**Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi**
**Volume 26, Issue 01, Februari 2026, 258-262**
Webite: https://ji.unbari.ac.id, E-Mail: jiubj.unbari@gmail.com
e-ISSN: 2549-4236 (Online), p-ISSN: 1411-8939 (Print), DOI: 10.33087/jiubj.v26i1.6466

# Analisis Kualitas Air Tanah dan Air Permukaan pada *Land Application* di PT. X

**Ria Hikmarina*, Guntar Marolop, Marhadi**
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari
*Correspondence: riahikmarina@gmail.com

**ABSTRAK**
Penerapan *land application* sebagai metode pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) bertujuan mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus meningkatkan kesuburan tanah. Namun, penerapan metode ini berpotensi memengaruhi kualitas air tanah dan air permukaan di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air tanah dan air permukaan pada area *land application* di PT. X, Kabupaten Muaro Jambi, serta menilai kesesuaiannya terhadap baku mutu lingkungan. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pengambilan sampel air limbah pada outlet IPAL, air permukaan Sungai Sekawan (titik hulu dan hilir), serta air tanah pada sumur pantau dan sumur kontrol. Parameter yang dianalisis meliputi pH, BOD, COD, TSS, dan amonia ($NH_3$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air limbah pada outlet IPAL telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Namun, pada air permukaan dan air tanah di sekitar area *land application* terdapat kecenderungan peningkatan nilai BOD, COD, TSS, dan amonia, meskipun sebagian besar masih berada di bawah ambang batas baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021. Hasil ini menunjukkan bahwa kegiatan *land application* berpotensi memengaruhi kualitas sumber daya air sehingga diperlukan pengelolaan dan pemantauan lingkungan secara berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *land application*, limbah cair kelapa sawit, kualitas air tanah, kualitas air permukaan.

***ABSTRACT***
*The application of land application as a palm oil mill effluent (POME) management method aims to reduce environmental pollution while improving soil fertility. However, this practice has the potential to affect groundwater and surface water quality in the surrounding area. This study aims to analyze groundwater and surface water quality in the land application area of PT. X, Muaro Jambi Regency, and to evaluate its compliance with environmental quality standards. A descriptive quantitative method was employed by collecting wastewater samples at the WWTP outlet, surface water samples from the Sekawan River (upstream and downstream), and groundwater samples from monitoring and control wells. The analyzed parameters included pH, BOD, COD, TSS, and ammonia ($NH_3$). The results indicate that the wastewater quality at the WWTP outlet meets the applicable standards. However, groundwater and surface water around the land application area show a tendency toward increased BOD, COD, TSS, and ammonia levels, although most values remain below the permissible limits according to Government Regulation No. 22 of 2021. These findings indicate that land application activities may influence water quality and therefore require continuous environmental management and monitoring.*

***Keywords:*** *land application, palm oil mill effluent, groundwater quality, surface water quality.*

## PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Namun demikian, kegiatan industri ini juga menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Limbah cair pabrik kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) memiliki karakteristik kandungan bahan organik yang tinggi, ditunjukkan oleh nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD), serta mengandung padatan tersuspensi dan nutrien seperti nitrogen dan fosfor (Pahan, 2012; Said, 2017).

Salah satu metode pengelolaan POME yang banyak diterapkan di Indonesia adalah *land application*, yaitu pemanfaatan limbah cair yang telah diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk diaplikasikan ke lahan perkebunan kelapa sawit. Metode ini dinilai mampu mengurangi beban pencemaran badan air serta memanfaatkan unsur hara dalam limbah untuk meningkatkan kesuburan tanah (Yulnafatmawita et al., 2015). Meskipun demikian, penerapan *land application* juga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas air tanah dan air permukaan apabila tidak dikelola secara optimal (Sutapa & Arifin, 2018).

Permasalahan utama dalam penerapan *land application* adalah potensi perembesan senyawa pencemar ke dalam air tanah serta limpasan permukaan yang membawa bahan organik dan nutrien ke badan air di sekitarnya. Peningkatan beban organik pada perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air, berkurangnya oksigen terlarut, dan terganggunya keseimbangan ekosistem perairan (Effendi, 2003). Oleh karena itu, pemantauan kualitas air secara berkala sangat diperlukan untuk memastikan bahwa kegiatan *land application* tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

PT. X di Kabupaten Muaro Jambi merupakan perusahaan yang telah menerapkan sistem *land*

*application* dalam pengelolaan limbah cair pabrik kelapa sawit. Limbah cair yang dihasilkan diolah terlebih dahulu melalui IPAL sebelum diaplikasikan ke lahan perkebunan. Di sekitar area aplikasi terdapat sumber air permukaan berupa Sungai Sekawan serta sumber air tanah yang dimanfaatkan melalui sumur pantau dan sumur kontrol. Keberadaan sumber air tersebut menjadikan wilayah ini penting untuk dikaji guna mengetahui potensi pengaruh *land application* terhadap kualitas air lingkungan.

Secara teoritik, limbah cair kelapa sawit yang telah diolah masih mengandung bahan organik dan nutrien yang dapat mengalami proses dekomposisi di dalam tanah. Apabila kapasitas serapan tanah terlampaui, senyawa terlarut dapat bergerak secara vertikal dan mencapai air tanah, serta secara horizontal menuju badan air permukaan melalui limpasan (Todd & Mays, 2005). Oleh karena itu, evaluasi kualitas air tanah dan air permukaan menjadi indikator penting dalam menilai keberlanjutan pengelolaan limbah cair kelapa sawit.

Kualitas air tanah dan air permukaan selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu lingkungan yang berlaku, sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai dampak penerapan *land application* terhadap kualitas sumber daya air dan menjadi dasar evaluasi pengelolaan lingkungan di kawasan perkebunan kelapa sawit.

## METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan kualitas air tanah dan air permukaan di sekitar area *land application* limbah cair pabrik kelapa sawit. Penelitian dilaksanakan di PT. X, Kabupaten Muaro Jambi, dengan sasaran penelitian meliputi limbah cair, air permukaan, dan air tanah di sekitar lokasi aplikasi limbah. Sampel ditentukan secara *purposive sampling*. Sampel limbah cair diambil pada outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Sampel air permukaan diambil pada dua titik Sungai Sekawan, yaitu hulu dan hilir. Sampel air tanah diambil dari sumur pantau di dalam area *land application* serta sumur kontrol di luar area aplikasi. Pengambilan sampel dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang tata cara pengambilan contoh air.

Parameter kualitas air yang dianalisis meliputi pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), dan amonia ($NH_3$). Analisis dilakukan di laboratorium menggunakan metode standar, yaitu pH meter untuk pH, metode $BOD_5$ untuk BOD, refluks tertutup untuk COD, gravimetri untuk TSS, dan spektrofotometri untuk amonia. Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan dibandingkan dengan baku mutu lingkungan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 untuk menilai kondisi kualitas air dan potensi pengaruh *land application* terhadap lingkungan.

## HASIL

**Tabel 1**
**Hasil Uji Parameter Air Limbah (Outlet IPAL)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji |
|---|---|---|---|
| 1. | pH | - | 7,10 |
| 2. | $BOD_5$ | mg/L | 3620 |
| 3. | COD | mg/L | 8821 |
| 4. | Minyak Lemak | mg/L | 80 |
| 5. | Cadmiun (Cd) | mg/L | < 0,00005 |
| 6. | Cuprum (Cu) | mg/L | < 0,08 |
| 7. | Timbal (Pb) | mg/L | < 0,001 |
| 8. | Zink (Zn) | mg/L | 0,096 |

Keterangan: Tanda "<" berarti tidak terdeteksi
Sumber: data olahan

Hasil uji kualitas air limbah pada outlet IPAL PT. X menunjukkan bahwa limbah cair yang dihasilkan telah mengalami penurunan beban pencemar dibandingkan limbah mentah. Nilai pH sebesar 7,10 berada pada kondisi netral dan memenuhi baku mutu, sehingga layak untuk diaplikasikan ke lahan.Nilai $BOD_5$ sebesar 3.620 mg/L masih berada di bawah ambang batas maksimum untuk aplikasi lahan, menunjukkan bahwa proses pengolahan biologis telah berjalan cukup efektif. Namun, nilai COD sebesar 8.821 mg/L mengindikasikan masih adanya senyawa yang sukar terurai. Konsentrasi logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) terdeteksi sangat rendah dan berada di bawah baku mutu, sehingga tidak berpotensi mencemari lingkungan. Sementara itu, kandungan minyak dan lemak sebesar 80 mg/L tergolong tinggi dan berpotensi memengaruhi infiltrasi tanah apabila aplikasi limbah tidak dikendalikan dengan baik.

**Tabel 2**
**Hasil Uji Parameter Air Permukaan (Sungai Sekawan)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji | | Baku Mutu |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Hulu | Hilir | |
| 1. | TDS | mg/L | 52 | 64 | 1000 |
| 2. | TSS | mg/L | 5 | 8 | 50 |
| 3. | pH | - | 6,84 | 6,82 | 6-9 |
| 4. | (DO) | mg/L | 2,9 | 2,86 | < 4 |
| 5. | Suhu | ℃ | 30 | 30 | Deviasi ± 3 |
| 6. | COD | mg/L | 22 | 23 | 25 |

Keterangan: Tanda "<" berarti tidak terdeteksi
Sumber: data olahan

Berdasarkan hasil uji kualitas air Sungai Sekawan pada titik hulu (T2) dan hilir (T3) menunjukkan adanya perubahan kualitas air setelah melewati area land application. Nilai pH relatif stabil pada kedua titik dan masih berada dalam kisaran baku mutu, menunjukkan tidak adanya perubahan keasaman air yang signifikan. Namun, nilai TDS dan TSS mengalami peningkatan dari hulu ke hilir, yang mengindikasikan adanya tambahan material terlarut dan tersuspensi yang diduga berasal dari limpasan area aplikasi limbah cair.

Nilai COD juga meningkat dan mendekati ambang batas baku mutu kelas II, menunjukkan adanya tambahan beban bahan organik di badan air. Sementara itu, nilai DO relatif rendah pada kedua titik, yang mengindikasikan tingginya aktivitas penguraian bahan organik. Secara keseluruhan, kualitas air Sungai Sekawan masih memenuhi baku mutu, namun peningkatan beberapa parameter di hilir menunjukkan adanya pengaruh land application terhadap kualitas air permukaan.

**Tabel 3**
**Hasil Uji Parameter Air Tanah (Sumur Pantau)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji | | Baku Mutu |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | SP4 | SP5 | |
| 1. | DHL | µs/cm | 19,7 | 23,7 | - |
| 2. | pH | - | 6,77 | 6,84 | 6-9 |
| 3. | Suhu | ℃ | 28 | 25 | Deviasi ± 3 |
| 4. | DO | mg/L | 2,87 | 2,13 | 1 |
| 5. | $SO_4$ | mg/L | 23,6 | 20,4 | 400 |
| 6. | $BOD_5$ | mg/L | 3 | 1 | 12 |
| 7. | COD | mg/L | 21 | 12 | 80 |
| 8. | $NO_3$ | mg/L | 0,158 | 0,201 | 20 |
| 9. | Cl | mg/L | 2,62 | 3,12 | 600 |
| 10. | Cd | mg/L | < 0,00005 | < 0,00005 | 0,01 |
| 11. | Cu | mg/L | < 0,08 | < 0,08 | 0,2 |
| 12. | Pb | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,01 |
| 13. | Zn | mg/L | < 0,01 | 0,024 | 2 |
| 14. | $NH_3$-N | mg/L | 0,185 | 0.165 | - |

Keterangan : Tanda "<" berarti tidak terdeteksi
Sumber: data olahan

**Tabel 4**
**Hasil Uji Parameter Air Tanah (Sumur Control)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji | | Baku Mutu |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | T4 | T5 | |
| 1. | DHL | µs/cm | 19,2 | 27,8 | - |
| 2. | pH | - | 6,87 | 6,78 | 6-9 |
| 3. | Suhu | ℃ | 29 | 28 | Deviasi ± 3 |
| 4. | DO | mg/L | 2,84 | 2,78 | 1 |
| 5. | $SO_4$ | mg/L | 17,7 | 20,1 | 400 |
| 6. | $BOD_5$ | mg/L | 1 | 2 | 12 |
| 7. | COD | mg/L | 11 | 17 | 80 |
| 8. | $NO_3$ | mg/L | 0,127 | 0,084 | 20 |
| 9. | Cl | mg/L | 3,12 | 2,62 | 600 |
| 10. | Cd | mg/L | < 0,00005 | < 0,00005 | 0,01 |
| 11. | Cu | mg/L | < 0,08 | < 0,08 | 0,2 |
| 12. | Pb | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,01 |
| 13. | Zn | mg/L | < 0,01 | < 0,01 | 2 |
| 14. | $NH_3$-N | mg/L | 0,103 | 0,217 | - |

Keterangan: Tanda "<" berarti tidak terdeteksi
Sumber: data olahan

Hasil pengujian kualitas air tanah pada sumur pantau (SP4 dan SP5) dan sumur kontrol (T4 dan T5) menunjukkan bahwa seluruh parameter fisik, kimia, nutrien, dan logam berat masih berada dalam kisaran baku mutu yang ditetapkan. Nilai pH relatif stabil pada seluruh titik dan menunjukkan kondisi air tanah yang masih terbuffer dengan baik. Beberapa parameter seperti DHL, nitrat, dan klorida pada sumur pantau cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan sumur kontrol, yang mengindikasikan adanya pengaruh infiltrasi lokal dari area *land application*. Sebaliknya, nilai $BOD_5$, COD, dan amoniak pada beberapa titik sumur pantau menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi, yang berkaitan dengan akumulasi bahan organik alami dan pengaruh posisi topografi yang lebih rendah.

Konsentrasi nutrien (nitrat dan amoniak) pada seluruh titik sampel masih jauh di bawah ambang batas baku mutu, menunjukkan tidak adanya indikasi pencemaran nitrogen yang signifikan. Parameter logam berat (Cd, Cu, Pb, dan Zn) pada seluruh sampel berada di bawah batas deteksi atau jauh di bawah baku mutu, menandakan tidak adanya kontaminasi logam berat pada air tanah. Secara keseluruhan, perbedaan kualitas air antara sumur pantau dan sumur kontrol bersifat kecil dan mencerminkan variasi lokal akibat topografi, karakteristik tanah, dan proses infiltrasi alami. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan *land application* limbah cair pabrik kelapa sawit belum memberikan dampak signifikan terhadap kualitas air tanah di lokasi penelitian.

*Analisis Pengaruh Air Olahan Limbah PKS terhadap Air Tanah dan Air Permukaan*

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai parameter kualitas air antar titik sampling, meliputi air limbah PKS, sumur kontrol, sumur pantau, serta air permukaan di hulu dan hilir. Karena data hanya tersedia dari satu kali pengambilan sampel tanpa pengulangan, analisis menggunakan uji Kruskal–Wallis.

**Tabel 5**
**Hasil Uji Kruskal–Wallis**

| | Cd | Cu | Pb | Zn | Ph | BOD | COD | Minyak Lemak |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kruskal-Wallis H | .000 | 6.000 | .000 | 6.000 | 6.000 | 4.000 | 6.000 | 2.000 |
| df | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 6 | 2 |
| Asymp. Sig. | 1.000 | .423 | 1.000 | .423 | .423 | .406 | .423 | .368 |

Sumber: data olahan

Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh parameter yang dianalisis memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, yang menandakan tidak adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antar lokasi sampling. Parameter BOD, COD, pH, logam berat, serta minyak dan lemak menunjukkan distribusi nilai yang relatif homogen di seluruh titik pengamatan. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa air olahan limbah PKS belum terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas air tanah maupun air permukaan di sekitar lokasi penelitian. Namun, keterbatasan data tanpa pengulangan sampel menjadi faktor pembatas dalam kekuatan analisis, sehingga pemantauan kualitas air secara berkala tetap diperlukan untuk memastikan kondisi lingkungan tetap terjaga.

*Evaluasi Kepatuhan Terhadap Baku Mutu Lingkungan*

Evaluasi kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan dilakukan dengan membandingkan hasil uji kualitas air limbah, air permukaan, dan air tanah dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Baku mutu yang digunakan meliputi PERMENLHK No. 5 Tahun 2014 untuk air limbah, PP No. 22 Tahun 2021 untuk air permukaan, serta PP No. 22 Tahun 2021 kelas IV sesuai peruntukannya (pertanaman/perkebunan) untuk air tanah. Hasil uji air limbah pada outlet IPAL menunjukkan bahwa nilai pH dan $BOD_5$ telah memenuhi persyaratan untuk aplikasi lahan. Nilai $BOD_5$ sebesar 3.620 mg/L masih berada di bawah batas maksimum 5.000 mg/L. Parameter logam berat juga memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Namun demikian, kandungan minyak dan lemak yang masih relatif tinggi perlu menjadi perhatian agar tidak menurunkan kemampuan infiltrasi tanah pada area aplikasi.

Untuk air permukaan Sungai Sekawan, seluruh parameter yang diuji pada titik hulu dan hilir masih berada di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Meskipun demikian, adanya kecenderungan peningkatan beberapa parameter di hilir menunjukkan bahwa kegiatan *land application* memberikan tambahan beban pencemar terhadap badan air. Sementara itu, kualitas air tanah pada seluruh titik pengambilan sampel telah memenuhi baku mutu air tanah berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 kelas IV sesuai peruntukannya (pertanaman/perkebunan). Tidak ditemukan parameter yang melebihi ambang batas, sehingga secara keseluruhan kegiatan *land application* PT. X masih tergolong patuh terhadap ketentuan baku mutu lingkungan.

*Implikasi Lingkungan Land Application di PT. X*

Penerapan sistem *land application* di PT. X memberikan implikasi lingkungan yang bersifat positif dan potensial negatif. Secara positif, pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk organik cair mampu mengurangi beban pencemaran badan air, meningkatkan kesuburan tanah, serta mendukung prinsip pengelolaan limbah berkelanjutan (*zero discharge*). Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan adanya indikasi pengaruh

terhadap kualitas air permukaan, khususnya peningkatan parameter TDS, TSS, dan COD di hilir Sungai Sekawan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa apabila pengelolaan dosis aplikasi, sistem drainase, dan pengendalian limpasan tidak dilakukan secara optimal, maka dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas air permukaan.

Terhadap air tanah, implikasi lingkungan yang ditimbulkan masih tergolong rendah karena lapisan tanah mampu mereduksi pencemar secara alami. Namun, pemantauan berkala tetap diperlukan untuk mengantisipasi akumulasi pencemar dalam jangka panjang, terutama pada musim hujan dengan intensitas aplikasi yang tinggi. Secara keseluruhan, sistem *land application* di PT. X masih layak diterapkan, dengan catatan pengawasan lingkungan dilakukan secara konsisten dan berkelanjutan untuk menjaga kualitas air permukaan dan air tanah di sekitar area kegiatan.

## SIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa (1) pengaruh air limbah yang dialirkan ke lahan aplikasi PT. X terhadap kualitas air tanah menunjukkan bahwa kegiatan *land application* limbah cair kelapa sawit berpotensi mencemari air tanah melalui proses aliran air tanag. Faktor pencemar utama berasal dari kandungan bahan organik dan senyawa nitrogen (nitrat dan amonia) dalam limbah cair. Kandungan bahan organik dan nitrogen dalam limbah cair yang diaplikasikan ke lahan dapat meresap ke akuifer dangkal. Namun, hasil pengujian kualitas air tanah sumur kontrol dan sumur pantau menunjukkan bahwa konsentrasi parameter pencemar tersebut masih berada di bawah baku mutu air tanah sesuai PP No. 22 Tahun 2021 kelas IV sesuai peruntukannya (pertanaman/perkebunan), sehingga secara aktual belum terjadi pencemaran air tanah yang signifikan; (2) pengaruh kualitas air limbah yang dialirkan ke lahan aplikasi PT. X terhadap air permukaan menunjukkan bahwa kegiatan *land application* memberikan kontribusi terhadap penurunan kualitas air permukaan melalui limpasan permukaan (*runoff*) dari area aplikasi menuju Sungai Sekawan. Faktor pencemaran yang dominan berasal dari sisa bahan organik limbah cair yang terbawa aliran permukaan, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai BOD, COD, TSS, dan amonia pada titik hilir sungai dibandingkan dengan titik hulu. Meskipun demikian, seluruh parameter kualitas air permukaan masih memenuhi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021, sehingga dampak pencemaran yang terjadi masih tergolong ringan; dan (3) hasil uji statistik Kruskal–Wallis terhadap seluruh parameter kualitas air pada berbagai titik sampling, diperoleh nilai signifikansi (*Asymp. Sig.)* lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar titik sampling untuk parameter yang dianalisis. Dengan demikian, air limbah dari sumber kegiatan belum terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas air pada sumur kontrol, sumur pantau, maupun badan air permukaan di sekitar lokasi penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Effendi, H. 2003. *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: Kanisius.

Pahan, I. 2012. *Panduan lengkap kelapa sawit: Manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Said, N. I., 2017. *Teknologi pengolahan air limbah*. Jakarta: Erlangga.

Sutapa, I. W., Arifin, Z., 2018. Pengaruh land application limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap kualitas air tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 85–94.

Todd, D. K., Mays, L. W., 2005. *Groundwater hydrology* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Yulnafatmawita, Adrinal, Darmawan. 2015. Pemanfaatan limbah cair kelapa sawit sebagai pupuk organik pada tanah ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 2(1), 99–106.