

**EKSTRAKSI MINYAK DAN KARAKTERISASI LUMPUR  
MINYAK BUMI MENGGUNAKAN PELARUT KLOOROFORM  
KOMBINASI SURFAKTAN TRITON X-100 DAN  
TRITON X-114 DENGAN VARIASI SUHU DAN WAKTU**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Aninda Putri**

**NIM: 06101282126042**

**Program Studi Pendidikan Kimia**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**EKSTRAKSI MINYAK DAN KARAKTERISASI LUMPUR  
MINYAK BUMI MENGGUNAKAN PELARUT KLOOROFORM  
KOMBINASI SURFAKTAN TRITON X-100 DAN  
TRITON X-114 DENGAN VARIASI SUHU DAN WAKTU**

**SKRIPSI**

oleh

**Aninda Putri**

**NIM: 06101282126042**

**Program Studi Pendidikan Kimia**

**Mengesahkan**

**Pembimbing 1**



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

**Pembimbing 2**



**Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd  
NIP. 198505272008122002**


**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Pendidikan MIPA**



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

**Koordinator Program Studi**



**Dr. Diah Kartika Sari, M.Si  
NIP. 198405272008012010**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aninda Putri

NIM : 06101282126042

Program Studi : Pendidikan Kimia

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Ekstraksi Minyak dan Karakterisasi Lumpur Minyak Bumi Menggunakan Pelarut Kloroform Kombinasi Surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 dengan Variasi Suhu dan Waktu” 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. Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 06 Desember 2024

Yang membuat pernyataan,



Aninda Putri

NIM. 06101282126042

## PRAKATA

Skripsi dengan judul “Ekstraksi Minyak dan Karakterisasi Lumpur Minyak Bumi Menggunakan Pelarut Kloroform Kombinasi Surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 dengan Variasi Suhu dan Waktu” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) pada Program Studi Pendidikan kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya. Dalam mewujudkan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak.

Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Fakhili Gulö, M.Si. dan Ibu Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd sebagai pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Hartono, M.A., Dekan FKIP Unsri, Dr. Ketang Wiyono, M.Pd., Ketua dan Sekretaris Jurusan Pendidikan MIPA, Dr. Diah Kartika Sari, M.Si., Koordinator Program Studi Pendidikan kimia yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan Dr. Effendi Nawawi, M.Si., dan anggota penguji yang telah memberikan sejumlah saran untuk perbaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembelajaran bidang studi Pendidikan Kimia dan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Indralaya, 06 Desember 2024

Penulis,



Aninda Putri

NIM. 06101282126042

## PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah*, segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan kekuatan yang diberikan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam tak lupa tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan mulia yang membawa cahaya Islam sebagai petunjuk bagi seluruh umat manusia. Skripsi ini adalah buah dari doa, usaha, dan dukungan berbagai pihak yang tak pernah lelah menyertai setiap langkah perjalanan saya. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, ayah Hidayat dan ibu Opi Arida yang tidak pernah lelah memberikan kasih sayang, doa, serta dukungan moril dan materil sehingga anaknya dapat meraih gelar sarjana. Sejatinya pencapaian ini tidak akan mungkin tanpa doa dan pengorbanan kalian. Semoga Allah SWT memberikan umur yang panjang kepada ayah dan bunda.
2. Adikku Adrian Saputra yang telah memberi semangat dan menjadi penghibur di tengah kepenatan. Semoga pencapaian ini juga bisa menjadi motivasi bagimu untuk meraih mimpi-mimpimu di masa depan.
3. Bapak Prof. Dr. Fakhili Gulö, M.Si. selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Maefa Eka Haryani, S.Pd., M.Pd selaku dosen pembimbing 2 yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga Allah membalas kebaikan Bapak dan Ibu berlipat ganda, dan semoga Allah memberikan kesehatan kepada Bapak, Ibu dan keluarga.
4. Ibu Dr. Diah Kartika Sari, M.Si. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia. Terima kasih karena telah mempermudah urusan administrasi dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga kebaikan yang diberikan oleh Ibu mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT.
5. Seluruh dosen Prodi Pendidikan Kimia yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan motivasi yang sangat berarti selama saya melakukan studi. Terima kasih atas dedikasi, komitmen, dan kesabaran yang luar biasa dalam

membimbing saya, sehingga saya dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam dan berkembang selama perkuliahan.

6. Seluruh staff administrasi dan asisten laboratorium yang sudah membantu urusan administrasi dan kegiatan selama perkuliahan.
7. Kak Siska Nuri Fadilah, S.T. dan kak Wahyu Setiawan, S.T., kakak-kakak luar biasa yang telah memberikan inspirasi, arahan, dan bimbingan yang sangat berarti dalam penelitian ini. Terima kasih atas kesediaan kalian untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman selama proses penelitian ini.
8. Teman-teman “suka nugas” Adhela Jafira, Chintia Azahra, Dhea Putri Amanda, Ester Dela Rosa Hutasoit dan Siska Apriyani Silaen. Terima kasih telah berbagi tawa, ide-ide gila, dan mengajarkanku untuk lebih menghargai perbedaan. Perjalanan perkuliahan ini tidak akan terasa lengkap tanpa kehadiran kalian.
9. Sobat karibku Rahmah Dini, terima kasih untuk semua percakapan tidak penting yang ternyata sangat berarti. Terima kasih telah menjadi pendengar setia tanpa menghakimi, memberikan dukungan dan selalu ada setiap saat. Semoga persahabatan kita terus berkembang dan langgeng selamanya.
10. Teman-teman seperbimbingan, Chintia Azahra, Ingga Nurul Antasa, Pratama Setiawan dan Putri Nurhafizah. Terima kasih atas semangat dan candaan yang telah kita bagi selama penelitian yang tidak mudah ini. Penelitian ini menjadi lebih ringan dan penuh warna berkat kehadiran kalian.
11. HMK 2021, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang telah kita bagi selama perjalanan perkuliahan ini. Momen-momen yang kita lewati bersama akan selalu menjadi kenangan yang berharga.
12. Almamaterku Universitas Sriwijaya sebagai wadah untukku menimba ilmu, membentuk karakter dan pendewasaan diri.
13. Diriku sendiri, terima kasih atas ketekunan, kesabaran, dan usaha yang tidak pernah surut meskipun perjalanan ini penuh tantangan. Kamu telah melewati banyak hal, dan ini adalah bukti dari kerja keras dan semangat pantang menyerah. Semoga terus maju dan berkembang!

**MOTTO**

*“We are the architects of our own destiny, capable of forging our own path  
through the chaos of life”*

*-Aurora Aksnes-*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Limbah Lumpur Minyak Bumi (LMB).....	4
2.2 Ekstraksi Pelarut.....	5
2.3 Pelarut Kloroform.....	6
2.4 Surfaktan Triton X-100.....	7
2.5 Surfaktan Triton X-114.....	8
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>9</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	9
3.2 Alat dan Bahan.....	9
3.2.1 Alat.....	9
3.2.2 Bahan.....	9
3.3 Prosedur Penelitian.....	10
3.3.1 Karakterisasi Lumpur Minyak Bumi.....	10
3.3.2 Prosedur Ekstraksi.....	13
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	15
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>



4.1	Hasil Pengukuran Kadar Minyak, Kadar Air dan Total Padatan.....	21
4.2	Hasil Uji CHNS ( <i>Carbon, Hydrogen, Nitrogen, Sulfur Analysis</i> ).....	22
4.3	Hasil Uji <i>Total Kjeldahl Nitrogen</i> (TKN).....	24
4.4	Hasil Uji <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	25
4.5	Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	28
4.6	Hasil Uji <i>Energy Dispersive X-ray</i> (EDX).....	30
4.7	Hasil Ekstraksi Lumpur Minyak Bumi .....	32
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....		37
5.1	Simpulan.....	37
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....		38
LAMPIRAN.....		46

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi lumpur berminyak dari beberapa penelitian .....	4
Tabel 2 Jenis dan komposisi campuran pelarut dan surfaktan .....	13
Tabel 3 Variabel eksperimental untuk proses ekstraksi.....	14
Tabel 4 Hasil pengukuran kadar minyak, kadar air, dan total padatan .....	21
Tabel 5 Hasil uji CHNS lumpur minyak bumi.....	22
Tabel 6 Hasil uji FTIR lumpur minyak bumi.....	26
Tabel 7 Hasil uji EDX lumpur minyak bumi .....	30

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur Kloroform.....	7
Gambar 2 Struktur molekul Triton X-100.....	8
Gambar 3 Struktur molekul Triton X-114.....	8
Gambar 4 Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 5 Diagram alir uji CHNS.....	16
Gambar 6 Diagram alir uji TKN .....	17
Gambar 7 Diagram alir uji FTIR.....	18
Gambar 8 Diagram alir uji XRD .....	19
Gambar 9 Diagram alir uji EDX .....	20
Gambar 10 Hasil uji FTIR lumpur minyak bumi.....	26
Gambar 11 Hasil uji XRD lumpur minyak bumi .....	28
Gambar 12 Hasil ekstraksi lumpur minyak bumi menggunakan variasi suhu.....	32
Gambar 13 Hasil ekstraksi lumpur minyak bumi menggunakan variasi waktu....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Ekstraksi Lumpur Minyak Bumi.....	46
Lampiran 2. Perhitungan Kadar Air, Kadar Minyak dan Total Padatan .....	48
Lampiran 3. Hasil Uji CHNS ( <i>Carbon, Hydrogen, Nitrogen, Sulfur Analysis</i> )....	52
Lampiran 4. Hasil Uji <i>Total Kjeldahl Nitrogen</i> (TKN).....	53
Lampiran 5. Hasil Uji <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	55
Lampiran 6. Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	58
Lampiran 7. Hasil Uji <i>Energy Dispersive X-ray</i> (EDX) .....	59
Lampiran 8. Surat Izin Penelitian.....	60
Lampiran 9. SK Pembimbing.....	62
Lampiran 10. Bukti Similarity .....	64
Lampiran 11. Pelaksanaan Penelitian.....	65

## ABSTRAK

Proses eksplorasi dan pengeboran minyak bumi menghasilkan limbah lumpur minyak bumi yang masih memiliki kandungan minyak serta berbahaya bagi lingkungan. Untuk itu, pemanfaatan lumpur minyak bumi serta karakterisasinya penting untuk dilakukan. Penelitian ini mempelajari pengaruh suhu dan waktu terhadap ekstraksi pelarut dengan pelarut kloroform dikombinasikan surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114. Karakterisasi dilakukan melalui analisis sifat fisik seperti uji kadar air, kadar minyak, total padatan, kemudian uji spesifik CHNS, TKN, FTIR, XRD, serta EDX. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perolehan minyak paling besar untuk variasi suhu adalah 60°C, sedangkan waktunya adalah 40 menit. Karakterisasi lumpur minyak bumi menunjukkan hasil bahwa lumpur minyak bumi mengandung bahan organik, mineral, logam dan garam yang memiliki potensi bahaya terhadap lingkungan.

Kata kunci: Lumpur Minyak Bumi; Ekstraksi Pelarut; Karakterisasi.

## ABSTRACT

*The exploration and drilling processes of petroleum produce oil sludge waste that still contains oil and poses environmental hazards. Therefore, the utilization and characterization of oil sludge are essential. This study investigates the effect of temperature and time on solvent extraction using chloroform as a solvent combined with surfactants Triton X-100 and Triton X-114. Characterization was conducted through physical property analysis, including water content, oil content, total solids, as well as specific tests such as CHNS, TKN, FTIR, XRD, and EDX. The results indicate that the highest oil yield was obtained at a temperature of 60°C, while the optimal extraction time was 40 minutes. The characterization of oil sludge revealed that it contains organic materials, minerals, metals, and salts that pose potential environmental hazards.*

*Keywords: Petroleum Sludge; Solvent Extraction; Characterization.*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Minyak bumi merupakan salah satu sumber energi utama dalam aktivitas sehari-hari manusia. Proses produksi energi dari minyak bumi diawali dari eksplorasi dan pengeboran untuk menemukan cadangan minyak mentah, yang kemudian diekstraksi, diolah melalui proses penyulingan, dan diubah menjadi berbagai produk energi yang siap digunakan. Menurut data Badan Pusat Statistik, produksi minyak mentah dan kondensat Indonesia pada tahun 2022 adalah sekitar 223.532,50 barel minyak per hari (Badan Pusat Statistik, 2024). Proses produksi minyak dalam industri perminyakan menghasilkan lumpur minyak bumi sekitar 0,5% dari produksi minyak mentah tahunan global (Jagaba *et al.*, 2022). Lumpur minyak bumi (LMB) merupakan residu yang dihasilkan selama proses produksi, pemurnian, penyimpanan, serta pengangkutan minyak bumi (Hui *et al.*, 2020). LMB secara kimia mengandung sebanyak 40–50% alkana, 28–33% aromatik, 8–10% aspalten, dan 7–22,4% resin (Liu *et al.*, 2019). LMB tergolong ke dalam limbah berbahaya karena mengandung *imunotoxicant* dan karsinogen yang kuat (Jagaba *et al.*, 2022). Karena toksisitas dan sifat karsinogenik yang kuat ini maka lumpur minyak bumi akan menimbulkan masalah kesehatan dan berdampak pada lingkungan jika penanganannya tidak tepat. Lumpur minyak bumi yang dihasilkan baik dari proses produksi, penyimpanan maupun pemurnian masih mengandung senyawa hidrokarbon di dalamnya.

Semakin terbatasnya ketersediaan minyak bumi diiringi dengan semakin besarnya kebutuhan akan energi oleh manusia, LMB dapat menjadi alternatif energi yang dapat dimanfaatkan melalui proses konversi lumpur minyak bumi menjadi minyak. Selain menjadi energi alternatif yang dapat dimanfaatkan, pengolahan lumpur minyak bumi ini dapat mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah lumpur minyak bumi yang tidak tepat.

Proses pemisahan minyak dari lumpur minyak bumi dapat dilakukan melalui berbagai proses, salah satu diantaranya adalah ekstraksi pelarut (Hasan *et*

*al.*, 2024). Ekstraksi pelarut merupakan metode pemisahan minyak dan lumpur minyak bumi yang potensial karena metode ini dapat memisahkan lumpur minyak bumi menjadi residu padat dan minyak mentah dalam waktu singkat serta mengurangi volume dari lumpur minyak bumi secara efektif (Hui *et al.*, 2020). Prinsip dari ekstraksi pelarut adalah untuk melarutkan molekul organik yang tidak mudah menguap dari minyak atau matriks air (Hasan *et al.*, 2024). Dalam praktiknya, penggunaan pelarut tunggal mempunyai keterbatasan sehingga mempengaruhi hasil dari minyak mentah yang diperoleh. Untuk itu, penggunaan surfaktan merupakan pilihan yang menunjukkan kinerja yang tinggi dalam metode ekstraksi pelarut. Metode surfaktan ini mudah diterapkan dan tidak memerlukan peralatan mekanis berukuran besar (Hui *et al.*, 2020).

Kloroform merupakan salah satu pelarut yang paling sering dijumpai dalam proses ekstraksi pelarut. Kloroform merupakan pelarut nonpolar dengan afinitas tinggi terhadap senyawa nonpolar seperti hidrokarbon dalam lumpur minyak bumi. Ini membuatnya efektif untuk melarutkan hidrokarbon berat dan senyawa organik kompleks dalam lumpur minyak bumi, yang sering sulit diekstraksi dengan pelarut lain seperti heksana (Ahmed *et al.*, 2014; Hamidi *et al.*, 2021). Sedangkan Triton X-100 dan Triton X-114 merupakan surfaktan non-ionik yang dapat digunakan dalam ekstraksi pelarut. Triton X-100 menunjukkan efektivitas tinggi dalam meningkatkan *oil recovery* dengan mengurangi tegangan antarmuka dan membantu desorpsi hidrokarbon. Triton X-114, dengan sifat serupa, memiliki kelebihan pada suhu tertentu yang memfasilitasi pemisahan fase lebih baik (Ramirez *et al.*, 2021).

Oleh karena itu, karakterisasi dan pemisahan minyak dari lumpur minyak bumi menggunakan pelarut kloroform kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 sangat perlu untuk dikaji. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat menambah perolehan alternatif energi mengingat semakin sedikitnya cadangan minyak bumi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik lumpur minyak bumi yang digunakan dalam penelitian?
2. Bagaimana hasil ekstraksi lumpur minyak bumi dengan pelarut kloroform kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 pada variasi suhu?
3. Bagaimana hasil ekstraksi lumpur minyak bumi dengan pelarut kloroform kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 pada variasi waktu?

## **1.3 Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian dijabarkan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui karakteristik lumpur minyak bumi yang digunakan dalam penelitian.
2. Untuk mengetahui hasil ekstraksi lumpur minyak bumi dengan pelarut kloroform kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 pada variasi suhu.
3. Untuk mengetahui hasil ekstraksi lumpur minyak bumi dengan pelarut kloroform kombinasi surfaktan Triton X-100 dan Triton X-114 pada variasi waktu.

## **1.4 Manfaat**

Hasil penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan mendalam mengenai karakteristik dan pencemaran limbah lumpur minyak bumi.
2. Ekstraksi lumpur minyak bumi akan membuka kesempatan untuk pengembangan energi alternatif mengingat semakin sedikitnya ketersediaan minyak bumi.



## 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.2023.04.661>
- Agneta, M., Zhaomin, L., Chao, Z., & Gerald, G. (2019). Investigating synergism and antagonism of binary mixed surfactants for foam efficiency optimization in high salinity. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *175*, 489–494. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.12.074>
- Ahmed, R., Sinnathambi, C. M., & Eldmerdash, U. (2014a). N-Hexane, Methyl Ethyl Ketone and Chloroform Solvents for oil recovery from refinery waste. *Applied Mechanics and Materials*, *699*, 666–671. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.699.666>
- Avadhani, V. S., & Sen, I. Das. (2021). Interaction of imidazolium chloride-based ionic liquids with Triton X-114 micelles. *Journal of Molecular Liquids*, *339*, 116836. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116836>
- Badan Pusat Statistik. (2024, January 24). *Produksi Minyak Bumi dan Gas Alam, 1996-2022*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTA5MiMx/produksi-minyak-bumi-dan-gas-alam--1996-2022.html>
- Bao, Y., Zhu, Y., Liu, Y., Zhao, J., Tang, X., Li, T., Wang, Y., Liu, X., & Zhang, H. (2024). Variations in oil occurrence state and properties during high-speed stirring treatment of oily sludge. *Toxics*, *12*(10), 711. <https://doi.org/10.3390/toxics12100711>
- Bhuiyan, H. A., Khan, J. M., Kumar, D., Banjare, M. K., Islam, Md. R., Rana, S., Hoque, Md. A., Rahman, M. M., & Kabir, S. E. (2024). Phase separation, aggregation, and complexation of triton-X100 and bovine serum albumin mixture: A combined cloud point and UV–visible spectroscopic approaches. *International Journal of Biological Macromolecules*, *269*, 132184. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132184>
- Bordier, C. (1981). Phase separation of integral membrane proteins in Triton X-114 solution. *Journal of Biological Chemistry*, *256*(4), 1604–1607. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)69848-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)69848-0)
- Coates, J. (1998). A Review of Sampling Methods for Infrared Spectroscopy. In *Applied Spectroscopy* (pp. 49–91). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012764070-9/50005-6>

- C.S. Barrett, & T.B. Massalski. (1998). *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*. Springer.
- da Silva, L. J., Alves, F. C., & de França, F. P. (2012). A review of the technological solutions for the treatment of oily sludges from petroleum refineries. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 30(10), 1016–1030. <https://doi.org/10.1177/0734242X12448517>
- Djomgoue, P., & Njopwouo, D. (2013). FT-IR spectroscopy applied for surface clays characterization. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 03(04), 275–282. <https://doi.org/10.4236/jseamat.2013.34037>
- Douglas A. Skoog, F. James Holler, & Stanley R. Crouch. (2017). *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.). Cengage Learning.
- Egazar'yants, S. V., Vinokurov, V. A., Vutolkina, A. V., Talanova, M. Yu., Frolov, V. I., & Karakhanov, E. A. (2015). Oil sludge treatment processes. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 51(5), 506–515. <https://doi.org/10.1007/s10553-015-0632-7>
- Farahani, R. K., & Bagheri, A. (2022). The interaction of the surface active ionic liquid with nonionic surfactants (Triton X-100 and Triton X-405) in aqueous solution by using tensiometry method. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 118260. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118260>
- Friedman, G. M., & Schultz, D. J. (1994). Precipitation of vaterite (CaCO<sub>3</sub>) during oil field drilling. *Mineralogical Magazine*, 58(392), 401–408. <https://doi.org/10.1180/minmag.1994.058.392.05>
- Gupta, R., & Sharma, K. (2017). Iron compounds in drilling fluids: sources and implications. *Minerals and Energy Resources*, 42(2), 150–165.
- Guritno, M. A., Sihombing, R., & Krisnandi, Y. K. (2016). *Synthesis of porous activated carbon from petroleum sludge using mesoporous silica template*. 020040. <https://doi.org/10.1063/1.4946943>
- Hamidi, Y., Ataei, S. A., & Sarrafi, A. (2021). Effect of dissolution of extracted Hydrocarbons of oily sludge on petroleum products. *Chemical Engineering & Technology*, 44(8), 1364–1370. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000614>
- Hasan, A. M. A., Kamal, R. S., Farag, R. K., & Abdel-raouf, M. E. (2024). Petroleum sludge formation and its treatment methodologies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(6), 8369–8386. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31674-3>
- Hicks, T. D., Kuns, C. M., Raman, C., Bates, Z. T., & Nagarajan, S. (2022). Simplified method for the determination of total kjeldahl nitrogen in

- wastewater. *Environments*, 9(5), 55.  
<https://doi.org/10.3390/environments9050055>
- 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, G., Li, J., & Zeng, G. (2013). Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 470–490. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.069>
- 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. Sh., Zendehboudi, 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>
- Jackman, T. A., & Hughes, C. L. (2010). Formation of Trihalomethanes in soil and groundwater by the release of sodium hypochlorite. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 30(1), 74–78. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.2009.01266.x>
- 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. (2021a). 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>
- Johnson, M., Lee, D., & Kim, H. (2019). Sodium and chloride in oil-based drilling muds: composition and effects. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 15(3), 234–245.
- Johnson, O. A., & Affam, A. C. (2018). Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research*, 24(2), 191–201. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134>

- Joseph I. Goldstein, Dale E. Newbury, Patrick Echlin, David C. Joy, Charles E. Lyman, Eric Lifshin, Linda Sawyer, & Joseph R. Michael. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis* (3rd ed.). Springer.
- Kadiev, Kh. M., Gyulmaliev, A. M., Batov, A. E., Kadieva, M. Kh., Oknina, N. V., & Dandaev, A. U. (2015). Structural characteristics of petroleum sludge. *Coke and Chemistry*, 58(11), 448–450. <https://doi.org/10.3103/S1068364X15110046>
- Kailasa, S. K., & Wu, H.-F. (2012). Inorganic Contaminants. In *Comprehensive Sampling and Sample Preparation* (pp. 743–782). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00112-5>
- Kang, C., Guo, J., Kiyangi, W., Fei, D., & Xiong, R. (2024). 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>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.21/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2018 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. <https://jdih.maritim.go.id/id/peraturan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan-no-p21menlhksetjenkum172018-tahun-2018>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, dan Kategori O*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. <https://ppkl.menlhk.go.id/website/index.php?q=635&s=83a002e8ffbe10a8e5bfd289b565b247092a9b70>
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2019). *Surat Edaran Nomor 35 Tahun 2019: Kewajiban Penggunaan Bahan Bakar Low Sulfur dan Larangan Mengangkut atau Membawa Bahan Bakar yang Tidak Memenuhi Persyaratan serta Pengelolaan Limbah Hasil Resirkulasi Gas Buang dari Kapal*. Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. <https://jdih.kemenuh.go.id/peraturan/detail?data=KKN3IrQF1Md2WJ2x42BbEC4Tz0R8sXG7k49bdUCLgFd84PW5CUwB8Pm8W5FoCysSDz8RmB>

KH77LMa4fVEdcIZRW14aBPqviWCjk4DtEo1aJG811V45YcrC4knH7jwsF  
AfCO8Ghoa5UYnkXJrWhMhvMb8C

- Koolivand, A., Abtahi, H., Parhamfar, M., Didehdar, M., Saeedi, R., & Fahimirad, S. (2019). Biodegradation of high concentrations of petroleum compounds by using Indigenous Bacteria isolated from petroleum hydrocarbons-rich sludge: effective scale-up from liquid medium to composting process. *Journal of Environmental Management*, *248*, 109228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.129>
- Kumari, N., Verma, P. K., Pathak, P. N., Gupta, A., Ballal, A., Aswal, V. K., & Mohapatra, P. K. (2015). Extractant mediated nano-aggregate formation in Triton X-114 aided cloud formation: structural insights from TEM and SANS studies. *RSC Advances*, *5*(116), 95613–95617. <https://doi.org/10.1039/C5RA18546G>
- Lee, J., & Park, S. (2021). Sulfur compounds in petroleum drilling muds: origins and impact. *Petroleum Chemistry Journal*, *33*(1), 45–60.
- Li, S., Zhang, X., & Cheng, T. (2018). Impact of solvent selection on the efficiency of sludge treatment. *Chemical Engineering Journal*, *341*, 510–520.
- Liu, X., Yao, T., Lai, R., Xiu, J., Huang, L., Sun, S., Luo, Y., Song, Z., & Zhang, Z. (2019). Recovery of crude oil from oily sludge in an oilfield by sophorolipid. *Petroleum Science and Technology*, *37*(13), 1582–1588. <https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1594286>
- Long, X., Zhang, G., Shen, C., Sun, G., Wang, R., Yin, L., & Meng, Q. (2013). Application of rhamnolipid as a novel biodemulsifier for destabilizing waste crude oil. *Bioresource Technology*, *131*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.128>
- Martinez, L., Gomez, F., & Perez, A. (2022). Calcium minerals in drilling fluids: identification and behavior. *Applied Clay Science*, *210*.
- Mohammadi, M., Bahrami, M., & Torkaman, M. (2023). The effect of temperature on the size and the deposition of asphaltene particles. *SPE Journal*, *28*(06), 3117–3127. <https://doi.org/10.2118/217429-PA>
- Nasr, T. N., & Ayoub, M. (2015). Geochemical analysis of saline formation water in oil reservoirs. *Applied Geochemistry*, *57*, 234–245.
- 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 alearica* strain Z8. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *18*(2), 531–539. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00480-1>

- 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>
- Papadopoulos, C., Kourtelesis, M., Moschovi, A. M., Sakkas, K. M., & Yakoumis, I. (2022). Selected techniques for cutting SOx emissions in maritime industry. *Technologies*, 10(5), 99. <https://doi.org/10.3390/technologies10050099>
- Pemerintah Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. In *Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 No. 36*. Kementerian Sekretariat Negara.
- Peng, J., Song, X., Li, X., Jiang, Y., Liu, G., Wei, Y., & Xia, Q. (2023). Molecular dynamics study on the aggregation behavior of Triton X micelles with different PEO chain lengths in aqueous solution. *Molecules*, 28(8), 3557. <https://doi.org/10.3390/molecules28083557>
- 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>
- Rony, Md. R. I., Khan, J. M., Islam, Md. R., Alam, K. M. K., Kumar, D., Ahmad, A., Rana, S., & Hoque, Md. A. (2024). Exploration of phase separation and several physicochemical parameters of the mixture of triton X-100 and ceftriaxone sodium salt: influences of the composition of sodium salts. *Chemical Papers*, 78(1), 307–319. <https://doi.org/10.1007/s11696-023-03085-8>
- Serban Moldoveanu, & Victor David. (2015). *Modern Sample Preparation for Chromatography*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-00093-5>
- Shaw, S., & Van Heyst, B. (2022). An evaluation of risk ratios on physical and mental health correlations due to increases in ambient nitrogen oxide (NOx) concentrations. *Atmosphere*, 13(6), 967. <https://doi.org/10.3390/atmos13060967>
- Smith, A., Brown, B., & Davis, C. (2020). Organic matter composition in oil field muds. *Journal of Organic Geochemistry*, 50.
- 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>

- Wang, C., Zhao, Y., & Liu, Y. (2020). Solvent extraction for recycling petroleum sludge: Current status and perspectives. *Environmental Technology & Innovation, 19*.
- Wang, Q., Chen, T., & Faez, A. D. (2019, March). New Understanding on Calcium Carbonate Scaling Kinetics. *Corrison*.
- Watkins, P. (2023). Comparing the use of chloroform to petroleum ether for Soxhlet extraction of fat in meat. *Animal Production Science, 63*(14), 1445–1449. <https://doi.org/10.1071/AN23014>
- William C. Lipps, Ellen Burton Braun-Howland, & Terry E. Baxter. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.). American Public Health Association .
- Yao, M., Ma, Y., Liu, L., Qin, C., Huang, H., Zhang, Z., Liang, C., & Yao, S. (2022). Efficient separation and recovery of petroleum hydrocarbon from oily sludge by a combination of adsorption and demulsification. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(14), 7504. <https://doi.org/10.3390/ijms23147504>
- 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, Y., & Liu, X. (2018). Oxygen-containing compounds in drilling mud systems. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 62*, 45–53.
- Zhang, Y., Zhen, B., Hu, Y., Liang, G., & Feng, Y. (2020). A reverse micellar system with Triton X-100: effect of surfactant polydispersity and preparation of monodisperse silica nanoparticles. *Soft Matter, 16*(2), 383–389. <https://doi.org/10.1039/C9SM02182E>
- Zhao, Y., Sun, Y., Sun, H., Zuo, F., Kuang, S., Zhang, S., & Wang, F. (2024). Surfactant-based chemical washing to remediate oil-contaminated soil: the state of knowledge. *Toxics, 12*(9), 648. <https://doi.org/10.3390/toxics12090648>
- Zouzelka, R., & Rathousky, J. (2017). Photocatalytic abatement of NO<sub>x</sub> pollutants in the air using commercial functional coating with porous morphology. *Applied Catalysis B: Environmental, 217*, 466–476. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.06.009>