dengan menggunakan pelarut toluena kombinasi surfaktan triton X-100 dan triton X-114?
3. Bagaimana hasil ekstraksi minyak dari lumpur minyak bumi pada variasi waktu dengan menggunakan pelarut toluena kombinasi surfaktan triton X-100 dan triton X-114?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian dijabarkan sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik sampel lumpur minyak bumi di PT Pertamina EP Prabumulih Field.
2. Mengetahui hasil ekstraksi minyak dari lumpur minyak bumi pada variasi suhu dengan menggunakan pelarut toluena kombinasi surfaktan triton X-100 dan triton X-114?
3. Mengetahui hasil ekstraksi minyak dari lumpur minyak bumi pada variasi waktu dengan menggunakan pelarut toluena kombinasi surfaktan triton X-100 dan triton X-114?

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut.

1. Penelitian ini bermanfaat terhadap pengembangan ilmu pengetahuan melalui pemahaman yang lebih baik terhadap kandungan limbah lumpur berminyak
2. Produk temuan dari penelitian ini dapat memberikan masukan berharga terhadap pengambilan kebijakan dan pengelolaan limbah berkelanjutan di dalam sektor industri perminyakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulqawi, M., Ibrahim, A., Embong, R., & Ismail, N. (2023). Development of a hybrid technique of solvent extraction and freeze-thaw for oil recovery from petroleum sludge. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.66>.
- Agnello, A. C., Peluffo, M., Di Clemente, N. A., & Del Panno, M. T. (2024). Sequential oxidation-composting-phytoremediation treatment for the management of an oily sludge from petroleum refinery. *Journal of Environmental Management*, *360*, 121142. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121142>.
- Akbar, R., Siroj, R. A., Win Afgani, M., & Weriana. (2023). Experimental Research Dalam Metodologi Pendidikan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(Vol 9 No 2 (2023): Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan), 465–474. <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/3165>.
- Al-Doury, M. M. I. (2019). Treatment of oily sludge using solvent extraction. *Petroleum Science and Technology*, *37*(2), 190–196. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1533859>.
- AL-Doury, M. M. I. (2019). Treatment of oily sludge produced from Baiji oil refineries using surfactants. *Petroleum Science and Technology*, *37*(6), 718–726. <https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1566247>.
- Andrianto, A., & Novembrianto, R. (2024). Pengaruh kinerja unit prasedimentasi dan clarifier dalam menurunkan COD dan TSS pada pengolahan air limbah komunal. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, *6*(2), 263–272.
- Anggraini, D. C. P., Ahsan, A., & Jalaludin, J. (2022). Hubungan paparan toluena di udara dengan fungsi ginjal pada pekerja bengkel pengecatan mobil surabaya. *Jurnal Media Gizi Kesmas*, *11*(1), 116–120. <https://doi.org/10.20473/mgk.v11i1.2022.116-120>.
- ASTM E1131-20. (2000). *Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry1*. *08*(Reapproved 1989), 3–4. <https://doi.org/10.1520/C1709-18>.

- ASTM E2809-22. (2003). *Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS) in Forensic Polymer Examinations*. 03, 1–6. <https://doi.org/10.1520/E2809-22.2>.
- Atasoy, M., Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2018). Bio-based volatile fatty acid production and recovery from waste streams: Current status and future challenges. *Bioresource Technology*, 268, 773–786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.042>
- Belhaj, A. F., Elraies, K. A., Mahmood, S. M., Zulkifli, N. N., Akbari, S., & Hussien, O. S. (2020). The effect of surfactant concentration, salinity, temperature, and pH on surfactant adsorption for chemical enhanced oil recovery: a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(1), 125–137. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0685-y>
- BPS. (2023). *Statistik Pertambangan Minyak & Gas Bumi* (Vol. 34).
- Chen, G., Li, J., Li, K., Lin, F., Tian, W., Che, L., Yan, B., Ma, W., & Song, Y. (2020). Nitrogen, sulfur, chlorine containing pollutants releasing characteristics during pyrolysis and combustion of oily sludge. *Fuel*, 273(117772), 117772. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117772>
- Chen, H., Wang, X., Liang, H., Chen, B., Liu, Y., Ma, Z., & Wang, Z. (2024). Characterization and treatment of oily sludge: A systematic review. *Environmental Pollution*, 344, 123245. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123245>
- Chen, Q., Yang, H., Liu, Y., Yu, K., & Zhao, D. (2022). Toward an improved understanding of emulsion stabilization at elevated temperatures by direct visualization and reversibility analysis. *Journal of Molecular Liquids*, 367, 120563. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120563>
- Cruz, S. L., Rivera-García, M. T., & Woodward, J. J. (2014). Review of Toluene Actions: Clinical Evidence, Animal Studies, and Molecular Targets. *Journal of Drug and Alcohol Research*, 3, 1–8. <https://doi.org/10.4303/jdar/235840>
- Darsono, N., Agustina, T., Aristian, N. E., & Pratama, Y. (2017). Pengaruh jumlah Triton X-100, suhu dan waktu tahan kalsinasi terhadap sintesis powder zirkonia dan aplikasinya dalam mengdegradasi metil orange. *Jurnal Teknik*

Kimia, 23(2), 87–94.

- Duan, Y., Gao, N., Sipra, A. T., Tong, K., & Quan, C. (2022). Characterization of heavy metals and oil components in the products of oily sludge after hydrothermal treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127293. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127293>
- Ghanbari, F., Wang, Q., Hassani, A., Waclawek, S., Rodríguez-Chueca, J., & Lin, K.-Y. A. (2021). Electrochemical activation of peroxides for treatment of contaminated water with landfill leachate: Efficacy, toxicity and biodegradability evaluation. *Chemosphere*, 279, 130610. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130610>
- Hamidi, Y., Ataei, S. A., & Sarrafi, A. (2021). A simple, fast and low-cost method for the efficient separation of hydrocarbons from oily sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 413, 125328. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125328>
- Hassanzadeh, M., Tayebi, L., & Dezfouli, H. (2018). Investigation of factors affecting on viscosity reduction of sludge from Iranian crude oil storage tanks. *Petroleum Science*, 15(3), 634–643. <https://doi.org/10.1007/s12182-018-0247-9>
- He, Y., Wang, Z., & Wang, J. (2023). Investigation of pyrolytic characteristics of three oily sludges with focus on properties of oil product. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 174, 106114. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106114>
- Hochberg, S. Y., Tansel, B., & Laha, S. (2022). Materials and energy recovery from oily sludges removed from crude oil storage tanks (tank bottoms): A review of technologies. *Journal of Environmental Management*, 305, 114428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114428>
- Hu, C., Fu, S., Zhu, L., Dang, W., & Zhang, T. (2021). Evaluation and Prediction on the Effect of Ionic Properties of. *Molecules*.
- Hu, G., Feng, H., He, P., Li, J., Hewage, K., & Sadiq, R. (2020). Comparative life-cycle assessment of traditional and emerging oily sludge treatment approaches. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119594.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119594>

- Hui, K., Tang, J., Lu, H., Xi, B., Qu, C., & Li, J. (2020). Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, *13*(8), 6523–6543. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.009>
- Humadi, J. I., Jafar, S. A., Ali, N. S., Ahmed, M. A., Mzeed, M. J., Al-Salhi, R. J., Saady, N. M. C., Majdi, H. S., Zendejboudi, S., & Albayati, T. M. (2023). Recovery of fuel from real waste oily sludge via a new eco-friendly surfactant material used in a digital baffle batch extraction unit. *Scientific Reports*, *13*(1), 9931. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37188-9>
- Huo, Z., Yu, Z., Xu, W., & Xu, S. (2024). Determination of Critical Micelle Concentration (CMC) of surfactants using environmentally sensitive carbonized polymer dots. *The Journal of Physical Chemistry C*. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c08514>
- Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Lawal, I. M., Aminu, N., Noor, A., Al-dhawi, B. N. S., Usman, A. K., Batari, A., Abubakar, S., Birniwa, A. H., Umaru, I., & Yakubu, A. S. (2022). Diverse sustainable materials for the treatment of petroleum sludge and remediation of contaminated sites: A review. *Cleaner Waste Systems*, *2*, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100010>
- Jerez, S., Ventura, M., Molina, R., Pariente, M. I., Martínez, F., & Melero, J. A. (2021). Comprehensive characterization of an oily sludge from a petrol refinery: A step forward for its valorization within the circular economy strategy. *Journal of Environmental Management*, *285*, 112124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112124>
- Jing, G., Chen, T., & Luan, M. (2016). Studying oily sludge treatment by thermo chemistry. *Arabian Journal of Chemistry*, *9*, S457–S460. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.06.007>
- Johnson, M. (2013). Detergents: Triton X-100, Tween-20, and More. In *Materials and Methods* (Vol. 3). <https://doi.org/10.13070/mm.en.3.163>
- Johnston, J. E., Lim, E., & Roh, H. (2019). Impact of upstream oil extraction and environmental public health: A review of the evidence. *Science of The Total Environment*, *657*, 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.483>

- Kang, C., Guo, J., Kiyangi, W., Fei, D., & Xiong, R. (2024a). Sustainable treatment and recycling of oily sludge: Incorporation into gel -system to improve oil recovery. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140640. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140640>
- Kang, C., Guo, J., Kiyangi, W., Fei, D., & Xiong, R. (2024b). Sustainable treatment and recycling of oily sludge: Incorporation into gel -system to improve oil recovery. *Journal of Cleaner Production*, 436, 140640. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140640>
- Ke, C.-Y., Qin, F.-L., Yang, Z.-G., Sha, J., Sun, W.-J., Hui, J.-F., Zhang, Q.-Z., & Zhang, X.-L. (2021). Bioremediation of oily sludge by solid complex bacterial agent with a combined two-step process. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111673. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111673>
- Keblinski, P., Phillpot, S. ., Choi, S. U. ., & Eastman, J. . (2002). Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(4), 855–863. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(01\)00175-2](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00175-2)
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. <https://jdih.maritim.go.id/>, 1–83. <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-5-tahun-2014>
- Kumar, S., Thakur, A., Kumar, N., & Husein, M. M. (2020). A novel oil-in-water drilling mud formulated with extracts from Indian mango seed oil. *Petroleum Science*, 17(1), 196–210. <https://doi.org/10.1007/s12182-019-00371-7>
- Li, W., Li, X., Han, C., Gao, L., Wu, H., & Li, M. (2023). A new view into three-dimensional excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy for dissolved organic matter. *Science of The Total Environment*, 855, 158963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158963>
- Liang, J., Zhao, L., & Hou, W. (2017). Solid effect in chemical cleaning treatment of oily sludge. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 522, 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.02.038>
- Maulida, E., Jalaluddin, J., ZA, N., Zulnazri, Z., & Kurniawan, E. (2023).

- Pembuatan surfaktan metil ester sulfonate dari minyak kelapa (virgin coconut oil) dengan metode sulfonasi. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 3(2), 247. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i2.9969>
- Memon, A. M., Sutanto, M. H., Memon, Z. A., Khahro, S. H., & Memon, R. A. (2024). Valorization of petroleum sludge as rejuvenator for recycled asphalt binder and mixture. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e03318. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03318>
- Mirajhusnita, I., Santosa, T. H., & Hidayat, R. (2020). Pemanfaatan limbah B3 sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan beton. *Eengineering*, 11(1), 24–33. <http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/1495>
- Moufawad, T., Idrissi, A., Costa Gomes, M., & Fourmentin, S. (2024). Insights on the solvation of toluene by deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 402, 124753. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124753>
- Nauli, M., Ashar, T., & Lubis, R. (2019). Paparan toluena dan kadar hippuric acid urin pada pekerja usaha percetakan di kota medan tahun 2018. *Journal of Community Medicine and Public Health*, 35(6), 233–236. <https://journal.ugm.ac.id/bkm/article/download/45210/29572>
- Nejad, Y. S., Jaafarzadeh, N., Ahmadi, M., Abtahi, M., Ghafari, S., & Jorfi, S. (2020). Remediation of oily sludge wastes using biosurfactant produced by bacterial isolate *Pseudomonas balearica* strain Z8. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 531–539. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00480-1>
- Nezhdbahadori, F., Abdoli, M. A., Baghdadi, M., & Ghazban, F. (2018). A comparative study on the efficiency of polar and non-polar solvents in oil sludge recovery using solvent extraction. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(7), 389. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6748-6>
- Nikam, B. K., Jadhav, V. B., & Borse, M. S. (2022). Influence of alcohols on the lower consolute behavior and thermodynamic approach of Triton X-114 aqueous two-phase systems. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(8), 100572. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100572>

- Nitobenzene. (2017). Identification of the substance / mixture and of the company / undertaking Identified uses : Details of the supplier of the safety data sheet SECTION 2 : Hazards identification. *MSDS, 2006(1907)*, 1–13.
- Niu, A., Sun, X., & Lin, C. (2022). Trend in research on characterization, environmental impacts and treatment of oily sludge: a systematic review. *Molecules*, 27(22), 7795. <https://doi.org/10.3390/molecules27227795>
- Novian, K. (2024). *Pertamina EP Prabumulih Field Tembus Produksi 10.000 BOPD sebagai Kunci Ketahanan Energi*.
- Pereira, L. B., Sad, C. M. S., Castro, E. V. R., Filgueiras, P. R., & Lacerda, V. (2022). Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review. *Fuel*, 310, 122301. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122301>
- Pongraktham, K., & Somnuk, K. (2024). Circulation process of methyl ester production from pretreated sludge palm oil using CaO/ABS catalytic static mixer coupled with an ultrasonic clamp. *Ultrasonics Sonochemistry*, 107138. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107138>
- Ramirez, D., Shaw, L. J., & Collins, C. D. (2021). Oil sludge washing with surfactants and co-solvents: oil recovery from different types of oil sludges. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5867–5879. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10591-9>
- Ren, H., Luo, R., Zhao, D., Jin, W., Hou, D., Peng, B., & Wang, B. (2023). De-oiling characteristics and mechanism of oil-bearing sludge cleaned by CGAs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 677, 132351. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.132351>
- Road, S., & Lincolnshire, N. (2014). *SeaQuantum X200 - 2 (UK) SECTION 1 : Identification of the substance / mixture and of the company / SECTION 2 : Hazards identification SECTION 2 : Hazards identification. 2006(1907)*, 1–15.
- Salami, I. R. S. (2021). *Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan Kerja*. UGM Press.
- Saputra, A. T., Wicaksono, M. A., & Irsan, I. (2018). Pemanfaatan minyak goreng

- bekas untuk pembuatan biodiesel menggunakan katalis zeolit alat teraktivasi. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.30872/cmgy.v1i2.1138>
- Sarungu, Y. T., & Sihombing, R. P. (2021). Pemanfaatan lumpur minyak dengan solar sebagai energi alternatif bahan bakar. *Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 103–108. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2021.v7.i2.15509>
- Seo, S., Mastiani, M., Mosavati, B., Peters, D. M., Mandin, P., & Kim, M. (2018). Performance evaluation of environmentally benign nonionic biosurfactant for enhanced oil recovery. *Fuel*, 234, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.111>
- Srokowski, E. M., & Woodhouse, K. A. (2017). 2.20 Decellularized Scaffolds. In *Comprehensive Biomaterials II* (pp. 452–470). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100691-7.00055-0>
- Suganthi, S. H., Murshid, S., Sriram, S., & Ramani, K. (2018). Enhanced biodegradation of hydrocarbons in petroleum tank bottom oil sludge and characterization of biocatalysts and biosurfactants. *Journal of Environmental Management*, 220, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.120>
- Thermo Fisher Scientific. (2012). Safety Data Sheet .Triton X 114. *Material Safety Data Sheet*, 4(2)(1), 8–10. https://us.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/16490607/contents
- Thong, O., Ibrahim, A., Abdul Rahim, H., Yong, W. J., & Ismail, N. (2021). Review of Crude Oil Extraction Methods from Petroleum Sludge. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 8(1), 40–50. <https://doi.org/10.15282/ijets.8.1.2021.1006>
- Tyanakh, S., Baikenov, M. I., Ma, F.-Y., Gulmaliev, A. M., Makasheva, A. M., Khamitova, T. O., & Malyshev, V. P. (2024). Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS) in Forensic Polymer Examinations. *Mendeleev Communications*, 34(3), 446–449. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2024.04.043>
- Wahyudi, N. T., Ilham, F. F., Kurniawan, I., & Sanjaya, A. S. (2018). Rancangan Alat Distilasi untuk Menghasilkan Kondensat dengan Metode Distilasi Satu Tingkat. *Jurnal Chemurgy*, 1(2), 30. <https://doi.org/10.30872/cmgy.v1i2.1142>

- Wang, C., Li, Z., Geng, X., & Zhang, H. (2020). Ecological remediation of petroleum-contaminated soil based on microbial degradation. *Applied Ecology and Environmental Research*, *18*(2), 2727–2746. https://doi.org/10.15666/aeer/1802_27272746
- Wang, L., Chao, K., Jin, Z., Chen, M., Zhu, X., Zhang, G., & Fu, B. (2024). Screening of toluene absorbents based on molecular simulation and experimental investigation on novel compound solvents. *Process Safety and Environmental Protection*, *184*, 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.02.032>
- Wang, Y., Dong, B., Fan, Y., Hu, Y., Zhai, X., Deng, C., Xu, Y., Shen, D., & Dai, X. (2019). Nitrogen transformation during pyrolysis of oilfield sludge with high polymer content. *Chemosphere*, *219*, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.171>
- Wang, Z., Li, X., Liu, H., Li, J., Vodnar, D. C., Lin, C. S. K., & Wang, Q. (2024). Life cycle assessment of traditional and innovative sludge management scenarios in Australia: Focusing on environmental impacts, energy balance, and economic benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, *204*, 107496. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107496>
- Wang, Z., Li, X., Liu, H., Zhou, T., Li, J., Siddiqui, M. A., Lin, C. S. K., Rafe Hatshan, M., Huang, S., Cairney, J. M., & Wang, Q. (2023). Enhancing methane production from anaerobic digestion of secondary sludge through lignosulfonate addition: Feasibility, mechanisms, and implications. *Bioresource Technology*, *390*, 129868. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129868>
- Wisdayana, R., Sri, F., Pangesti, P., & Ariesmayana, A. (2022). Redesain tempat penyimpanan sementara limbah B3 di workshop PT. purna baja harsco. *Jurnal Serambi Engineering*, *VII*(2), 3102–3111.
- Yang, H., Wang, D., Jiang, J., Yang, Y., & Yu, H. (2024). Effect of jet cavitation on oil recovery from oily sludge. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *199*, 109761. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109761>

- Yang, Y., Wang, Y., Gao, Z., Zhang, L., Qu, C., & Yang, B. (2021). Factors affecting chemical heat washing efficiency of oily sludge and Demulsification Mechanism. *E3S Web of Conferences*, 329, 01053. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132901053>
- Zhang, S., Wu, J., Nie, Q., Duan, X., & Yi, X. (2022). Environmental risk analysis based on characterization of ground oily sludge. *Materials*, 15(24), 9054. <https://doi.org/10.3390/ma15249054>
- Zhang, X., Yin, Z., Qin, J., Yang, W., Cao, Y., & Zhang, L. (2025). Role of surfactants in facilitating oil-solid separation in oily sludge treatment. *Separation and Purification Technology*, 358, 130275. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130275>
- Zhao, M., Wang, X., Liu, D., Li, Z., Guo, S., Zhu, W., Shi, N., Wen, F., & Dong, J. (2020). Insight into essential channel effect of pore structures and hydrogen bonds on the solvent extraction of oily sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 121826. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121826>
- Zhao, Y., Yan, X., Zhou, J., Li, R., Yang, S., Wang, B., & Deng, R. (2019). Treatment of oily sludge by two-stage wet air oxidation. *Journal of the Energy Institute*, 92(5), 1451–1457. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.08.006>
- Zhou, T., Li, X., Liu, H., Dong, S., Zhang, Z., Wang, Z., Li, J., Nghiem, L. D., Khan, S. J., & Wang, Q. (2024). Occurrence, fate, and remediation for per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in sewage sludge: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 466, 133637. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133637>
- Zhu, L., Lin, Z., Tan, J., Hu, L., & Zhang, T. (2020). Application of hydrophobic ionic liquid [Bmmim][PF6] in solvent extraction for oily sludge. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(9), 2294–2300. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.03.014>