

## **Strategi Pengelolaan dan Pemantauan Kualitas Air Tanah pada Area Pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) di Kabupaten Siak, Provinsi Riau**

**Khairi Setiawan\*, Bintal Amin, Wawan**

Universitas Riau, Indonesia

Email: setiawan.khairi@gmail.com\*

---

---

### **Abstract**

*Petroleum spills can cause environmental pollution that has an impact on ecosystems, groundwater quality, and socio-economic conditions of the community. This study aims to analyze the impact of oil spills on the ecological, social, and economic aspects of the community, assess the condition of groundwater quality after removal of oil-contaminated soil, and formulate a strategy for managing and monitoring groundwater quality at the location of PKM 15,800 Lukut, Siak Regency, Riau Province. This research employed a descriptive approach using both qualitative and quantitative analyses. Primary data were collected through field observations, structured interviews, questionnaires, and groundwater sampling from monitoring wells to analyze Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) parameters, including C6–C9 and C10–C36 fractions in the laboratory. Secondary data were obtained from literature reviews, environmental monitoring documents, and land remediation reports. Data were analyzed descriptively and further evaluated using SWOT analysis to develop appropriate management strategies. The results indicate that the oil spill has affected ecological, social, and economic aspects of the community. Ecologically, changes in vegetation composition and indications of ecological succession were observed during the ecosystem recovery process. Socio-economically, communities relying on plantation activities experienced reduced productivity and income. Groundwater monitoring results show that post-remediation groundwater quality generally remains below regulatory standards based on TPH parameters. The remediation efforts implemented were effective in reducing hydrocarbon contamination in groundwater. The recommended management strategy is an aggressive (Strength–Opportunity) strategy by strengthening environmental monitoring systems, applying monitoring technologies, and promoting multi-stakeholder collaboration to ensure sustainable groundwater quality management.*

---

---

### **Keywords:**

groundwater quality;  
oil spill;  
Total Petroleum Hydrocarbon (TPH);  
oil-contaminated soil;  
management strategy.

---

---

### **Abstrak**

Tumpahan minyak bumi dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada ekosistem, kualitas air tanah, serta kondisi sosial ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak tumpahan minyak terhadap aspek ekologi, sosial, dan ekonomi masyarakat, menilai kondisi kualitas air tanah setelah pengangkatan tanah terkontaminasi minyak, serta merumuskan strategi pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah di lokasi PKM 15.800 Lukut, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara terstruktur, penyebaran kuesioner, serta pengambilan sampel air tanah pada sumur pantau untuk analisis parameter Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) fraksi C6–C9 dan C10–C36 di laboratorium. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur, dokumen pemantauan lingkungan, dan laporan pemulihan lahan. Analisis data dilakukan secara deskriptif serta

---

---

### **Kata Kunci:**

kualitas air tanah;  
tumpahan minyak;  
Total Petroleum Hydrocarbon (TPH);  
tanah terkontaminasi minyak;  
strategi pengelolaan.

menggunakan analisis SWOT untuk merumuskan strategi pengelolaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tumpahan minyak memberikan dampak terhadap aspek ekologi, sosial, dan ekonomi masyarakat. Secara ekologis terjadi perubahan komposisi vegetasi dan indikasi suksesi ekosistem pada tahap pemulihan. Dari aspek sosial ekonomi, sebagian masyarakat yang bergantung pada sektor perkebunan mengalami penurunan produktivitas dan pendapatan. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa kualitas air tanah pascapemulihan secara umum berada di bawah baku mutu berdasarkan parameter TPH. Upaya pemulihan yang dilakukan dinilai efektif dalam menurunkan tingkat kontaminasi hidrokarbon pada air tanah. Strategi pengelolaan yang direkomendasikan adalah strategi agresif (Strength–Opportunity) melalui penguatan sistem pemantauan lingkungan, pemanfaatan teknologi monitoring, serta kolaborasi multipihak untuk mendukung pengelolaan kualitas air tanah yang berkelanjutan.

---

## PENDAHULUAN

Air tanah merupakan air hasil infiltrasi air permukaan ke dalam tanah yang selanjutnya membentuk sistem akuifer. Pergerakan air tanah berlangsung melalui pori-pori atau ruang antarbutir tanah yang jenuh air, sehingga memungkinkan terjadinya aliran dan penyimpanan air pada lapisan bawah permukaan bumi (Saputra, 2016; Fetter, 2018). Sebagai salah satu sumber daya geologi yang krusial, air memiliki peranan fundamental bagi keberlangsungan kehidupan. Dalam siklus hidrologi, air berfungsi sebagai pelarut universal karena kemampuannya melarutkan serta mengangkut berbagai unsur dan senyawa kimia dari media geologi yang dilaluinya (Noor, 2011; Freeze & Cherry, 2019).

Air tanah secara konseptual didefinisikan sebagai air yang berada di dalam lapisan tanah, baik pada zona tidak jenuh maupun zona jenuh air, yang sangat rentan terhadap kontaminasi akibat aktivitas antropogenik, termasuk kegiatan industri migas (Darwis, 2018; Todd & Mays, 2020). Secara geografis, lokasi pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) di Kabupaten Siak, Provinsi Riau, berada pada jarak sekitar  $\pm 115$  km dari wilayah operasional PT Bumi Siak Pusako. PT Bumi Siak Pusako telah mengelola Blok Coastal Plain and Pekanbaru (CPP) sejak tahun 2002, setelah sebelumnya dikelola oleh Caltex Pacific Indonesia sejak 1971. Dalam kegiatan operasional migas, kejadian tumpahan minyak (oil spill) berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap kualitas tanah dan air tanah apabila tidak ditangani secara sistematis dan berkelanjutan (ITOPF, 2018; IPIECA, 2020). Oleh karena itu, pemulihan lahan terkontaminasi limbah B3 wajib dilaksanakan sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 33 Tahun 2009, yang mencakup tahapan perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan pemantauan. Dokumen Rencana Pemulihan Fungsi Lingkungan Hidup (RPFLH) telah memperoleh persetujuan melalui Surat Nomor S.1577/MENLHK-PSLB3/PKTDLB3/PLB.4/8/2020.

Tumpahan minyak bumi di kawasan PKM 15.800 Lukut terbukti memberikan dampak terhadap aspek ekologi, sosial, dan ekonomi masyarakat. Secara ekologis, pencemaran minyak menyebabkan gangguan pada struktur dan fungsi ekosistem yang ditandai dengan dominasi vegetasi pionir yang toleran terhadap kondisi tercemar, perubahan komposisi flora dan fauna, serta indikasi suksesi ekologis pada tahap pemulihan. Dari aspek sosial dan ekonomi, peristiwa ini menimbulkan keresahan masyarakat serta berdampak pada sektor perkebunan kelapa sawit

yang mengalami penurunan produktivitas dan pendapatan petani, meskipun aktivitas ekonomi masyarakat secara umum masih tetap berlangsung.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kualitas air tanah di lokasi PKM 15.800 Lukut pasca pengangkatan tanah terkontaminasi minyak secara umum berada dalam kondisi aman berdasarkan parameter Total Petroleum Hydrocarbon (TPH). Pemantauan hingga tahun 2025 menunjukkan bahwa seluruh sumur pantau memiliki konsentrasi TPH fraksi ringan dan berat di bawah baku mutu, yang mengindikasikan bahwa upaya pemulihan cukup efektif dalam menurunkan tingkat kontaminasi. Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang direkomendasikan adalah strategi agresif (Strength–Opportunity) melalui penguatan pemantauan lingkungan, pemanfaatan teknologi monitoring, kolaborasi multipihak, serta pemantauan berkala untuk menjaga stabilitas kualitas air tanah dan mencegah pencemaran di masa mendatang.

Penelitian ini merupakan studi lanjutan dari kegiatan pemantauan tanah terkontaminasi minyak yang telah dilaksanakan dan dinyatakan selesai sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini bersifat pemantauan berkala per semester yang bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas air tanah pasca pemulihan tetap memenuhi baku mutu lingkungan serta tidak menimbulkan dampak lanjutan terhadap ekosistem sekitarnya (EPA, 2020; KLHK, 2023; Wibowo et al., 2024). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini disusun dengan judul “Strategi Pengelolaan dan Pemantauan Kualitas Air Tanah pada Area Pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) di Lokasi PKM 15.800 Lukut, Kabupaten Siak, Provinsi Riau.”

Berdasarkan uraian latar belakang, perumusan masalah dalam penelitian ini meliputi bagaimana dampak tumpahan minyak (oil spill) terhadap aspek ekologi, ekonomi, dan sosial masyarakat di lokasi PKM 15.800 Lukut, bagaimana kondisi terkini kualitas air tanah di lokasi tersebut setelah dilakukan pengangkatan tanah terkontaminasi, serta bagaimana strategi pemantauan dan pengelolaan kualitas air tanah beserta upaya pemulihan yang dilakukan dalam menangani tumpahan minyak di area tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah pada area pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) di lokasi PKM 15.800 Lukut, Kabupaten Siak, Provinsi Riau, dengan fokus pada analisis dampak tumpahan minyak terhadap aspek ekologi, ekonomi, dan sosial masyarakat, analisis kondisi kualitas air tanah setelah proses pengangkatan tanah terkontaminasi, serta perumusan strategi pemantauan dan pengelolaan kualitas air tanah dalam upaya pemulihan lingkungan. Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai kegiatan penanganan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) pada lokasi tumpahan minyak, menambah pengetahuan dan wawasan masyarakat mengenai penanganan tanah terkontaminasi minyak berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku, serta menjadi referensi bagi pembaca dalam pengembangan ilmu pengetahuan terkait permasalahan yang diteliti.

## **METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis kondisi lingkungan serta merumuskan strategi pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah pada area pemulihan tanah terkontaminasi minyak (TTM). Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan secara menyeluruh kondisi ekologi, sosial ekonomi masyarakat, serta kualitas air tanah pada lokasi penelitian. Penelitian

dilaksanakan pada Mei hingga Desember 2025 di PKM 15.800 Lukut, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan lapangan, pengumpulan data sosial ekonomi masyarakat, pengambilan sampel air tanah, serta analisis strategi pengelolaan lingkungan untuk mengetahui efektivitas pemulihan lahan yang telah dilakukan dan kondisi lingkungan pascatumpahan minyak bumi.

### **Populasi dan Sampel**

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh masyarakat yang berada di sekitar lokasi PKM 15.800 Lukut yang berpotensi terdampak oleh aktivitas tumpahan minyak dan kegiatan pemulihan lingkungan. Sampel penelitian ditentukan secara purposive sampling, yaitu pemilihan responden berdasarkan pertimbangan tertentu yang dianggap memiliki pengetahuan atau keterlibatan langsung dengan objek penelitian. Sampel dalam penelitian ini terdiri dari 13 orang masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi penelitian serta 2 orang pekerja dari PT Bumi Siak Pusako yang terlibat dalam kegiatan pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah. Selain responden manusia, sampel lingkungan juga diambil dari tiga titik sumur pantau, yaitu satu titik upstream dan dua titik downstream, yang digunakan untuk pengambilan sampel air tanah guna mengetahui kondisi kualitas air tanah di sekitar area pemulihan tanah terkontaminasi minyak.

### **Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa metode, yaitu observasi lapangan, wawancara terstruktur, penyebaran kuesioner, serta pengambilan sampel air tanah. Observasi dilakukan untuk melihat secara langsung kondisi lingkungan di lokasi penelitian, termasuk kondisi ekosistem, vegetasi, serta kondisi area pemulihan tanah terkontaminasi minyak. Wawancara dan kuesioner diberikan kepada masyarakat dan pekerja yang terlibat dalam pemantauan kualitas air tanah untuk memperoleh informasi terkait kondisi sosial ekonomi, tingkat pengetahuan, serta persepsi masyarakat terhadap kualitas air tanah. Selain itu, pengambilan sampel air tanah dilakukan pada sumur pantau yang telah ditentukan untuk kemudian dianalisis di laboratorium terakreditasi. Parameter yang dianalisis meliputi Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) rantai pendek (C6–C9) dan rantai panjang (C10–C36) sebagai indikator utama pencemaran minyak bumi pada air tanah. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer yang diperoleh langsung dari kegiatan lapangan dan data sekunder yang berasal dari dokumen pemantauan lingkungan, laporan pemulihan lahan, literatur ilmiah, serta peraturan perundang-undangan yang relevan.

### **Teknik Analisis Data**

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif dan analitis untuk menggambarkan kondisi lingkungan serta merumuskan strategi pengelolaan kualitas air tanah. Analisis ekologi dilakukan dengan mengkaji hasil pengamatan terhadap flora dan fauna untuk menilai kondisi ekosistem serta tingkat pemulihan lingkungan setelah terjadinya tumpahan minyak. Analisis sosial ekonomi dilakukan dengan mengolah data hasil wawancara dan kuesioner untuk mengetahui kondisi sosial ekonomi masyarakat serta dampak yang dirasakan akibat tumpahan minyak. Analisis kualitas air tanah dilakukan dengan membandingkan hasil uji laboratorium terhadap parameter TPH C6–C9 dan TPH C10–C36 dengan baku mutu air tanah berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan analisis SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) untuk merumuskan strategi pemantauan dan pengelolaan kualitas air tanah yang efektif dan berkelanjutan. Analisis

SWOT dilakukan dengan mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pengelolaan kualitas air tanah, kemudian disusun dalam matriks IFAS dan EFAS untuk menentukan strategi yang paling tepat dalam pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah pada lokasi penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Dampak Tumpahan Minyak (*oil spill*) Pada Aspek Ekologi, Ekonomi dan Sosial Masyarakat pada Lokasi PKM 15.800 Lukut

#### 1. Kondisi Ekologi PKM 15.800 Lukut

Kawasan PKM 15.800 Lukut memiliki karakteristik ekologis yang umumnya memiliki kondisi ekosistem seperti rawa air tawar maupun rawa gambut yang secara khas ditandai oleh kondisi tanah jenuh air, tingkat kelembapan tinggi, serta dominasi vegetasi adaptif terhadap lingkungan basah. Kondisi ini memberikan pengaruh langsung terhadap proses ekologis, sebaran vegetasi, keberadaan fauna. Secara umum, wilayah dengan karakteristik seperti PKM 15.800 Lukut menunjukkan pola interaksi ekologis yang sangat bergantung pada kestabilan air tanah, tutupan vegetasi, serta kondisi iklim lokal yang cenderung lembap sepanjang tahun. Ekosistem seperti ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan fisik misalnya pembukaan lahan, drainase, dan peningkatan tekanan antropogenik yang dapat menciptakan perubahan drastis pada struktur dan fungsi ekosistem (Rahmawati, 2019; Sari & Putra, 2022; Yulanda *et al.*, 2024).

**Tabel 1. Jenis-Jenis Tumbuhan Yang Ditemukan di PKM 15.800 Lukut**

No.	Nama Indonesia	Nama Latin
1	Sawit	<i>Elaeis guineensis</i>
2	Jambu Biji	<i>Psidium guajava</i>
3	Balik Angin	<i>Mallotus paniculatus</i>
4	Simpur	<i>Dillenia indica</i>
5	Mahang	<i>Macaranga gigantea</i>
6	Mahang	<i>Macaranga triloba</i>
7	Akasia	<i>Acacia mangium</i>
8	Bintangor	<i>Calophyllum sp.</i>
9	Ramin	<i>Gonystylus sp.</i>
10	Surian	Toona sureni

Sumber: Data pengamatan pribadi

Hasil pemantauan ekologi pada lokasi PKM 15.800 Lukut menunjukkan bahwa area yang terdampak tumpahan minyak bumi masih ditumbuhi oleh sejumlah jenis vegetasi dengan tingkat toleransi yang berbeda terhadap kondisi lingkungan terdegradasi. Keberadaan vegetasi ini mencerminkan kemampuan adaptasi ekosistem darat terhadap gangguan pencemaran minyak bumi, sekaligus menjadi indikator awal proses pemulihan ekologis pascatumpahan (Leewis *et al.*, 2024; Peijnenburg *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil inventarisasi vegetasi pada Tabel 4.1, teridentifikasi sepuluh jenis tumbuhan yang tersebar pada area terkontaminasi, yang terdiri atas jenis tanaman budidaya, spesies pionir, serta pohon hutan sekunder Lestari *et al.*, 2021; Rahayu & Nugroho, 2022).

Jenis yang ditemukan meliputi sawit (*Elaeis guineensis*), jambu biji (*Psidium guajava*), balik angin (*Mallotus paniculatus*), simpur (*Dillenia indica*), mahang (*Macaranga gigantea* dan *Macaranga triloba*), akasia (*Acacia mangium*), bintangor (*Calophyllum* sp.), ramin (*Gonystylus* sp.), dan surian (*Toona sureni*) (Tabel 1).

Dominasi jenis-jenis pionir seperti *Macaranga* spp., *Mallotus paniculatus*, dan *Acacia mangium* menunjukkan bahwa area terdampak telah mengalami gangguan ekologis yang signifikan. Spesies-spesies tersebut dikenal memiliki laju pertumbuhan cepat, toleransi tinggi terhadap kondisi tanah miskin hara, serta kemampuan beradaptasi pada lingkungan terkontaminasi, sehingga sering muncul pada lahan terganggu atau pascagangguan lingkungan (Suryadi *et al.*, 2020; Fitriani *et al.*, 2023). Kehadiran vegetasi pionir ini mengindikasikan proses suksesi awal sebagai respons alami terhadap tekanan pencemaran minyak bumi. Keberadaan tanaman sawit (*Elaeis guineensis*) dan jambu biji (*Psidium guajava*) menunjukkan bahwa sebagian area terdampak sebelumnya merupakan lahan yang dimanfaatkan oleh masyarakat. Hal ini mengindikasikan bahwa tumpahan minyak bumi tidak hanya berdampak pada ekosistem alami, tetapi juga berpotensi memengaruhi fungsi lahan produktif dan aktivitas sosial ekonomi masyarakat sekitar (Prasetyo *et al.*, 2022).

Selain itu, ditemukannya jenis pohon hutan seperti bintangor (*Calophyllum* sp.), ramin (*Gonystylus* sp.), dan surian (*Toona sureni*) menunjukkan bahwa meskipun terjadi gangguan pencemaran, masih terdapat elemen vegetasi dengan nilai ekologis tinggi. Keberadaan jenis-jenis tersebut mengindikasikan bahwa tidak seluruh struktur vegetasi hutan mengalami kerusakan total, serta masih terdapat potensi pemulihan fungsi ekologis secara bertahap apabila didukung oleh pengelolaan dan pemantauan lingkungan yang berkelanjutan (Leewis *et al.*, 2024; Barbour *et al.*, 2020). Secara ekologis, struktur vegetasi yang tersisa pada area terkontaminasi minyak bumi di PKM 15.800 Lukut berperan penting dalam mendukung proses pemulihan lingkungan. Vegetasi berfungsi sebagai penutup tanah, pengendali erosi, serta penyedia mikrohabitat bagi organisme lain. Selain itu, beberapa jenis tumbuhan diketahui memiliki kemampuan fitoremediasi alami, seperti meningkatkan aktivitas mikroba tanah dan mempercepat degradasi hidrokarbon minyak bumi (Hidayat *et al.*, 2021; Leewis *et al.*, 2024).

Dengan demikian, komposisi vegetasi yang ditemukan pada area terdampak tumpahan minyak bumi di PKM 15.800 Lukut menunjukkan bahwa ekosistem berada pada fase pemulihan awal hingga menengah. Keberadaan spesies pionir, tanaman budidaya, dan pohon hutan menjadi indikator penting dalam menilai tingkat gangguan ekologis sekaligus potensi keberhasilan pemulihan fungsi lingkungan hidup pascatumpahan minyak bumi (Peijnenburg *et al.*, 2023; Fitriani *et al.*, 2023). Hasil pengamatan fauna di area PKM 15.800 Lukut menunjukkan adanya keberagaman jenis satwa, meskipun area tersebut terdampak tumpahan minyak bumi. Fauna yang ditemukan terdiri atas burung, mamalia, reptil, dan serangga pada Tabel 2, yang menunjukkan bahwa meskipun terjadi gangguan ekologis, ekosistem masih mampu mendukung kehidupan berbagai jenis satwa (Tabel 3).

**Tabel 2. Jenis-Jenis Satwa Burung Yang Ditemukan di PKM 15.800 Lukut**

No.	Nama Indonesia	Nama Latin
1	Merbah cerukcuk	<i>Pycnonotus goiavier</i>
2	Burung-gereja Erasia	<i>Passer montanus</i>
3	Cekakak belukar	<i>Halcyon smyrnensis</i>

No.	Nama Indonesia	Nama Latin
4	Bondol rawa	<i>Lonchura malacca</i>
5	Layang-layang batu	<i>Hirundo tahitica</i>
6	Bondol peking	<i>Lonchura punctulata</i>
7	Cucak kutilang	<i>Pycnonotus aurigaster</i>
8	Cekakak Sungai	<i>Todiramphus chloris</i>
9	Elang Bondol	<i>Haliastur indus</i>
10	Elang brontok	<i>Nisaetus cirrhatus</i>
11	Kuntul Kerbau	<i>Bubulcus ibis</i>

Sumber: Data pengamatan pribadi

Berdasarkan Tabel 2, terdapat sebelas spesies burung yang teridentifikasi di lokasi PKM 15.800 Lukut. Beberapa spesies umum seperti Merbah cerukcuk (*Pycnonotus goiavier*), Cucak kutilang (*Pycnonotus aurigaster*), dan Burung-gereja Erasia (*Passer montanus*) menunjukkan adanya kemampuan adaptasi terhadap perubahan habitat, termasuk area yang mengalami kontaminasi minyak. Selain itu, ditemukan juga spesies predator seperti Elang Bondol (*Haliastur indus*) dan Elang Brontok (*Nisaetus cirrhatus*), yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dengan mengontrol populasi burung kecil dan mamalia kecil. Kehadiran burung air seperti Kuntul Kerbau (*Bubulcus ibis*) juga menunjukkan adanya sumber air yang masih dapat dimanfaatkan untuk kehidupan satwa meskipun ada kontaminasi. Dominasi burung pemakan serangga dan biji menunjukkan adanya proses penyesuaian ekosistem pascatumpahan, di mana spesies yang lebih toleran terhadap gangguan tetap dapat bertahan. Fenomena ini sejalan dengan teori suksesi ekologis, di mana spesies oportunistik muncul lebih awal pada ekosistem yang terganggu.

**Tabel 3. Jenis-Jenis Satwa Lain Yang Ditemukan Di Sekitar PKM 15.800 Lukut**

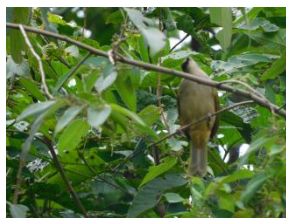
No.	Nama Indonesia	Nama Latin
1	Monyet ekor panjang	<i>Macaca fascicularis</i>
2	Babi Hutan	<i>Sus scrofa</i>
3	Kongkang gading	<i>Hylarana erythraea</i>
4	Kongkang baram	<i>Pulchrana baramica</i>
5	Biawak	<i>Varanus salvator</i>
6	Ular gadung	<i>Ahaetulla prasina</i>
7	Layang-layang api	<i>Hirundo rustica</i>
8	Kupu-kupu mata tiga	<i>Ypthima pandocus</i>
9	Kupu-kupu kuning	<i>Eurema sari</i>
10	Capung badak	<i>Orthetrum sabina</i>
11	Capung jala lekuk	<i>Neurothemis ramburii</i>

Sumber: Data pengamatan pribadi

Pengamatan mamalia di area ini ditemukan keberadaan Monyet ekor panjang (*Macaca fascicularis*) dan Babi Hutan (*Sus scrofa*). Kedua spesies ini dikenal memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap gangguan habitat, termasuk area yang tercemar. *Macaca fascicularis* mampu memanfaatkan berbagai tipe habitat, mulai dari hutan primer, hutan sekunder, hingga

area yang terganggu oleh aktivitas manusia, serta menunjukkan fleksibilitas dalam pola makan dan perilaku (Sari et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian lahan masih menyediakan sumber pakan yang cukup berupa buah-buahan, biji, dan serangga (Fitriani et al., 2023). *Sus scrofa* secara ekologis bersifat generalis dan memiliki mobilitas tinggi, sehingga tetap dapat bertahan di lingkungan terganggu, namun aktivitas penggalian tanah dapat mempercepat penyebaran kontaminan, yang perlu dipertimbangkan dalam strategi pemulihan (Rahman et al., 2020). Reptil yang ditemukan di lokasi termasuk Kongkang gading (*Hylarana erythraea*), Kongkang baram (*Pulchrana baramica*), Biawak (*Varanus salvator*), dan Ular gadung (*Ahaetulla prasina*) (Tabel 4.3). Spesies ini umumnya hidup di habitat semi-akuatik dan hutan, menunjukkan bahwa meskipun terjadi pencemaran, sebagian habitat masih mendukung keberadaan fauna yang membutuhkan lingkungan stabil (Kurniawan et al., 2022). Predator tingkat menengah seperti Biawak dan ular berperan dalam menjaga keseimbangan rantai makanan dengan mengontrol populasi mangsa dan mempertahankan struktur komunitas fauna di area terdampak (Suryadi et al., 2020).

Beberapa jenis serangga yang teridentifikasi, meliputi Kupu-kupu mata tiga (*Ypthima pandocus*), Kupu-kupu kuning (*Eurema sari*), Capung badak (*Orthetrum sabina*), dan Capung jala lekuk (*Neurothemis ramburii*), menunjukkan bahwa area PKM 15.800 Lukut masih menyediakan vegetasi dan sumber air yang memadai untuk mendukung siklus hidup invertebrata (Hidayat et al., 2021). Serangga memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kualitas lingkungan dan sering digunakan sebagai bioindikator untuk menilai kondisi habitat (Leewis et al., 2024). Mereka juga berperan dalam penyerbukan tanaman dan sebagai sumber pakan bagi burung dan mamalia kecil, sehingga mendukung proses pemulihan ekosistem pasca-tumpahan minyak (Peijnenburg et al., 2023).



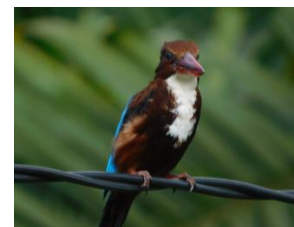
*Pycnonotus goiavier*



*Lonchura punctulata*



*Passer montanus*



*Halcyon smyrnensis*

**Gambar 1. Jenis-Jenis Fauna yang ditemukan di PKM 15.800 Lukut**

Sumber: Dokumentasi lapangan, 2025

Keberagaman fauna yang ditemukan di lokasi PKM 15.800 Lukut menunjukkan adanya proses pemulihan awal ekosistem pasca-tumpahan minyak bumi. Meskipun beberapa spesies menunjukkan toleransi terhadap gangguan, masih terdapat spesies yang memiliki kebutuhan habitat khusus, seperti reptil semi-akuatik dan burung pemangsa, yang dapat menjadi indikator kualitas habitat (Barbour et al., 2020). Oleh karena itu, pemantauan lanjutan diperlukan untuk memastikan keberlanjutan proses pemulihan, termasuk perlindungan vegetasi pionir dan pohon hutan yang menjadi sumber pakan dan habitat satwa serta menjaga interaksi ekologis antar-komponen biotik di ekosistem (Leewis et al., 2024; Fitriani et al., 2023).

## **2. Kondisi Sosial Masyarakat PKM 15.800 Lukut**

Tumpahan minyak yang terjadi di kawasan PKM 15.800 Lukut memberikan pengaruh signifikan terhadap kondisi sosial masyarakat, terutama pada tiga RT yang berada paling dekat dengan lokasi kejadian. Berdasarkan data lapangan, komposisi responden menunjukkan bahwa masyarakat yang terdampak terdiri dari 15 orang yang dipilih melalui teknik purposive sampling, yakni laki-laki (47%) dan perempuan (53%). Sebagian besar berada pada kelompok umur produktif (15–30 tahun dan 41–50 tahun), yang menurut Tjiptoherijanto (2011) merupakan kelompok dengan tingkat aktivitas ekonomi dan sosial paling tinggi dalam komunitas. Kondisi ini memperlihatkan bahwa tumpahan minyak bukan hanya mengganggu lingkungan ekologis, tetapi juga mengganggu dinamika sosial masyarakat yang sedang berada pada fase usia dengan kebutuhan ekonomi dan tanggung jawab keluarga yang besar.

Berdasarkan data Pendidikan mayoritas masyarakat PKM 15.800 berpendidikan SMA/SMK (53%) dengan tingkat menengah (SMP) sebesar 34%. Pendidikan yang relatif beragam ini mempengaruhi tingkat pemahaman masyarakat terhadap risiko lingkungan. Berdasarkan studi Mustapha et al. (2020), masyarakat dengan pendidikan menengah–atas cenderung lebih responsif terhadap isu pencemaran minyak dan lebih cepat beradaptasi dalam mencari strategi mitigasi sosial maupun ekonomi. Namun demikian, kelompok masyarakat dengan pendidikan SMP yang sebagian besar bekerja sebagai petani lebih rentan terdampak, baik secara sosial maupun ekonomi, karena bergantung secara langsung pada lahan dan sumber daya alam sekitar. Hal ini sejalan dengan temuan Nurlaili & Puspita (2021) bahwa petani di wilayah perkebunan sawit di Riau lebih rentan terhadap gangguan lingkungan karena ketergantungan terhadap satu sumber pendapatan utama.

Jenis pekerjaan masyarakat menunjukkan dominasi petani (47%), diikuti Ibu Rumah Tangga (IRT) (40%) dan Manager (13%). Bagi kelompok petani, tumpahan minyak memberikan dampak langsung pada produktivitas kebun, terutama jika kebun sawit berada dalam radius terdampak. Beberapa penelitian seperti oleh Prasetyo et al. (2019) dan Chen et al. (2022) menunjukkan bahwa pencemaran minyak pada tanah dapat mengganggu fisiologi tanaman, menurunkan produksi, serta memicu stres ekonomi rumah tangga yang bergantung pada sektor pertanian. Tekanan ekonomi ini selanjutnya berpengaruh pada kondisi sosial, seperti meningkatnya kekhawatiran terhadap kecukupan penghasilan, konflik sosial terkait klaim lahan terdampak, serta ketergantungan masyarakat terhadap bantuan perusahaan atau pemerintah. Secara sosial, tumpahan minyak juga mempengaruhi keamanan psikologis masyarakat. Berdasarkan hasil wawancara, masyarakat sedikit merasa khawatir terhadap kualitas air, kesehatan anak-anak, serta kelangsungan aktivitas harian seperti berkebun dan beternak. Temuan ini sejalan dengan laporan (Al-Ghussain & Jenner, 2020), yang menyatakan bahwa pencemaran minyak di pemukiman pedesaan menyebabkan peningkatan kecemasan sosial serta menurunkan rasa aman karena adanya ketidakpastian terkait dampak jangka panjang. Kekhawatiran ini lebih tinggi pada kelompok perempuan (IRT) yang memegang peran utama dalam menjaga kesehatan keluarga, sebagaimana juga ditemukan dalam studi Sari & Handayani (2021) mengenai dampak sosial pencemaran lingkungan terhadap rumah tangga di wilayah pedesaan. Tumpahan minyak juga berdampak pada interaksi sosial masyarakat. Beberapa responden menyampaikan bahwa kegiatan rutin seperti gotong royong, pertemuan RT, dan aktivitas berkumpul berkurang karena masyarakat lebih berhati-hati mendekati wilayah terdampak. Hal ini sejalan dengan penelitian Dzigbede et al. (2018) yang menjelaskan

bahwa pencemaran lingkungan seringkali mengurangi partisipasi sosial karena masyarakat menghindari area yang dianggap tidak aman. Selain itu, tumpahan minyak dapat memengaruhi kohesi sosial akibat perbedaan persepsi antara masyarakat yang terdampak langsung dan tidak langsung, terutama terkait kompensasi dan bantuan (Umar et al., 2024).

Dalam konteks masyarakat Kecamatan Minas, yang sebagian besar memiliki ketergantungan ekonomi pada sektor pertanian dan perkebunan sawit, tumpahan minyak memperburuk kerentanan sosial yang telah ada. Ketergantungan pada satu komoditas utama membuat masyarakat tidak memiliki banyak alternatif ketika sumber pendapatan terganggu (Fitriani et al., 2023). Oleh karena itu, tumpahan minyak bukan sekadar masalah lingkungan, tetapi juga memunculkan dampak sosial yang mencakup turunnya kualitas hidup, meningkatnya beban psikologis, menurunnya pendapatan, serta potensi munculnya konflik sosial di tingkat komunitas.

### **3. Kondisi Ekonomi Masyarakat PKM 15.800 Lukut**

Hasil analisis karakteristik sosial ekonomi responden menunjukkan bahwa sebagian besar responden menempati rumah milik pribadi (60%), sementara sisanya tinggal di rumah sewa (40%). Kondisi bangunan tempat tinggal responden pada umumnya tergolong permanen (54%), dengan luas hunian dominan berada pada kisaran 50–100 m<sup>2</sup>. Dari aspek kualitas fisik bangunan, mayoritas rumah telah menggunakan lantai keramik (87%) serta memiliki dua kamar tidur atau lebih, yang mencerminkan tingkat kenyamanan hunian yang relatif memadai. Ditinjau dari aspek sanitasi, sebagian besar responden telah memiliki fasilitas sanitasi dasar yang layak. Sumber air untuk kebutuhan mandi, cuci, dan kakus (MCK) umumnya berasal dari sumur, baik sumur bor maupun sumur gali, dan mayoritas rumah telah dilengkapi dengan fasilitas jamban/WC (100%). Sementara itu, sebagian besar penggunaan air bersih bersumber dari sumut yaitu sebesar 100%. Untuk kebutuhan air sehari-hari, termasuk air minum, responden umumnya mengandalkan air sumur bor (100%). Kondisi ini menunjukkan bahwa akses terhadap air bersih masih bergantung pada sumber air tanah. Dari sisi penggunaan energi, seluruh rumah tangga responden telah teraliri listrik dari PLN (100%) dan menggunakan gas LPG sebagai sumber energi utama untuk kebutuhan rumah tangga (100%). Hal ini mengindikasikan bahwa akses terhadap energi dasar di wilayah penelitian tergolong sangat baik.

Berdasarkan tingkat pendapatan, responden memiliki pendapatan bulanan rata-rata setara dan di atas Upah Minimum Provinsi (UMP) Riau tahun 2023, dengan kisaran pendapatan antara Rp4.000.000 hingga Rp7.500.000 per bulan. Nilai UMP Provinsi Riau tahun 2025 ditetapkan sebesar Rp. 3.508.776 berdasarkan Keputusan Gubernur Riau tentang Upah Minimum Provinsi Riau Tahun 2025. Tingkat pendapatan yang relatif tinggi tersebut berkontribusi terhadap kemampuan responden dalam memenuhi kebutuhan hidup serta memiliki berbagai peralatan penunjang aktivitas sehari-hari. Dalam hal mobilitas, hampir seluruh responden memiliki sarana transportasi pribadi, dengan jenis kendaraan yang paling umum dimiliki adalah sepeda motor (38%). Selain itu, seluruh responden (100%) telah memiliki telepon genggam sebagai sarana komunikasi, yang mencerminkan tingkat aksesibilitas teknologi komunikasi yang baik di wilayah penelitian.

Masyarakat di sekitar PKM 15.800 Lukut merasakan adanya dampak ekonomi akibat tumpahan minyak (oil spill), meskipun tidak sampai menimbulkan kerugian yang signifikan. Aktivitas ekonomi harian, seperti berdagang dan bekerja di sektor jasa, tetap berjalan

sebagaimana biasanya. Namun, perkebunan kelapa sawit yang menjadi salah satu sumber pendapatan utama masyarakat mengalami pengaruh langsung. Hal ini terlihat dari penurunan hasil panen sawit di beberapa lahan yang terdampak tumpahan minyak. Menurut Yuliasari (2019), tumpahan minyak dapat menghambat proses fisiologis tanaman dan menurunkan produktivitas lahan. Penelitian lain oleh Ramadhan & Putra (2021) juga menunjukkan bahwa paparan minyak pada tanah berpotensi mengurangi hasil panen dan menurunkan kualitas produksi. Temuan ini sejalan dengan kondisi di lapangan, di mana sebagian lahan sawit di sekitar lokasi mengalami penurunan hasil panen setelah kejadian tumpahan minyak. Pada kondisi normal, kelapa sawit berusia 7–8 tahun dipanen dua kali dalam sebulan dengan rata-rata produksi mencapai 1,75–3 ton tandan buah segar (TBS). Pendapatan normal berkisar Rp4.000.000–Rp7.500.000 per bulan. Namun, pascatumpahan minyak yang terjadi pada area perkebunan seluas 3,5 hektar, produktivitas tanaman sawit yang mulai memasuki usia 9–10 tahun menunjukkan penurunan yang cukup mencolok meskipun pemupukan tetap dilakukan secara rutin. Produksi yang sebelumnya dapat mencapai beberapa ton kini mengalami selisih penurunan sebesar 600–800 kg per bulan atau kerugian pendapatan per bulan yaitu Rp1.500.000–Rp2.000.000 (Gambar 4.3). Kondisi ini menyebabkan pendapatan bersih petani menurun menjadi Rp2.000.000–Rp6.500.000 per bulan, tergantung pada tingkat produksi awal. Penurunan ini sesuai dengan penelitian Nurhayati et al. (2019) yang mengungkapkan bahwa kontaminasi minyak dapat merusak struktur tanah dan mengurangi ketersediaan unsur hara esensial bagi tanaman. Pratama dan Sari (2021) juga menyatakan bahwa paparan minyak pada permukaan tanah dapat memicu stres fisiologis pada pohon sawit, sehingga menghambat proses pembentukan tandan buah segar. Selain itu, Lestari (2023) menambahkan bahwa kerusakan mikroorganisme tanah akibat paparan minyak turut berkontribusi terhadap menurunnya produktivitas tanaman perkebunan.

Secara ekonomi penurunan produksi kelapa sawit menjadi isu yang cukup signifikan bagi petani, terutama bagi mereka yang bergantung pada perkebunan sawit sebagai sumber pendapatan utama. Meskipun penurunan ini tidak menghilangkan pendapatan secara keseluruhan, efeknya tetap dirasakan dalam bentuk berkurangnya pendapatan bulanan. Kondisi ini dapat memengaruhi stabilitas ekonomi keluarga, terutama pada masyarakat yang memiliki tingkat diversifikasi pendapatan yang rendah (Hassan & Widodo, 2020; Rahmadani & Yusuf, 2022).. Selain itu, pemulihan lahan yang terkontaminasi minyak sering kali memerlukan waktu berbulan-bulan hingga bertahun-tahun, sehingga petani harus menghadapi periode produksi rendah dalam jangka waktu yang cukup panjang. Dengan demikian, dampak tumpahan minyak tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga memiliki implikasi ekonomi dan sosial yang luas. Upaya pemulihan lahan melalui bioremediasi, penambahan bahan organik, serta pemulihan populasi mikroorganisme tanah menjadi langkah penting untuk mengembalikan produktivitas perkebunan sawit di wilayah terdampak (Sutrisno & Ardiansyah, 2024).

#### **Kualitas Air Tanah pada Lokasi PKM 15.800 Lukut**

Pemantauan kualitas air tanah pada lokasi penelitian dilakukan secara berkala pada tahun 2022, 2023, dan 2025 dengan menganalisis parameter Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) fraksi ringan (C6–C9) dan fraksi berat (C10–C36). Analisis laboratorium dilakukan menggunakan metode baku United States Environmental Protection Agency (USEPA), yaitu USEPA Method 8015D untuk fraksi C10–C36 dan USEPA Method 8260D untuk fraksi C6–C9. Metode ini merupakan metode standar yang umum digunakan untuk mendeteksi

keberadaan senyawa hidrokarbon minyak bumi dalam media air tanah dan air permukaan (USEPA, 2003; USEPA, 2018). Data hasil analisis sampel air tanah Lokasi PKM 15.800 Lukut dilampirkan pada Tabel 4.4 dan Lampiran 4, Lampiran 5, Lampiran 6.

**Tabel 4. Hasil Analisis Sampel Air Tanah Pada Lokasi PKM 15.800 Lukut**

Parameter yang dianalisis	Method	Laboratory sample ID sampling Date/Time		Sumur Upstream 1 (SPU-1)	Sumur Downstream 1 (SPD-1)	Sumur Pantau Downstream 1 (SPD-2)	Rumah warga
		LOR	Unit				
<b>Pemantauan Tahun 2022</b>							
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	100	$\mu\text{g/L}$	114	<100	<100	-
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	250	$\mu\text{g/L}$	-	-	-	-
Total Petroleum Hydrocarbon (C6-C9)	USEPA Method 8260D, 2018	50	$\mu\text{g/L}$	<50	<50	<50	-
<b>Pemantauan Tahun 2023</b>							
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	100	$\mu\text{g/L}$	<100	<100	<100	-
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	250	$\mu\text{g/L}$	-	-	-	-
Total Petroleum Hydrocarbon (C6-C9)	USEPA Method 8260D, 2018	50	$\mu\text{g/L}$	<50	<50	<50	-
<b>Pemantauan Tahun 2025</b>							
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	100	$\mu\text{g/L}$	<100	<100	<100	-
Total Petroleum Hydrocarbon (C10-C36)	USEPA Method 8015D, 2003	250	$\mu\text{g/L}$	-	-	-	<250
Total Petroleum Hydrocarbon (C6-C9)	USEPA Method 8260D, 2018	50	$\mu\text{g/L}$	<50	<50	<50	<50

Sumber: Hasil analisis laboratorium, 2025

Berdasarkan hasil pemantauan tahun 2022, konsentrasi TPH fraksi C10–C36 pada Sumur Upstream 1 (SPU-1) tercatat sebesar 114  $\mu\text{g/L}$ , yang melebihi baku mutu 100  $\mu\text{g/L}$  namun masih berada di bawah ambang batas 250  $\mu\text{g/L}$ . Sementara itu, pada Sumur Downstream 1 (SPD-1) dan Sumur Pantau Downstream 2 (SPD-2), konsentrasi TPH fraksi C10–C36 berada di bawah batas deteksi (<100  $\mu\text{g/L}$ ). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada periode tersebut masih terdapat residu hidrokarbon berat pada area hulu, yang diduga berkaitan dengan sisa dampak tumpahan minyak bumi atau akumulasi pencemaran historis di sekitar sumber aktivitas migas. Pola ini sejalan dengan karakteristik hidrokarbon berat yang cenderung terakumulasi di dekat sumber pencemar dan memiliki mobilitas yang relatif rendah dalam media air tanah (Hoang et al., 2021; ITRC, 2011). Untuk fraksi hidrokarbon ringan (C6–C9), seluruh titik pemantauan menunjukkan konsentrasi di bawah batas deteksi (<50  $\mu\text{g/L}$ ). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa hidrokarbon volatil relatif tidak terakumulasi dalam air tanah, yang kemungkinan disebabkan oleh sifatnya yang mudah menguap, mudah terdispersi, serta mengalami degradasi alami melalui proses fisika-kimia dan biodegradasi oleh mikroorganisme tanah (Atlas & Philp, 2005; Sutopo et al., 2019).

Hasil pemantauan tahun 2023 menunjukkan adanya perbaikan kondisi kualitas air tanah. Seluruh titik pemantauan, baik SPU-1, SPD-1, maupun SPD-2, memiliki konsentrasi TPH

fraksi C10–C36 di bawah baku mutu 100 µg/L, dan konsentrasi TPH fraksi C6–C9 tetap berada di bawah batas deteksi (<50 µg/L). Penurunan konsentrasi ini mengindikasikan bahwa proses pemulihan alami (natural attenuation), yang meliputi biodegradasi, dispersi, dan adsorpsi hidrokarbon pada matriks tanah, serta upaya pengelolaan lingkungan yang telah dilakukan, mulai menunjukkan efektivitas dalam menurunkan tingkat kontaminasi hidrokarbon di air tanah (ITRC, 2011; Weng et al., 2019). Temuan ini juga memperkuat dugaan bahwa tidak terjadi penambahan sumber pencemar baru selama periode pemantauan.

Pada pemantauan tahun 2025, konsentrasi TPH fraksi C10–C36 pada SPU-1, SPD-1, dan SPD-2 tetap berada di bawah baku mutu 100 µg/L. Namun, pada sampel air tanah dari rumah warga, konsentrasi TPH fraksi C10–C36 terdeteksi di bawah ambang 250 µg/L (<250 µg/L). Meskipun masih memenuhi kriteria baku mutu, temuan ini menunjukkan adanya indikasi jejak hidrokarbon berat di area permukiman, yang perlu mendapat perhatian dalam konteks perlindungan kesehatan masyarakat dan pengelolaan lingkungan berbasis kehati-hatian (Fetter, 2018; Sari & Kurniawan, 2021). Keberadaan TPH dengan konsentrasi rendah pada sumur warga dapat dipengaruhi oleh arah aliran air tanah, kondisi hidrogeologi setempat, serta potensi migrasi kontaminan dari area terdampak menuju zona pemanfaatan air tanah oleh masyarakat (Fetter, 2018; Rahmawati & Putra, 2020). Oleh karena itu, pemantauan lanjutan secara periodik tetap diperlukan untuk memastikan bahwa kualitas air tanah tetap aman digunakan dalam jangka panjang. Untuk fraksi C6–C9, seluruh titik pemantauan pada tahun 2025 menunjukkan hasil di bawah batas deteksi (<50 µg/L), termasuk pada sumur rumah warga. Kondisi ini menegaskan bahwa risiko paparan hidrokarbon ringan yang bersifat toksik dan volatil relatif rendah serta menunjukkan stabilitas kualitas air tanah dari aspek hidrokarbon ringan (Atlas & Philp, 2005; Fitriani et al., 2023).

Nilai Limit of Reporting (LOR) yang diterapkan dalam penelitian ini adalah <50 µg/L untuk TPH fraksi ringan (C6–C9), <100 µg/L untuk TPH fraksi berat (C10–C36), serta <250 µg/L pada pengujian konfirmasi fraksi berat di titik rumah warga. Tidak terdeteksinya TPH di atas ambang batas tersebut menunjukkan bahwa kualitas air tanah pada seluruh titik pengambilan sampel masih berada dalam kondisi aman dan belum mengindikasikan adanya kontaminasi hidrokarbon yang signifikan pada saat pengujian. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa konsentrasi hidrokarbon di bawah LOR umumnya tidak menimbulkan dampak toksik langsung serta mencerminkan kondisi lingkungan yang tidak terpapar pencemaran minyak secara akut (Fitriani et al., 2023; Wibowo & Hakim, 2025). Pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik sumur pantau, yaitu SPU-1 (upstream), SPD-1 dan SPD-2 (downstream), serta satu titik tambahan di area rumah warga. Penempatan titik upstream berfungsi sebagai kontrol kondisi awal air tanah, sedangkan titik downstream digunakan untuk mengevaluasi potensi migrasi kontaminan mengikuti arah aliran air tanah. Konfigurasi ini memungkinkan analisis perbedaan konsentrasi polutan antara bagian hulu dan hilir, sehingga distribusi dan potensi persebaran kontaminasi hidrokarbon di lingkungan bawah permukaan dapat dievaluasi secara komprehensif (Rahmawati & Putra, 2020; Yuliani et al., 2019). Penambahan titik rumah warga dilakukan untuk menilai potensi risiko lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat kemungkinan pemanfaatan air tanah untuk kebutuhan domestik (Sari & Kurniawan, 2021). Parameter utama yang dianalisis adalah Total Petroleum Hydrocarbon (TPH), yang dikelompokkan ke dalam fraksi ringan (C6–C9) dan fraksi berat (C10–C36). Fraksi C6–C9 bersifat volatil dan mudah larut dalam air sehingga

sering digunakan sebagai indikator awal kontaminasi baru, sedangkan fraksi C10–C36 lebih stabil, persisten, dan representatif untuk mendeteksi pencemaran jangka panjang atau kronis (Anshari et al., 2022) (Hoang et al., 2021). Perbedaan karakteristik kedua fraksi ini berimplikasi langsung pada pendekatan pemantauan dan evaluasi risiko lingkungan.

Analisis laboratorium dilakukan menggunakan metode USEPA 8260D (GC–MS) untuk fraksi ringan dan USEPA 8015D (GC–FID) untuk fraksi berat. Pemilihan metode ini disesuaikan dengan sifat fisikokimia senyawa target, di mana fraksi ringan memerlukan sensitivitas tinggi, sedangkan fraksi berat lebih efektif dianalisis dengan metode yang dirancang untuk senyawa non-volatil dan bermassa molekul tinggi (USEPA, 2003; USEPA, 2018; Weng et al., 2019). Penggunaan kedua metode secara simultan memberikan gambaran menyeluruh terhadap potensi kontaminasi, baik yang bersifat baru maupun persisten. Variasi nilai LOR (50, 100, dan 250 µg/L) mencerminkan batas teknis terendah yang dapat dilaporkan secara andal oleh laboratorium, yang dipengaruhi oleh metode analisis, karakteristik senyawa, dan kondisi matriks sampel. LOR yang berbeda memberikan fleksibilitas dalam interpretasi data serta mendukung pendekatan pengelolaan risiko berbasis kehati-hatian tanpa mengurangi validitas hasil analisis (Currie, 1995; Thompson & Ellison, 2013).

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas air tanah di lokasi penelitian masih memenuhi kriteria keamanan lingkungan berdasarkan parameter TPH yang dianalisis. Meskipun lokasi memiliki potensi paparan aktivitas migas, tidak ditemukannya konsentrasi TPH di atas batas pelaporan menandakan tidak adanya indikasi pencemaran hidrokarbon yang berdampak terhadap lingkungan maupun kesehatan masyarakat pada saat pemantauan dilakukan.

### **Strategi Pemantauan dan Pengelolaan Kualitas Air Tanah Pada Area Pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM)**

Analisis strategi pemantauan dalam penelitian ini menggunakan analisis SWOT. Metode ini mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi internal dan eksternal dari objek penelitian secara sistematis dan terstruktur. Menurut Saputra (2023) dan Nurcahya (2020), SWOT efektif digunakan untuk merumuskan strategi berbasis data faktual sehingga dapat menggambarkan kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman secara menyeluruh dalam konteks perencanaan pengelolaan lingkungan. Proses analisis ini diawali dengan penentuan tujuan yang spesifik, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi faktor internal maupun eksternal yang berpengaruh terhadap pencapaian tujuan tersebut. Hal ini sejalan dengan pendapat Nafi'ah (2022) yang menekankan bahwa pengelompokan faktor internal dan eksternal menjadi fondasi penting dalam menentukan alternatif strategi yang tepat.

Pada penelitian ini, matriks IFAS digunakan untuk menilai faktor-faktor internal yang mempengaruhi pengelolaan kualitas air tanah dan aspek lingkungan lainnya. Variabel pada IFAS meliputi seluruh aspek yang menjadi kekuatan dan kelemahan sistem pengelolaan yang sedang dianalisis. Berdasarkan hasil perhitungan IFAS, nilai total variabel kekuatan sebesar 1,14, sedangkan total variabel kelemahan sebesar 0,90, sehingga menghasilkan skor IFAS akhir sebesar 0,23. Nilai positif tersebut menunjukkan bahwa kekuatan internal lebih dominan dibandingkan kelemahannya. Skor ini kemudian digunakan sebagai koordinat sumbu X dalam penentuan posisi strategi pada kuadran SWOT (lihat Tabel 4.5), yang selanjutnya berfungsi sebagai dasar dalam merumuskan strategi pengelolaan yang paling realistis dan efektif untuk diterapkan.

Dalam implementasinya, analisis SWOT dihitung melalui penggunaan matriks IFAS (Internal Factor Analysis Strategy) dan matriks EFAS (External Factor Analysis Strategy), yang masing-masing berfungsi untuk menilai bobot pengaruh setiap faktor terhadap sistem yang diteliti. Menurut Hasbiah et al. (2023), kedua matriks ini merupakan alat penting untuk menerjemahkan data kualitatif ke dalam bentuk kuantitatif sehingga memudahkan penentuan posisi strategi melalui diagram kuadran. Faktor internal yang tertuang dalam matriks IFAS terdiri dari kekuatan (strengths) dan kelemahan (weaknesses), sementara matriks EFAS mencakup peluang (opportunities) dan ancaman (threats). Dalam konteks analisis lingkungan, Werdi (2022) menjelaskan bahwa pembeda utama antara faktor internal dan eksternal terletak pada apakah variabel tersebut dapat dikendalikan atau tidak oleh pengelola lingkungan. Matriks EFAS (External Factor Analysis Strategy) digunakan untuk memetakan berbagai faktor eksternal yang memengaruhi suatu objek analisis, dalam hal ini kualitas air tanah di kawasan penelitian. Matriks ini terdiri atas dua kategori utama, yaitu peluang (opportunities) dan ancaman (threats), yang bersumber dari dinamika sosial, ekonomi, lingkungan, serta kebijakan yang berada di luar kendali langsung pengelola (Hasbiah et al., 2023). Penilaian terhadap faktor eksternal menjadi krusial karena kualitas lingkungan, termasuk air tanah, sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi eksternal seperti aktivitas industri, perubahan iklim, regulasi, maupun tekanan pemanfaatan lahan (Pratama & Yuliani, 2021). Menurut Wijaya (2020), matriks EFAS membantu peneliti mengidentifikasi elemen-elemen strategis yang perlu diperhatikan untuk mengurangi risiko sekaligus memaksimalkan peluang peningkatan kondisi lingkungan.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.6, total skor variabel peluang mencapai 1,54, sedangkan total skor ancaman sebesar 0,64, sehingga menghasilkan total EFAS sebesar 0,91. Nilai tersebut menunjukkan bahwa peluang yang tersedia bagi upaya pengelolaan dan perlindungan kualitas air tanah lebih besar dibandingkan ancaman yang dapat memperburuk kondisi lingkungan. Kondisi ini sejalan dengan pandangan Sari et al. (2022) yang menyatakan bahwa tingginya skor peluang dalam EFAS mencerminkan adanya ruang strategis untuk meningkatkan efektivitas program pengelolaan lingkungan, terutama ketika didukung oleh kebijakan pemerintah, kapasitas kelembagaan, serta partisipasi masyarakat.

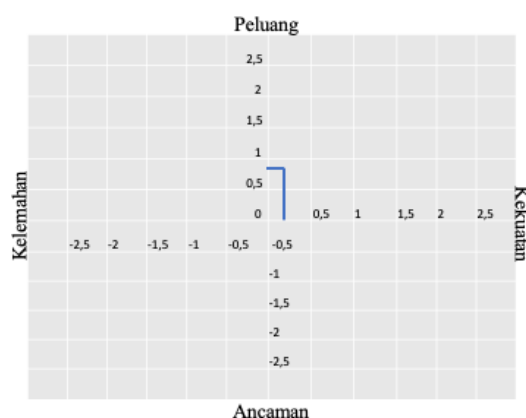
Berdasarkan persepsi masyarakat di lokasi penelitian yang pernah mengalami pencemaran air tanah akibat kontaminasi minyak namun saat ini telah dinyatakan aman, terlihat bahwa kondisi internal wilayah menunjukkan sejumlah kekuatan yang mendukung keberhasilan pemulihan lingkungan, seperti ketersediaan sumber daya masyarakat, peran aktif kelompok dan tokoh masyarakat, meningkatnya tingkat pengetahuan lingkungan, serta dukungan infrastruktur dan sumber daya alam lokal yang memadai, sebagaimana literatur menyatakan bahwa keterlibatan komunitas dan mekanisme pengelolaan yang terintegrasi dapat memperkuat kapasitas lokal dalam menghadapi pencemaran sumber daya air (Alao et al., 2025).

Meskipun demikian, masyarakat juga mengakui adanya beberapa kelemahan yang pernah dirasakan pada fase awal pencemaran termasuk keterbatasan informasi, hambatan teknis dan sosial, serta keterbatasan ekonomi yang pada akhirnya dapat diatasi seiring meningkatnya kesadaran serta kapasitas masyarakat sesuai dengan temuan kajian kontaminasi dan remediasi air tanah yang menekankan pentingnya pendekatan berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya air (Islam & Quareshi, 2024).

Dari sisi eksternal, terdapat peluang besar untuk menjaga dan meningkatkan kualitas air tanah serta lingkungan melalui dukungan kebijakan dan program pemerintah, keterlibatan pihak swasta, pengembangan kegiatan ekonomi ramah lingkungan, serta kerja sama dengan lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan organisasi nonpemerintah, sejalan dengan literatur kajian pencemaran hidrokarbon yang mendorong penggunaan sumber daya lokal dalam remediasi lingkungan (Arghiropol et al., 2025). Namun demikian, masyarakat tetap memandang adanya ancaman yang perlu diantisipasi, antara lain aktivitas manusia yang berpotensi memicu pencemaran ulang serta risiko perubahan iklim terhadap keberlanjutan lingkungan, yang menunjukkan kebutuhan pengelolaan dan pemantauan lingkungan secara berkelanjutan untuk memastikan bahwa kondisi air tanah tetap aman di masa mendatang.

Hasil analisis selanjutnya menggunakan diagram matriks grand strategy untuk menunjukkan bahwa posisi gabungan faktor internal (IFAS) dan faktor eksternal (EFAS) berada pada Kuadran I, yaitu kombinasi Strength–Opportunity (S–O). Posisi ini mengindikasikan bahwa lokasi penelitian memiliki kekuatan internal yang dominan serta menghadapi peluang eksternal yang besar. Dengan kondisi tersebut, strategi yang paling tepat diterapkan adalah strategi agresif (*aggressive strategy*), yakni strategi yang mengoptimalkan seluruh kekuatan untuk memaksimalkan peluang yang tersedia. Strategi ini banyak direkomendasikan dalam kajian manajemen lingkungan karena memungkinkan percepatan pencapaian tujuan melalui pemanfaatan kapasitas internal yang kuat bersamaan dengan momentum peluang eksternal yang mendukung (Hasbiah et al., 2023; Saputra, 2023).

Setelah posisi strategi pada Kuadran I diketahui, langkah selanjutnya yaitu melakukan penggabungan antara faktor-faktor IFAS dan EFAS guna menghasilkan alternatif strategi yang relevan untuk diterapkan pada pengelolaan serta pemantauan kualitas air tanah di area pemulihan tanah terkontaminasi minyak bumi (TTM). Proses kombinasi tersebut menghasilkan rumusan kebijakan strategis yang dapat mendukung efektivitas pelaksanaan monitoring kualitas air tanah, terutama dalam konteks pengelolaan pasca pemulihan pada lokasi PKM 15.800 Lukut. Pada tahap ini, kombinasi faktor internal–eksternal menjadi dasar dalam merumuskan strategi praktis yang sesuai dengan kondisi lapangan dan arah pengembangan kebijakan lingkungan (Nafi’ah, 2022; Werdi, 2022)



**Gambar 4.4 Matriks Grand Strategi Pengelolaan dan Pemantauan Kualitas Air Tanah Pada Area Pemulihan Tanah Terkontaminasi Minyak (TTM) di Lokasi PKM 15.800 Lukut, Kabupaten Siak, Provinsi Riau.**

Berdasarkan interpretasi matriks grand strategy pada Gambar 4.4, posisi pada Kuadran I menunjukkan bahwa organisasi atau entitas pengelola memiliki kapasitas internal yang kuat, seperti ketersediaan perangkat monitoring dan metodologi evaluasi yang baku. Sementara itu, peluang eksternal berupa dukungan regulasi pemerintah, peningkatan kesadaran publik mengenai kualitas lingkungan, dan kemudahan kolaborasi dengan lembaga swasta maupun akademik turut memperkuat urgensi penerapan strategi agresif (Nurchaya, 2020; Putri & Hidayat, 2021). Dengan demikian, strategi pengelolaan kualitas air tanah dapat diarahkan untuk memperluas cakupan monitoring, meningkatkan akurasi deteksi kontaminan, serta mendorong transparansi pelaporan kepada publik maupun instansi pengawas.

Strategi S–O (Strength–Opportunity) menggunakan kekuatan internal secara optimal untuk memanfaatkan peluang eksternal yang tersedia. Misalnya, pemanfaatan teknologi pemantauan air tanah yang modern untuk mendukung agenda pemantauan reguler yang diwajibkan pemerintah. Pendekatan ini relevan dengan kajian manajemen lingkungan modern yang menekankan integrasi teknologi dan kebijakan dalam pengawasan sumber daya air (Rahmadani et al., 2019; Lestari & Nugroho, 2024)

Strategi S–T (Strength–Threats) memanfaatkan kekuatan internal guna mengatasi atau meminimalkan dampak ancaman eksternal, seperti potensi perubahan kebijakan, keterbatasan sumber daya, atau risiko pencemaran ulang. Strategi ini penting dalam konteks pengelolaan wilayah pasca pemulihan TTM agar mampu menjaga stabilitas lingkungan meskipun terdapat dinamika eksternal (Hasibuan et al., 2023).

Strategi W–O (Weakness–Opportunities) mengatasi kelemahan internal dengan memanfaatkan peluang eksternal. Contohnya, meningkatkan kapasitas sumber daya manusia dengan memanfaatkan program pelatihan atau dukungan teknis dari lembaga penelitian, universitas, atau pemerintah.

Model ini sesuai dengan rekomendasi literatur bahwa penguatan kapasitas (capacity building) merupakan kunci keberhasilan monitoring lingkungan jangka panjang (Yuliani, 2020; Sari et al., 2022). Strategi W–T (Weakness–Threats) mencegah kelemahan internal agar tidak semakin diperburuk oleh ancaman eksternal. Strategi defensif ini umumnya berupa peningkatan prosedur operasional, pengetatan SOP, serta perbaikan tata kelola internal. Pendekatan ini sejalan dengan hasil studi manajemen risiko lingkungan yang menekankan mitigasi kelemahan demi menjaga keberlanjutan sistem monitoring (Wijaya & Prasetyo, 2025). Empat klasifikasi strategi tersebut kemudian dirumuskan ke dalam alternatif kebijakan yang tertera pada Tabel 4.7 sebagai dasar rekomendasi pengelolaan dan pemantauan kualitas air tanah di area pemulihan TTM PKM 15.800 Lukut.

Berdasarkan hasil analisis Matriks SWOT (Tabel 4.7), terdapat beberapa strategi utama yang dapat dirumuskan untuk mengoptimalkan kekuatan internal masyarakat dengan memanfaatkan peluang eksternal dalam upaya pemulihan kualitas lingkungan, khususnya air tanah pada wilayah yang terdampak kontaminasi minyak. Pertama, Mengintegrasikan kapasitas sumber daya masyarakat dengan peluang program lingkungan. Kekuatan berupa ketersediaan sumber daya masyarakat baik tenaga, pengalaman lokal, maupun pemahaman terhadap kondisi lingkungan dapat dioptimalkan melalui pemanfaatan berbagai program pemerintah dan inisiatif lingkungan. Integrasi ini memungkinkan pelaksanaan mitigasi dan remediasi secara lebih efektif serta mempercepat pemulihan kualitas air tanah. (Dwidjono, 2020; Kementerian LHK, 2021). Kedua Memperkuat peran aktif kelompok masyarakat dan

organisasi lingkungan dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan dukungan pemerintah maupun sektor swasta sebagai sumber pendanaan dan capacity building. Langkah ini penting untuk memperluas cakupan pengawasan, meningkatkan kualitas intervensi, dan memperkuat kelembagaan lingkungan di tingkat lokal. Pendekatan ini sejalan dengan temuan bahwa kolaborasi masyarakat–pemerintah mampu meningkatkan tata kelola lingkungan secara signifikan (Fitriyani & Nugroho, 2019). Ketiga, strategi penting lainnya adalah Mendorong pemanfaatan pengetahuan lokal dalam implementasi kebijakan perlindungan lingkungan. Pengetahuan masyarakat mengenai karakteristik tanah, sumber air, dan pola kontaminasi dapat dijadikan basis ilmiah dalam penerapan kebijakan perlindungan lingkungan. Hal ini akan memperkuat tata kelola air tanah serta meningkatkan efektivitas program pengendalian pencemaran di wilayah terdampak (Satria, 2020; Chambers, 2019). Keempat, Mengoptimalkan peran tokoh masyarakat sebagai agen perubahan dalam program remediasi dan edukasi lingkungan. Dengan memanfaatkan legitimasi sosial yang dimiliki, penyebaran informasi terkait perubahan perilaku, pencegahan pencemaran ulang, dan pentingnya pemantauan lingkungan dapat dilakukan secara lebih persuasif dan adaptif. (Hidayat, 2022).

Selanjutnya, strategi kelima yaitu Memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam lokal dan investasi hijau untuk mendukung teknologi remediasi sehingga proses remediasi dapat dilakukan dengan pendekatan teknologi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Strategi ini juga berpotensi mendorong transformasi ekonomi lokal menuju praktik yang lebih berorientasi pada keberlanjutan (UNEP, 2020).

Terakhir, strategi keenam Mengembangkan jaringan kemitraan antara masyarakat, perguruan tinggi, lembaga penelitian, dan NGO untuk penguatan inovasi remediasi. Dukungan infrastruktur lokal dan kemudahan aksesibilitas dapat dimanfaatkan untuk membangun kolaborasi riset dan pelatihan dengan lembaga akademik maupun organisasi non-pemerintah. Kemitraan ini berfungsi mempercepat pengembangan teknologi remediasi, meningkatkan kapasitas masyarakat, serta memperluas basis ilmu pengetahuan dalam pengelolaan kualitas air tanah (Astuti & Prasetyo, 2021).

## **KESIMPULAN**

Tumpahan minyak bumi di kawasan PKM 15.800 Lukut terbukti memberikan dampak terhadap aspek ekologi, sosial, dan ekonomi masyarakat. Secara ekologis, pencemaran minyak mengganggu struktur dan fungsi ekosistem yang ditandai dengan dominasi vegetasi pionir, perubahan komposisi flora dan fauna, serta indikasi suksesi ekologis pada tahap pemulihan. Dari aspek sosial dan ekonomi, kejadian ini menimbulkan keresahan masyarakat serta menurunkan produktivitas dan pendapatan petani, khususnya pada sektor perkebunan kelapa sawit. Meskipun demikian, hasil pemantauan menunjukkan bahwa kualitas air tanah pasca pengangkatan tanah terkontaminasi minyak secara umum berada dalam kondisi aman berdasarkan parameter Total Petroleum Hydrocarbon (TPH), dengan konsentrasi TPH pada seluruh sumur pantau hingga tahun 2025 berada di bawah baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa upaya pemulihan yang dilakukan cukup efektif dalam menurunkan tingkat kontaminasi. Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang direkomendasikan adalah strategi agresif (Strength–Opportunity) melalui penguatan sistem pemantauan lingkungan, pemanfaatan teknologi monitoring, kolaborasi multipihak, serta pemantauan berkala untuk memastikan keberlanjutan kualitas air tanah.

## REFERENSI

- Al-Ghussain, L., & Jenner, S. (2020). Social and psychological impacts of oil pollution in rural communities. *Journal of Environmental Psychology*, 69, 101428.
- Anshari, G. Z., Pramudya, B., & Nugroho, H. Y. S. (2022). Karakteristik fraksi hidrokarbon minyak bumi dan implikasinya terhadap pemantauan pencemaran lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 421–432.
- Ardiansyah, A., Wijaya, D., & Setiawan, B. (2023). Reservoir Characterization in the Central Sumatra Basin: Focus on Bekasap Formation. *Journal of Petroleum Geoscience*, 36(2), 210-225.
- Ardiansyah, A., Wijaya, D., dan Setiawan, B. (2023). Environmental Conservation Efforts in Peatland Ecosystems: The Case of Zamrud Area. *Journal of Environmental Management*, 45(3), 98-112.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Siak. (2023). Kabupaten Siak dalam Angka 2023. Siak Sri Indrapura: BPS Kabupaten Siak.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (2020). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish (2nd ed.). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2020). Elements of the nature and properties of soils (4th ed.). Pearson Education.
- Chen, Y., Liu, X., & Zhang, J. (2022). Effects of petroleum hydrocarbon contamination on soil properties and crop productivity. *Environmental Pollution*, 300, 118950.
- Dwidjono, H. (2020). Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan hidup berkelanjutan. *Jurnal Administrasi Publik*, 17(1), 45–58.
- Dzigbede, K. D., Pathak, R., & George, B. (2018). Environmental pollution and social participation: Evidence from affected communities. *Social Indicators Research*, 140(2), 685–703.
- Environmental Protection Agency EPA. (2021). Guidelines for Ecological Risk Assessment. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2020). Groundwater monitoring guidance for contaminated sites. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Fatimah, F. (2020). Teknik Analisis SWOT: Pedoman Menyusun Strategi yang Efektif dan Efisien. Yogyakarta: Anak Hebat Indonesia.
- Firdaus, H., & Wibowo, E. (2023). Degradation and Water Table Dynamics in Peatland Areas: A Study of Zamrud's Peat Domes. *Journal of Peatland Research*, 27(1), 76-89.
- Fitriani, D., Prasetyo, L. B., & Nugroho, H. Y. S. (2023). Respon vegetasi dan fauna terhadap gangguan lingkungan pada lahan terkontaminasi minyak bumi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 145–158.
- Giovanella, P., de Azevedo Duarte, L., Kita, D. M., de Oliveira, V. M., & Sette, L. D. (2021). Effect of biostimulation and bioaugmentation on hydrocarbon degradation and detoxification of diesel-contaminated soil: a microcosm study. *Journal of Microbiology*, 59(7), 634-643.
- Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., & Lin, T. R. (2021). Offshore Pipelines: Design, Installation, and Maintenance. Houston: Gulf Professional Publishing.
- Hakim, A. (2021). Reservoir Engineering of the Sihapas Group: Challenges and Opportunities in the Central Sumatra Basin. *Energy Exploration & Exploitation*, 39(4), 1002-1018.
- Hakim, A., Rachman, I., dan Wardani, T. (2020). Monitoring air tanah di wilayah terkontaminasi hidrokarbon menggunakan sensor digital: Studi kasus di Riau. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(3), 145-153.

- Handayani, A., Rahmawati, L., & Santoso, A. (2022). Peat Thickness and Carbon Storage Potential in Zamrud Peatland. *Journal of Carbon Management*, 34(2), 132-146.
- Hidayat, R., Sari, D. P., & Kurniawan, A. (2021). Peran vegetasi dan serangga sebagai indikator pemulihan ekosistem pascatumpahan minyak. *Jurnal Ekologi Tropis*, 6(1), 33–44.
- Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). (2020). *Petroleum Vapor Intrusion: Fundamentals of Screening, Investigation, and Management*. Washington, DC: ITRC.
- IPIECA. (2020). *Good practice guide for oil spill response*. London: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association.
- Islam, A., & Quareshi, A. R. (2024). Groundwater contamination and remediation: A review. *African Journal of Biomedical Research*, 27(2), 213–225.
- Kent, M. (2021). *Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach* (3rd ed.). Hoboken: Wiley-Blackwell.
- Keputusan Gubernur Riau. (2024). *Keputusan Gubernur Riau tentang Penetapan Upah Minimum Provinsi Riau Tahun 2025*. Pekanbaru: Pemerintah Provinsi Riau.
- Lal, R. (2020). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 9(2), e199.
- Leewis, M. C., Peijnenburg, W. J. G. M., & Vijver, M. G. (2024). Ecological recovery and bioindicators in oil-contaminated terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 332, 121957.
- Magurran, A. E., & McGill, B. J. (2020). *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*. Oxford: Oxford University Press.
- Mambwe, M., Kalebaila, K. K., & Johnson, T. (2021). Remediation technologies for oil contaminated soil. *Global J. Environ. Sci. Manage*, 7(3), 419-438.
- Mulyadi, H. (2020). Sedimentology and Stratigraphy of the Sihapas Group: Insights from Recent Drilling Data. *Geological Society of Indonesia Bulletin*, 50(2), 89-98.
- Mulyadi, R., & Hartono, A. (2021). Drilling Challenges in Deep Reservoirs: Case Study of Zamrud Area, Sumatra. *Journal of Drilling Technology*, 40(3), 123 137.
- Mustapha, M. A., Lawal, I. M., & Sadiq, A. (2020). Education level and community response to oil spill pollution. *Environmental Challenges*, 1, 100007.
- Nafi'ah, S. (2022). Analisis SWOT sebagai dasar perumusan strategi pengelolaan lingkungan. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Lingkungan*, 8(2), 97–109.
- Nielsen, D. M., & Nielsen, G. L. (2020). *The essential handbook of groundwater sampling*. Boca Raton, FL: CRC Press.