

## Potensi Teknologi Fitoremediasi Sebagai *Polishing Treatment Palm Oil Mill Effluent* : A Review

Lukman Hakim<sup>1</sup>, Aster Rahayu<sup>1\*</sup>, Siti Jamilatun<sup>1</sup>

Program Studi Magister Teknik Kimia, FTI, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Ringroad Selatan, Tamanan, Bantul, Yogyakarta, 55166.

\*Corresponding Author : [aster.rahayu@che.uad.ac.id](mailto:aster.rahayu@che.uad.ac.id)

### Abstrak

Pesatnya ekspansi industri kelapa sawit menimbulkan potensi ancaman terhadap lingkungan. Industri ini menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang dikenal sebagai *palm oil milleffluent*. Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk *polishing treatment palm oil mill effluent*. Teknologi yang menggunakan tanaman ini dinilai lebih ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Meskipun memiliki keuntungan, teknologi ini juga memiliki resiko seperti kontaminasi dari bagian tanaman yang dikonsumsi, dan juga efisiensi pengolahan yang rendah. Oleh karena itu, pemilihan tanaman yang tepat dan pemahaman mengenai mekanisme fitoremediasi adalah cara terbaik untuk dapat meningkatkan efisiensinya. Mekanisme seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi, fitovolatilisasi, fitodegradasi dan fitodesalinasi adalah proses degradasi polutan. Proses ini dapat berlangsung baik dengan mempertimbangkan konsentrasi dan jenis kontaminan. Faktor-faktor seperti sifat tanaman, konsentrasi polutan, dan kondisi lingkungan mempengaruhi efektivitas fitoremediasi. Meskipun masih memiliki kekurangan, namun fitoremediasi merupakan pendekatan yang cukup menjanjikan untuk mengatasi permasalahan pencemaran yang disebabkan oleh industri minyak kelapa sawit dengan cara yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

**Kata kunci:** Fitoremediasi, Lingkungan, *Polishing Treatment*, POME

### Abstract

The rapid expansion of the palm coconut industry poses a potential threat to the environment. This industry produces large amounts of liquid waste known as POME. Phytoremediation is one of the alternative technologies that can be used for POME polishing treatment. Despite having advantages, this technology also has risks such as contamination of part of the plant consumed, and also low processing efficiency. Therefore, the right plant selection and understanding of the mechanisms of phytoremediation is the best way to be able to improve its efficiency. Mechanisms such as phytoextraction, phytostabilization, rhizofiltration, phytovolatilization, phytodegradation and phytodesalination are pollutant degradation processes. Factors such as plant nature, pollutant concentration, and environmental conditions influence the effectiveness of phytoremediation. Although it still has shortcomings, phytoremediation is a promising approach to addressing the pollution caused by the palm oil industry in a more economical and environmentally friendly way.

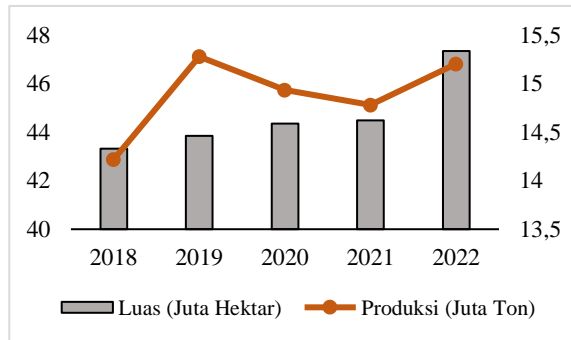
**Keywords :** Environment, Phytoremediation, Polishing Treatment, POME

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah produsen dan eksportir minyak sawit dan turunannya terbesar di dunia (Harahap et al. 2019). Berdasarkan data yang

diperoleh dari badan pusat statistik, pada tahun 2019 sampai dengan 2022, luas areal perkebunan

kelapa sawit berdasarkan *land used* terus mengalami peningkatan yang hampir stagnan. Pada tahun 2022 diperkirakan luas areal perkebunan kelapa sawit sebesar 15,34 juta hektar (Badan Pusat Statistik 2022). Adapun detail perkembangan lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Data Statistik Kelapa Sawit Indonesia (Badan Pusat Statistik 2022)

Pesatnya perkembangan industri kelapa sawit dan pengelolaan limbah yang dihasilkan di Indonesia telah menimbulkan berbagai kontroversi, terutama terkait dengan permasalahan lingkungan seperti penggundulan hutan (Gaveau et al. 2016), hilangnya keanekaragaman hayati (Sayer et al. 2012), perubahan iklim dan pencemaran lingkungan perairan (Zulfahmi et al. 2018). Limbah padat dan cair adalah dua jenis limbah yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit. Limbah cair dikenal dengan POME (*Palm oil mill effluent*) kerap menjadi permasalahan lingkungan. Dalam proses pengolahannya, satu ton tandan buah segar kelapa sawit dapat menghasilkan sekitar 0,7 – 0,8 m<sup>3</sup> POME (Widiatmini Sih Winanti 2019).

Terdapat berbagai macam pemanfaatan POME selain diolah di instalasi pengolahan limbah, diantaranya yaitu dengan dijadikan bahan campuran dalam pembuatan pupuk cair dikarenakan masih memiliki kandungan hara yang cukup tinggi, kemudian juga dapat dijadikan *raw material* untuk produksi biogas (Fitria, Gunawan, and Mardiah 2021), namun saat ini industri kelapa sawit mayoritas melakukan pengolahan POME ke dalam instalasi pengolahan air limbah untuk dibuang ke badan air.

POME merupakan cairan kental berwarna coklat dengan temperatur berkisar antara 80°C – 90°C dengan pH rendah antara 4,1 – 5,2. Cairan ini merupakan polutan utama bagi lingkungan

karena kandungan BOD yang tinggi (10.250 – 43.000 mg/L), COD (15.000 – 100.000 mg/L), minyak dan lemak (130 – 18.000 mg/L). POME juga mengandung TSS dalam jumlah tinggi (5.000 – 54.000 mg/L), total nitrogen berkisar antara 180 hingga 1.400 mg/L dan sejumlah kecil fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg) dan kalsium (Ca) (Mahmod et al. 2022). Pencemaran yang disebabkan oleh POME akan menyebabkan penurunan keanekaragaman plankton secara signifikan serta gangguan fisiologis dan reproduksi pada ikan (Muliari et al. 2020). Dengan tingginya tingkat pencemaran yang disebabkan limbah tersebut, perlu dilakukan pengolahan agar menghasilkan keluaran berupa air yang dapat digunakan kembali untuk proses produksi atau dilepas ke badan air sesuai dengan standar baku mutu limbah cair bagi usaha atau kegiatan industri yang diatur pada Permen LHK No 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Baku mutu air limbah industri minyak sawit dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Industri Minyak Sawit (Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia 2014)

Parameter	Satuan	Nilai Standar
BOD <sub>5</sub>	mg/L	100
COD	mg/L	350
TSS	mg/L	250
Minyak & Lemak	mg/L	25
Nitrogen	mg/L	50
pH	mg/L	6 - 9

Untuk memperoleh kualitas air limbah yang sesuai baku mutu, beberapa industri kelapa sawit perlu melakukan *polishing treatment*, saat ini *polishing treatment* yang umum digunakan di industri adalah *membrane filtration process*, *advanced oxidation process* dan *chemical treatment*. Pada dasarnya, hampir semua jenis teknologi pengolahan air limbah yang ada telah dicoba untuk diterapkan dalam studi *polishing treatment* POME dan berjalan dengan baik. Namun, permasalahan utamanya masih pada penerapan dan kepraktisan teknologi tersebut setelah mempertimbangkan beberapa faktor seperti efektivitas biaya, konsistensi operasional, dan keberlanjutan sistem jika diimplementasikan dalam skala penuh di pabrik kelapa sawit pada masa mendatang (Liew et al. 2015).

Akibatnya, diperlukan metode yang cukup murah dan efektif untuk pengolahan POME. Fitoremediasi hadir sebagai salah satu metode yang dapat di implementasikan untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan. Saat ini fitoremediasi juga salah satu metode yang ramah lingkungan yang digunakan para ilmuwan untuk pengolahan air limbah. Fitoremediasi secara langsung menggunakan tanaman hijau untuk membersihkan air, tanah, atau sedimen yang terkontaminasi (Osman et al. 2020).

Review jurnal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi teknologi fitoremediasi untuk di implementasikan pada industri pengolahan kelapa sawit agar mendapatkan *final discharge palm oil mill effluent* yang sesuai dengan baku mutu yang berlaku.

### TEKNOLOGI KONVENSIONAL DALAM POLISHING TREATMENT POME

Beberapa teknologi konvensional yang digunakan saat ini sebagai *polishing treatment* POME telah ditinjau dapat mengurangi pencemaran yang disebabkan dari kualitas air limbah yang melebihi baku mutu.

Permasalahan utamanya masih pada penerapan dan kepraktisan teknologi setelah mempertimbangkan beberapa faktor seperti efektivitas biaya, konsistensi operasional, dan keberlanjutan sistem jika dioperasikan di pabrik kelapa sawit di masa depan. Adapun beberapa teknologi yang telah diimplementasikan oleh beberapa industri kelapa sawit dalam menangani permasalahan limbah cair yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Teknologi Konvensional dalam *Polishing Treatment* POME

Teknologi	Deskripsi	Waktu (Jam)	Efisiensi				Referensi
			pH	COD (%)	BOD (%)	Warna (%)	
<i>Advanced Oxidation Process (Photocatalysis)</i>	TiO <sub>2</sub> : 10 wt%	4		43		70	(Tan et al. 2014)
<i>Advanced Oxidation Process (Fenton)</i>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 4,57 g/L Fe <sup>2+</sup> : 1,88 g/L	0,5	2,9	92		85	(Saeed et al. 2016)
<i>Membrane UF</i>	P : 2 bar	1,5	8	90	90		(Azmi and Yunos 2014)
<i>Membranae UF + RO</i>	UF : 0 – 7 bar RO : 0 – 60 bar		6	98,8	99,4	97	(Latif Ahmad, Ismail, and Bhatia 2003)
<i>Adsorption (batch process)</i>	<i>Natural clay</i> : 5 g/L	1,5	7	95		95	(Said et al. 2016)
<i>Adsorption (batch process)</i>	<i>Activated carbon</i> : 0,02 g/L	2		98,99		79,30	(Mohammed, Ketabachi, and McKay 2014)
<i>Coagulation</i>	PAC : 0,6 g/L <i>Activated Carbon</i> : 10 g/L	0,5	8,5	98		99	(Othman et al. 2014)
<i>Membrane Bioreactor</i>	<i>Phase 1 : anoxic</i> <i>Phase 2 : aerobic</i> <i>Phase 3 : Ultrafiltration</i>			98	99	99	(Sulong Muhammad 2007)
<i>Biological Physicochemical Treatment</i>	<i>Phase 1: Aerobic</i> <i>Phase 2: Coagulation and flocculation</i> <i>Phase 3 : Filtration</i>				96	20	(Chong, 2010)

### PROSES FITOREMEDIASI

Dalam proses fitoremediasi yang menggunakan tanaman hijau, secara

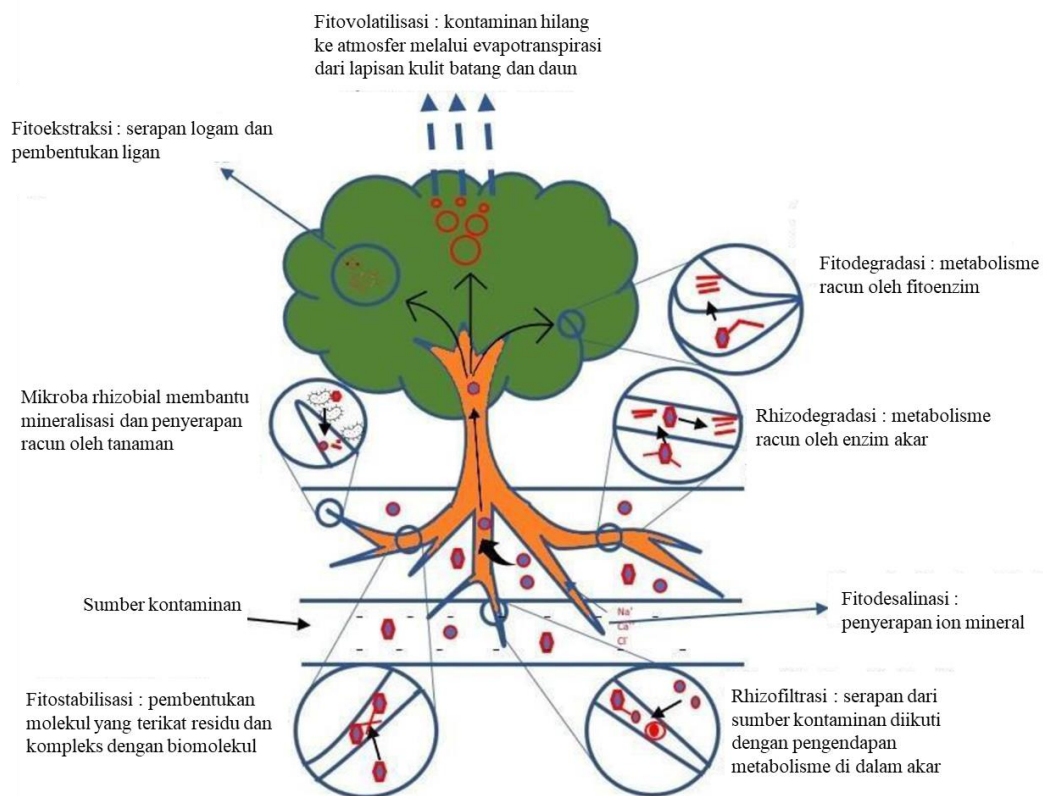
lingkungan lebih menguntungkan dan juga ekonomis untuk menghilangkan polutan yang terkandung didalam tanah atau air yang terkontaminasi melalui prinsip retensi, absorpsi dan juga detoksifikasi (Adegbola and Simeon 2020).

Dalam implementasi teknologi fitoremediasi tentu memiliki kelebihan dan kekurangan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi (Ahmad et al. 2017)

Kelebihan	Kekurangan
Membutuhkan biaya operasi yang kecil	Lebih lambat dari teknologi konvensional
Ramah lingkungan	Potensi kontaminan masuk ke dalam rantai makanan
Membutuhkan energi yang lebih kecil	Tidak dapat mengetahui jenis kontaminan yang terdegradasi
Menghasilkan lebih sedikit limbah sekunder	Terbatas pada kontaminasi yang rendah
Lebih sedikit menghasilkan karbon	
Dapat diaplikasi untuk berbagai jenis limbah	

Mekanisme fitoremediasi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Proses Fitoremediasi Oleh Tanaman (Kafle et al. 2022)

- **Fitoekekstraksi**

Selama fitoekekstraksi, senyawa beracun berupa logam berat dan senyawa organik diserap melalui akar tanaman. Senyawa yang diserap kemudian dipindahkan ke pucuk dan disimpan dalam vakuola, dinding sel, membran sel, dan bagian jaringan tanaman yang tidak aktif secara

metabolik lainnya. Tanaman mengakumulasi senyawa beracun konsentrasi tinggi di jaringan akar dan pucuknya. Mekanisme umum selama akumulasi senyawa beracun meliputi penyerapan kation dan pembentukan senyawa kompleks selanjutnya yang berikatan dengan fitokelatin atau pembentukan senyawa

kompleks dengan ligan didalam sel tumbuhan (Asgari Lajayer et al. 2019).

- Fitostabilisasi

Remediasi dapat dilakukan dengan menonaktifkan atau melumpuhkan racun atau kontaminan pada akar atau rizosfer. Tindakan untuk menstabilkan akar tanaman membatasi mobilitas dan bioavailabilitas kontaminan, serta mengurangi efek toksiknya. Beberapa tanaman membentuk residu dengan polutan beracun terikat yang tidak lagi dalam bentuk beracun atau tidak dapat lagi dilarutkan dari matriks padat setelah terakumulasi. Misalnya, tanaman *ryegrass* dapat menyerap herbisida *trifluralin* dan mengubahnya menjadi residu terikat (Li et al. 2002). Polutan-polutan ini dapat diimobilisasi di rizosfer menggunakan eksudat fitokimia, ditangkap di permukaan akar menggunakan protein transpor, atau disimpan di vakuola sel akar melalui proses seluler (ITRC, 2009).

- Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi menggunakan akar tanaman pada zona jenuh untuk menghilangkan zat-zat beracun dari air limbah, air tanah, atau air permukaan melalui adsorpsi, dan pengendapan pada akar atau organ akuatik lainnya dari tanaman akuatik (Fulekar 2009). Dalam mekanisme ini, akar tanaman menyerap polutan dan memurnikan sumber air bawah tanah atau permukaan. Umumnya tumbuhan air yang terlibat dalam fitoremediasi pasti melalui proses rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi mirip dengan fitoekstraksi, namun tanaman tersebut lebih digunakan untuk mengolah air tanah yang terkontaminasi dibandingkan tanah yang terkontaminasi.

- Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi melibatkan banyak langkah. Pertama, tanaman menyerap polutan dari tanah, mengubah bahan kimia yang kurang mudah menguap menjadi bentuk yang lebih mudah menguap, dan membuang polutan tersebut ke atmosfer melalui proses penguapan. Teknik ini efektif bila polutan yang mudah menguap memiliki efek toksik yang rendah ketika dilepaskan dari tanah ke atmosfer. Contohnya kontaminan merkuri yang dapat diubah menjadi zat yang kurang beracun (Hg) dan kemudian dilepaskan ke atmosfer. Metode

penguapan biasanya bekerja dengan baik untuk polutan organik (Limmer and Burken 2016). Beberapa senyawa dapat menguap langsung dari batang dan daun, sementara senyawa lainnya dapat menguap melalui interaksi akar-tanah. Senyawa organik hidrofobik keluar dari batang dan daun melalui penghalang hidrofobik seperti luka tanaman, epidermis, suberin, dan lapisan kulit lainnya. Selain itu, beberapa senyawa dapat berpindah ke atas melalui sistem tumbuhan melalui arus transpirasi dan memasuki atmosfer selama proses transpirasi. Senyawa trifluralin telah dilaporkan mengikat residu dan dikeluarkan dari daun oleh *ryegrass*. (Li et al., 2002).

- Fitodegradasi

Tanaman dapat memetabolisme dan menghancurkan polutan dalam jaringan melalui proses yang disebut fitolisis. Polutan organik seperti pestisida dapat diatasi dengan cara dipecah atau diubah di berbagai bagian tanaman. Bagian tumbuhan dapat berperan penting secara langsung maupun tidak langsung dalam penguraian tumbuhan. Dalam proses langsung, tanaman menyerap polutan, memetabolismenya, atau memecahnya menjadi senyawa yang lebih kecil dan tidak terlalu berbahaya yang didistribusikan ke seluruh jaringan tanaman. Tumbuhan tidak mengandung transporter aktif, sehingga polutan organik diserap dengan cara serapan pasif. Ketika penguraian polutan terjadi di rhizosfer, proses ini disebut rhizolisis (Garrison et al., 2000).

- Fitodesalinasi

Beberapa tanaman yang toleran terhadap garam dapat mengekstraksi garam dalam jumlah besar dari tanah melalui proses yang disebut fitodesalinasi, memulihkan salinitas tanah dan meningkatkan produktivitas. Tanah salin mengurangi reduksibilitas, menyebabkan dehidrasi, dan mengubah fisiologi tanaman (Arif et al. 2020). Paparan garam berlebih juga berbahaya bagi organisme tanah dan tanaman yang rentan terhadap cekaman garam.

Selama proses fitoremediasi berlangsung terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi proses degradasi senyawa kontaminan yang terdapat di dalam air limbah, diantaranya adalah sebagai berikut.

- Pemilihan Jenis Tanaman

Tumbuhan yang biasanya digunakan dalam proses fitoremediasi adalah tumbuhan yang mampu menyerap air dalam jumlah yang banyak dan dalam waktu yang singkat, kemudian juga mampu meremediasi lebih dari satu jenis polutan. Selain dari jenis tanaman, jumlah tanaman juga salah satu hal yang mempengaruhi keberhasilan. Hal ini

disebabkan karena jumlah tanaman yang banyak dalam suatu badan air dapat menyerap polutan lebih baik dibandingkan dengan jumlah tanaman yang sedikit.

Beberapa jenis spesies tanaman yang telah dilakukan uji coba dan cukup efektif digunakan dalam proses fitoremediasi POME dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Jenis Tanaman yang Digunakan dalam Fitoremediasi POME

Spesies	Sampel	HRT	Efisiensi	Referensi
<i>Cyperus alternifolius</i>	Aerobic POME	21 Hari	COD : 96% TSS : 91% NH <sub>3</sub> -N : 92% TP : 99%	(Sa'At et al. 2022)
<i>Ipomea aquatica</i>	Diluted POME	15 Hari	COD : 86,3% TP : 90,9%	(Zulfahmi et al. 2021)
<i>Eichhornia crassipes</i>	Facultative pond POME	21 Hari	BOD : 92.78% COD : 25.24%	(Jamali et al. 2019)
<i>Chlamydomonas incerta</i>	Diluted POME	28 Hari	COD : 67%	(Kamyab et al. 2015)
<i>Chlorella sp</i>	Diluted POME	35 Hari	COD : 65% TN : 99% TP : 64%	(Cheirsilp et al. 2017)
<i>Chlamydomonas sp UKM 6</i>	Diluted POME	9 Hari	COD : 29,1% TN : 73% TP : 63,5%	(Ding et al. 2016)
<i>Pistia stratiotes</i>	Anaerobic POME	5 Hari	COD : 59.66% TN : 30.78% TP : 18.46%	(H. Hadiyanto 2014)
<i>Spirulina Platensis</i>	Anaerobic POME	8 Hari	COD : 50% TN : 79% TP : 96,5%	
<i>Salvinia molesta</i>	Treated POME	16 Hari	COD : 39% TP : 95%	(Ng and Chan 2017)
<i>Napier grass</i>	Outlet POME	15 Hari	COD : 71.57% TSS : 83.59% NH <sub>3</sub> -N : 85.97%	(Ujang et al. 2018)
<i>Vetiver grass</i>	Anaerobic POME	21 Hari	BOD : 96% COD : 94%	(Darajeh et al. 2014)

Dapat ditinjau dari berbagai macam jenis tanaman air yang digunakan sangat efektif dalam pengolahan POME untuk mereduksi senyawa organik dan anorganik yang terkandung didalamnya. Kontaminan tersebut

dapat direduksi melalui fitoremediasi. Pemilihan tanaman berdampak signifikan terhadap fitoremediasi (Anung Prasetyo 2021).

- Kandungan Polutan

Kandungan polutan yang terkandung sangat mempengaruhi kinerja dari akar. Zona akar sangat penting untuk fitoremediasi dikarenakan menyerap dan melakukan metabolisme polutan dalam jaringan tanaman kemudian melepaskan enzim yang mendegradasi racun (Băbău et al. 2021).

- Kondisi Lingkungan

Faktor-faktor seperti suhu, pH, konduktivitas listrik, bahan organik, dan jumlah tanaman memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi fitoremediasi. Berdasarkan (Dodgen et al. 2015), salah satu pengaruh yaitu suhu lingkungan dapat mempengaruhi transpirasi tanaman selama proses fitoremediasi. Air diserap tanaman melalui akarnya dan dikeluarkan melalui stomata daun selama transpirasi. Dalam fitoremediasi, transpirasi adalah cara terpenting untuk memurnikan polutan. Variabel yang berkaitan dengan transportasi polutan dan biokonsentrasi dapat dipengaruhi oleh tingkat transpirasi tanaman. Perbandingan konsentrasi polutan dalam jaringan tumbuhan dengan lingkungan disebut koefisien biosentrasi, dan koefisien translokasi adalah perbandingan konsentrasi polutan pada akar tanaman dengan konsentrasi polutan pada daun tanaman (Bhargava et al., 2012).

## SIMPULAN DAN SARAN

Pesatnya perkembangan industri kelapa sawit akan berdampak terhadap limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair kelapa sawit merupakan permasalahan serius yang dapat mengancam pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut agar limbah cair yang akan dibuang ke lingkungan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Fitoremediasi hadir sebagai salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair kelapa sawit. Teknologi ini ramah lingkungan, rendah biaya, dapat menggunakan sumber daya alam terbarukan, namun juga mempunyai risiko dan hambatan, seperti kontaminasi bagian tanaman yang dikonsumsi, efisiensi yang terbatas, dan dampak terhadap kualitas tanah.

Berdasarkan hasil review dapat disimpulkan :

1. Pemilihan jenis tanaman yang tepat dan pemahaman menyeluruh mengenai mekanisme fitoremediasi sangat penting untuk meminimalkan risiko dan meningkatkan efektivitasnya. *Cyperus alternifolius* dan *vetiver grass* efektif untuk mendegradasi polutan yang terdapat dalam limbah cair kelapa sawit melalui beberapa mekanisme seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, rhizofiltrasi, fitovolatilisasi, fitodegradasi dan fitodesalinasi.
2. Faktor-faktor seperti sifat tanaman, konsentrasi polutan, dan kondisi lingkungan mempengaruhi efektivitas fitoremediasi. Meskipun terdapat hambatan-hambatan ini, penggunaan teknologi fitoremediasi tetap merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk menanggulangi polusi baik secara ekonomi maupun lingkungan.

Untuk meningkatkan efektivitas teknologi fitoremediasi dalam pengolahan *palm oil mill effluent* disarankan agar dapat melakukan kajian mengenai kombinasi teknologi adsorpsi dan penggunaan adsorben yang tepat untuk meningkatkan efektivitas teknologi fitoremediasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adegbola, Grace Mosunmola, and Olatunde Simeon. 2020. "Palm Oil Mill Effluents (POME) and Its Pollution Potentials: A Biodegradable Prevalence." doi: 10.35248/2375-4397.20.8.258.
- Ahmad, Jamilah, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Hassimi Abu Hassan, Reehan Adne Abdul Rahman, and Mushrifah Idris. 2017. "Saringan Tumbuhan Akuatik Tropika Tempatan Untuk Rawatan Penyudahan Sisa Pulpa Dan Kertas." *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 21(1):105–12. doi: 10.17576/mjas-2017-2101-12.
- Anung Prasetyo, Ridwan. 2021. "Review Jurnal 'Teknologi Fitoremediasi Untuk Pemulihan Lahan Tercemar Minyak.'"
- Arif, Yamshi, Priyanka Singh, Husna Siddiqui, Andrzej Bajguz, and Shamsul Hayat. 2020. "Salinity Induced Physiological and Biochemical Changes in Plants: An Omic Approach towards Salt Stress Tolerance."

- Plant Physiology and Biochemistry* 156:64–77.
- Asgari Lajayer, Behnam, Nader Khadem Moghadam, Mohammad Reza Maghsoodi, Mansour Ghorbanpour, and Khalil Kariman. 2019. “Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soil, Water and Atmosphere Using Ornamental Plants: Mechanisms and Efficiency Improvement Strategies.” *Environmental Science and Pollution Research* 26(9):8468–84.
- Azmi, Nazatul Shima, and Khairul Faezah Md. Yunos. 2014. “Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration Membrane Separation Technique Coupled with Adsorption Treatment as Pre-Treatment.” *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2:257–64. doi: 10.1016/j.aaspro.2014.11.037.
- Băbău, Adriana Mihaela Chirilă, Valer Micle, Gianina Elena Damian, and Ioana Monica Sur. 2021. “Sustainable Ecological Restoration of Sterile Dumps Using Robinia Pseudoacacia.” *Sustainability (Switzerland)* 13(24). doi: 10.3390/su132414021.
- Badan Pusat Statistik. 2022. “2. BPS.” *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022*.
- Bhargava, Atul, Francisco F. Carmona, Meenakshi Bhargava, and Shilpi Srivastava. 2012. “Approaches for Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals.” *Journal of Environmental Management* 105:103–20.
- Cheirsilp, Benjamas, Jittima Tippayut, Peeraya Romprom, and Poonsuk Prasertsan. 2017. “Phytoremediation of Secondary Effluent from Palm Oil Mill by Using Oleaginous Microalgae for Integrated Lipid Production and Pollutant Removal.” *Waste and Biomass Valorization* 8(8):2889–97. doi: 10.1007/s12649-016-9751-6.
- Darajeh, Negisa, Azni Idris, Paul Truong, Astimar Abdul Aziz, Rosenani Abu Bakar, and Hasfalina Che Man. 2014. “Phytoremediation Potential of Vetiver System Technology for Improving the Quality of Palm Oil Mill Effluent.” *Advances in Materials Science and Engineering* 2014. doi: 10.1155/2014/683579.
- Ding, Gong Tao, Zahira Yaakob, Mohd Sobri Takriff, Jailani Salihon, and Muhammad Syukri Abd Rahaman. 2016. “Biomass Production and Nutrients Removal by a Newly-Isolated Microalgal Strain Chlamydomonas Sp in Palm Oil Mill Effluent (POME).” *International Journal of Hydrogen Energy* 41(8):4888–95. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.12.010.
- Dodgen, Laurel K., Aiko Ueda, Xiaoqin Wu, David R. Parker, and Jay Gan. 2015. “Effect of Transpiration on Plant Accumulation and Translocation of PPCP/EDCs.” *Environmental Pollution* 198:144–53. doi: 10.1016/j.envpol.2015.01.002.
- Fitria, An Nisa, Vandhie Satyawira Gunawan, and Mardiah Mardiah. 2021. “Study of the Utilization of Palm Oil Industry Liquid Waste.” *Konversi* 10(1). doi: 10.20527/k.v10i1.10146.
- Fulekar, Madhusudan. 2009. *Phytoremediation of Heavy Metals: Recent Techniques Article in African*.
- Garrison, Arthur W., Valentine A. Nzungu, Jimmy K. Avants, J. Jackson Ellington, William J. Jones, Darrell Rennels, and N. Lee Wolfe. 2000. “Phytodegradation of p,p’-DDT and the Enantiomers of o,p’-DDT.” *Environmental Science and Technology* 34(9):1663–70. doi: 10.1021/es990265h.
- Gaveau, David L. A., Douglas Sheil, Husnayaen, Mohammad A. Salim, Sanjiwana Arjasakusuma, Marc Ancrenaz, Pablo Pacheco, and Erik Meijaard. 2016. “Rapid Conversions and Avoided Deforestation: Examining Four Decades of Industrial Plantation Expansion in Borneo.” *Scientific Reports* 6. doi: 10.1038/srep32017.
- H. Hadiyanto, D. Soetrisnanto, M. Christwardhana. 2014. “Phytoremediation of Palm Oil Mill Effluent Using Pistia Stratiotes Plant and Algae Spirulina Sp for Biomass Production.” *International Journal of Engineering* 27(12 (C)). doi: 10.5829/idosi.ije.2014.27.12c.02.
- Harahap, Fumi, Sylvain Leduc, Sennai Mesfun, Dilip Khatiwada, Florian Kraxner, and Semida Silveira. 2019. “Opportunities to Optimize the Palm Oil Supply Chain in



- Sumatra, Indonesia.” *Energies* 12(3). doi: 10.3390/en12030420.
- ITRC. 2009. *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised*.
- Jamali, Nur Syakina, Winnie Huong, Tien Ting, Ivy Ai, and Wei Tan. 2019. “Phytoremediation of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Eichhornia Crassipes.” *Journal of Applied Science & Process Engineering* 6(1).
- Kafle, Arjun, Anil Timilsina, Asmita Gautam, Kaushik Adhikari, Anukul Bhattarai, and Niroj Aryal. 2022. “Phytoremediation: Mechanisms, Plant Selection and Enhancement by Natural and Synthetic Agents.” *Environmental Advances* 8.
- Kamyab, Hesam, Mohd Fadhil Md Din, Ali Keyvanfar, Muhd Zaimi Abd Majid, Amirreza Talaiekhazani, Arezou Shafaghat, Chew Tin Lee, Lim Jeng Shiun, and Hasrul Haidar Ismail. 2015. “Efficiency of Microalgae Chlamydomonas on the Removal of Pollutants from Palm Oil Mill Effluent (POME).” Pp. 2400–2408 in *Energy Procedia*. Vol. 75. Elsevier Ltd.
- Kementrian Lingkungan Hidup Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia*.
- Latif Ahmad, Abdul, SuzyLawati Ismail, and Subhash Bhatia. 2003. *Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Membrane Technology*. Vol. 157.
- Li, Hui, Guangyao Sheng, Wentao Sheng, and Ouyong Xu. 2002. *Uptake of Trifluralin and Lindane from Water by Ryegrass*.
- Liew, Wai Loan, Mohd Azraai Kassim, Khalida Muda, Soh Kheang Loh, and Augustine Chioma Affam. 2015. “Conventional Methods and Emerging Wastewater Polishing Technologies for Palm Oil Mill Effluent Treatment: A Review.” *Journal of Environmental Management* 149:222–35.
- Limmer, Matt, and Joel Burken. 2016. “Phytovolatilization of Organic Contaminants.” *Environmental Science and Technology* 50(13):6632–43.
- Mahmod, Safa Senan, Shalini Narayanan Arisht, Jamaliah Md Jahim, Mohd Sobri Takriff, Jian Ping Tan, Abdullah Amru Indera Luthfi, and Peer Mohamed Abdul. 2022. “Enhancement of Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): A Review.” *International Journal of Hydrogen Energy* 47(96):40637–55. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.07.225.
- Mohammed, Rafie Rushdy, Mohammad Reza Ketabachi, and Gordon McKay. 2014. “Combined Magnetic Field and Adsorption Process for Treatment of Biologically Treated Palm Oil Mill Effluent (POME).” *Chemical Engineering Journal* 243:31–42. doi: 10.1016/j.cej.2013.12.084.
- Muliari, Muliari, Ilham Zulfahmi, Yusrizal Akmal, Ni Wayan Kurniani Karja, Chairun Nisa, Kizar Ahmed Sumon, and Mohammad Mahmudur Rahman. 2020. “Toxicity of Palm Oil Mill Effluent on the Early Life Stages of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*, Linnaeus 1758).” *Environmental Science and Pollution Research* 27(24):30592–99. doi: 10.1007/s11356-020-09410-y.
- Ng, Yin Sim, and Derek Juinn Chieh Chan. 2017. “Wastewater Phytoremediation by *Salvinia Molesta*.” *Journal of Water Process Engineering* 15:107–15. doi: 10.1016/j.jwpe.2016.08.006.
- Osman, Nurul Atiqah, Farhana Aziz Ujang, Ahmad Muhaimin Roslan, Mohamad Faizal Ibrahim, and Mohd Ali Hassan. 2020. “The Effect of Palm Oil Mill Effluent Final Discharge on the Characteristics of *Pennisetum Purpureum*.” *Scientific Reports* 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-62815-0.
- Othman, Mohd Ridzuan, Mohd Ali Hassan, Yoshihito Shirai, Azhari Samsu Baharuddin, Ahmad Amiruddin Mohd Ali, and Juferi Idris. 2014. “Treatment of Effluents from Palm Oil Mill Process to Achieve River Water Quality for Reuse as Recycled Water in a Zero Emission System.” *Journal of Cleaner Production* 67:58–61. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.004.
- Sa’At, Siti Kamariah Md, Mohd Suffian Yusoff, Nastaein Qamaruz Zaman, Hirun Azaman Ismail, and Hossein Farraji. 2022. “Polishing Treatment of Palm Oil Mill Effluent Phytoremediation by *Scirpus Grossus*.” in *AIP Conference*

- Proceedings*. Vol. 2541. American Institute of Physics Inc.
- Saeed, Mohamed Osman, Khairun Azizi Mohd Azizli, Mohamed Hasnain Isa, and Ezerie Henry Ezechi. 2016. "Treatment of POME Using Fenton Oxidation Process: Removal Efficiency, Optimization, and Acidity Condition." *Desalination and Water Treatment* 57(50):23750–59. doi: 10.1080/19443994.2016.1141715.
- Said, Muhammad, Hassimi Abu Hasan, Mohd Tusirin Mohd Nor, and Abdul Wahab Mohammad. 2016. "Removal of COD, TSS and Colour from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Montmorillonite." *Desalination and Water Treatment* 57(23):10490–97. doi: 10.1080/19443994.2015.1036778.
- Sayer, Jeffrey, Jaboury Ghazoul, Paul Nelson, and Agni Klintuni Boedhihartono. 2012. "Oil Palm Expansion Transforms Tropical Landscapes and Livelihoods." *Global Food Security* 1(2):114–19.
- Sulong Muhammad, Keong Lim Wee, Kandiah Sivasothy, Top Ab Gapoor MD. 2007. "MPOB Information Series." *Membrane Bioreactor Technology For Tertiary Treatment Of Palm Oil Mill Effluent (POME)*.
- Tan, Y. H., P. S. Goh, G. S. Lai, W. J. Lau, and A. F. Ismail. 2014. *Jurnal Teknologi Treatment of Aerobic Treated Palm Oil Mill Effluent (AT-POME) by Using TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Process*. Vol. 70.
- Ujang, F. A., N. A. Osman, J. Idris, M. I. E. Halimi, M. A. Hassan, and A. M. Roslan. 2018. "Start-up Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) Final Discharge Using Napier Grass in Wetland System." in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 368. Institute of Physics Publishing.
- Widiatmini Sih Winanti, Prasetyadi, Wiharja. 2019. *Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) Menjadi Biogas Dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed Tanpa Proses Netralisasi Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment into Biogas with Anaerobic System Type Fixed Bed without Neutralization Process*. Vol. 20.
- Zulfahmi, Ilham, Ravika Nila Kandi, Feizia Huslina, Lina Rahmawati, Muliari Muliari, Kizar Ahmed Sumon, and Mohammad Mahmudur Rahman. 2021. "Phytoremediation of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Water Spinach (*Ipomoea Aquatica* Forsk)." *Environmental Technology and Innovation* 21. doi: 10.1016/j.eti.2020.101260.
- Zulfahmi, Ilham, Muliari Muliari, Yusrizal Akmal, and Agung S. Batubara. 2018. "Reproductive Performance and Gonad Histopathology of Female Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus 1758) Exposed to Palm Oil Mill Effluent." *Egyptian Journal of Aquatic Research* 44(4):327–32. doi: 10.1016/j.ejar.2018.09.003.