



## Strategi Rekayasa Pengelolaan Kualitas Air di Sub DAS Tiku Musi Rawas Utara

Alfirmansyah<sup>1\*</sup>, Insannul Kamil<sup>2</sup>, Dwi Eri Yanti<sup>3</sup>, Ummi Jayanti<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Indonesia

Email: [alfirmansyahlinggau@gmail.com](mailto:alfirmansyahlinggau@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [insannulkamil@eng.unand.ac.id](mailto:insannulkamil@eng.unand.ac.id)<sup>2</sup>, [hj.dwieriyanti@gmail.com](mailto:hj.dwieriyanti@gmail.com)<sup>3</sup>, [Ummmijayanti@gmail.com](mailto:Ummmijayanti@gmail.com)<sup>4</sup>

\*Penulis Korespondensi: [alfirmansyahlinggau@gmail.com](mailto:alfirmansyahlinggau@gmail.com)

**Abstract.** *This study aims to formulate an engineering strategy for water quality management and pollution control in the Tiku Sub-watershed, North Musi Rawas Regency. The study used a descriptive approach by integrating selected technical data from a dissertation-based assessment with semi-structured interviews involving 20 key informants representing technical agencies, village and subdistrict governments, community leaders, artisanal and small-scale gold mining actors, farmers, and riverbank communities. The analysis focused on water quality status, water availability and demand, pollution sources, perceived impacts, implementation constraints, and priority interventions. The results showed that the Tiku Sub-watershed is under significant environmental pressure. The average pollution index was 6.65, indicating a moderately polluted status, while mercury, cadmium, phosphate, and ammonia were the dominant parameters of concern. Surface water availability remained relatively adequate at 45,842,699.79 m<sup>3</sup>/year, and the average Criticality Ratio was 0.266; however, the water pollution carrying capacity was poor. Interview results indicated that mercury use and processing waste from artisanal gold mining were the most urgent issue (35%), followed by land-cover change and riparian degradation. The recommended strategy combines mercury-free processing technology, alternative livelihood development, cross-sectoral supervision, riparian rehabilitation, and transparent water-quality monitoring. The findings imply that watershed engineering should integrate technical, institutional, and socio-economic interventions.*

**Keywords:** *Artisanal Gold Mining; ASGM; Mercury; Pollution Control; Water Quality.*

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi rekayasa pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran di Sub DAS Tiku, Kabupaten Musi Rawas Utara. Kajian menggunakan pendekatan deskriptif dengan mengintegrasikan data teknis terpilih dari kajian disertasi dan wawancara semi-terstruktur terhadap 20 informan kunci yang mewakili instansi teknis, pemerintah kecamatan/desa, tokoh masyarakat, pelaku penambangan emas skala kecil, petani/perkebun, dan masyarakat sekitar sungai. Analisis diarahkan pada status kualitas air, ketersediaan dan kebutuhan air, sumber pencemar, dampak yang dirasakan, kendala implementasi, serta prioritas intervensi. Hasil menunjukkan bahwa Sub DAS Tiku berada dalam tekanan lingkungan nyata. Indeks pencemaran rata-rata mencapai 6,65 atau termasuk kategori tercemar sedang, dengan parameter utama berupa merkuri, kadmium, fosfat, dan amonia. Ketersediaan air permukaan masih relatif memadai, yaitu 45.842.699,79 m<sup>3</sup>/tahun, dan Criticality Ratio rata-rata 0,266; namun daya tampung pencemaran tergolong buruk. Hasil wawancara menempatkan penggunaan merkuri dan limbah pengolahan PESK sebagai isu paling mendesak (35%), diikuti perubahan tutupan lahan dan kerusakan sempadan. Strategi yang direkomendasikan adalah kombinasi teknologi pengolahan tanpa merkuri, penguatan ekonomi alternatif, pengawasan lintas sektor, rehabilitasi sempadan, dan monitoring kualitas air yang terbuka. Temuan ini menegaskan bahwa praktik keinsinyuran DAS perlu menggabungkan solusi teknis, kelembagaan, dan sosial-ekonomi secara bertahap.

**Kata kunci:** Kualitas Air; Merkuri; Pengendalian Pencemaran; PESK; Sub DAS Tiku.

### 1. LATAR BELAKANG

Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Tiku di Kabupaten Musi Rawas Utara memiliki fungsi ekologis, sosial, dan ekonomi yang penting karena menjadi bagian dari sistem tata air, sumber air masyarakat, dan ruang aktivitas ekonomi berbasis lahan. Dalam perspektif pengelolaan DAS, satuan hidrologis seperti Sub DAS perlu dipahami sebagai sistem yang menghubungkan proses limpasan, infiltrasi, erosi, sedimentasi, kualitas air, serta perilaku

pemanfaatan lahan. Karena itu, perubahan pada tutupan lahan atau masuknya beban pencemar di satu bagian wilayah dapat memengaruhi fungsi sungai pada bagian lain (Asdak, 2018; Basuki *et al.*, 2022).

Tekanan terhadap Sub DAS Tiku meningkat akibat perubahan tutupan lahan, perluasan aktivitas ekonomi berbasis lahan, serta berkembangnya penambangan emas skala kecil (PESK). Aktivitas tersebut menimbulkan tantangan ganda: di satu sisi masyarakat membutuhkan sumber penghidupan, tetapi di sisi lain penggunaan merkuri, pembuangan limbah pengolahan, dan kerusakan sempadan sungai menurunkan mutu air dan mengancam daya tampung lingkungan. Kajian terkini tentang PESK menunjukkan bahwa penggunaan merkuri tetap menjadi sumber utama risiko lingkungan dan kesehatan karena sifatnya persisten, toksik, dan berpotensi berubah menjadi metilmerkuri dalam sistem perairan (Keane *et al.*, 2023; Mulenga *et al.*, 2024; Taux *et al.*, 2022).

Pada konteks lokal, persoalan Sub DAS Tiku tidak dapat dilepaskan dari keberadaan aktivitas PESK di wilayah Musi Rawas Utara. Studi di Desa Suka Menang, Kecamatan Karang Jaya, menunjukkan bahwa aktivitas penambangan dan pengolahan emas skala kecil berasosiasi dengan kontaminasi merkuri pada air sumur, air sungai, dan kelompok masyarakat berisiko; sebanyak 66,1% responden memiliki kadar merkuri rambut di atas ambang  $1 \mu\text{g/g}$  yang digunakan USEPA sebagai indikator risiko (Jayanti, 2025). Temuan tersebut memperkuat urgensi pengendalian merkuri sebagai bagian dari strategi pengelolaan kualitas air di wilayah Sub DAS Tiku.

Secara konseptual, pengelolaan kualitas air tidak cukup hanya diarahkan pada pemenuhan kuantitas air. Sungai dapat memiliki ketersediaan air yang secara volumetrik masih memadai, tetapi tidak layak digunakan apabila kualitasnya menurun dan daya tampung pencemarannya rendah. Oleh sebab itu, pendekatan daya dukung dan daya tampung lingkungan menjadi penting untuk menilai batas aman pemanfaatan air, kapasitas asimilasi sungai, dan prioritas intervensi teknis maupun kelembagaan (Chapra, 2008; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021; World Bank, 2019).

Kebaruan artikel ini terletak pada penyusunan sintesis strategi rekayasa yang menghubungkan data teknis Sub DAS, hasil wawancara pemangku kepentingan, dan kebutuhan implementasi lapangan. Berbeda dengan kajian kualitas air yang hanya menampilkan status mutu atau indeks pencemaran, artikel ini menempatkan praktik keinsinyuran sebagai jembatan antara hasil analisis teknis dan tindakan operasional berupa penerapan teknologi tanpa merkuri, rehabilitasi sempadan, penguatan pengawasan, dan pengalihan pekerjaan PESK. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah merumuskan

strategi rekayasa pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran di Sub DAS Tiku secara integratif dan aplikatif.

## 2. KAJIAN TEORITIS

DAS dan Sub DAS merupakan satuan pengelolaan yang sesuai untuk menganalisis interaksi antara proses biofisik dan aktivitas manusia. Pendekatan berbasis DAS memungkinkan penelusuran hubungan antara perubahan tutupan lahan, peningkatan limpasan permukaan, erosi, sedimentasi, dan penurunan kualitas air. Dalam kerangka Integrated Water Resources Management, pengelolaan air perlu mengintegrasikan aspek hidrologi, tata guna lahan, kelembagaan, ekonomi, dan partisipasi masyarakat agar intervensi tidak bersifat parsial (Biswas, 2004; Global Water Partnership, 2010; Basuki *et al.*, 2022).

Konsep daya dukung lingkungan hidup menggambarkan kemampuan lingkungan menyediakan sumber daya bagi kegiatan manusia, sedangkan daya tampung lingkungan hidup menunjukkan kemampuan lingkungan menerima beban pencemar tanpa kehilangan fungsi dasarnya. Dalam sistem perairan, daya tampung erat dengan kapasitas asimilasi sungai, yaitu kemampuan badan air untuk mengencerkan, memindahkan, menguraikan, atau menahan pencemar melalui proses fisik, kimia, dan biologis. Ketika beban pencemar melebihi kapasitas tersebut, kualitas air turun dan risiko ekologis maupun kesehatan meningkat (Chapra, 2008; Metcalf & Eddy, 2014; OECD, 2015).

Pencemaran air pada wilayah yang dipengaruhi PESK umumnya berasal dari kombinasi pencemar kimia dan fisik. Merkuri menjadi perhatian utama karena digunakan dalam proses amalgamasi, mudah terlepas ke media lingkungan, dan dapat masuk ke rantai makanan. Selain merkuri, pembukaan lahan dan pengolahan material tambang juga meningkatkan erosi, kekeruhan, dan sedimentasi. Literatur terbaru menekankan bahwa intervensi PESK perlu mengombinasikan teknologi bebas merkuri, pembinaan penambang, tata kelola yang konsisten, serta strategi sosial-ekonomi karena keterlibatan masyarakat dalam PESK sering berkaitan dengan tekanan penghidupan (Keane *et al.*, 2023; Meutia *et al.*, 2023; Schwartz *et al.*, 2021).

Rehabilitasi sempadan sungai menjadi bagian penting dalam pengendalian pencemaran berbasis lanskap. Vegetasi riparian berperan sebagai zona penyangga yang menahan sedimen, mengurangi aliran nutrien ke badan air, memperbaiki habitat, dan menjaga stabilitas tebing. Bukti ekologis menunjukkan bahwa kawasan riparian berhutan memiliki fungsi perlindungan yang lebih baik dibanding sempadan yang terkonversi, sehingga konservasi dan pemulihan sempadan perlu ditempatkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan kualitas air (Gregory *et al.*, 1991; Dala-Corte *et al.*, 2026).

Dalam praktik keinsinyuran, solusi teknis tidak berdiri sendiri. Teknologi pengolahan yang lebih bersih akan efektif apabila sesuai dengan biaya, keterampilan, kebiasaan kerja, dan dukungan kelembagaan lokal. Teori difusi inovasi menjelaskan bahwa adopsi teknologi dipengaruhi oleh keunggulan relatif, kemudahan penggunaan, kesesuaian dengan nilai lokal, dan kemampuan untuk diuji secara bertahap. Oleh karena itu, strategi Sub DAS Tiku perlu menghubungkan rancangan teknologi dengan pemberdayaan ekonomi, pendampingan sosial, pengawasan, dan pemantauan kualitas air yang mudah dipahami publik (Rogers, 2003; Pretty, 2003; United Nations Development Programme, 2018).

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode wawancara dan telaah data teknis terpilih. Pendekatan deskriptif dipilih karena tujuan kajian bukan untuk menguji hubungan kausal secara statistik, melainkan menyusun pemahaman operasional mengenai kondisi Sub DAS Tiku, sumber tekanan pencemaran, dampak, kendala implementasi, dan arah strategi rekayasa. Data teknis utama yang digunakan meliputi status kualitas air, indeks pencemaran, ketersediaan air, komposisi kebutuhan air, Criticality Ratio, status daya tampung, dan skenario pengelolaan.

Lokasi kajian adalah Sub DAS Tiku, Kabupaten Musi Rawas Utara. Fokus pembahasan diarahkan pada isu kualitas air, pencemaran akibat PESK, perubahan tutupan lahan, kebutuhan dan ketersediaan air, serta intervensi pengelolaan yang dapat meningkatkan daya dukung dan daya tampung lingkungan. Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur terhadap 20 informan yang mewakili kelompok pemangku kepentingan utama. Komposisi informan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi Informan Wawancara.

No	Kelompok Informan	Jumlah (orang)	Persentase (%)
1	Instansi teknis kabupaten	4	20,00
2	Pemerintah kecamatan/desa	4	20,00
3	Tokoh masyarakat	3	15,00
4	Pelaku PESK	4	20,00
5	Petani/perkebun	3	15,00
6	Masyarakat sekitar sungai	2	10,00
	Jumlah	20	100,00

Wawancara diarahkan pada enam kelompok isu, yaitu kondisi mutu air dan pencemaran, sumber masalah dominan, dampak terhadap masyarakat, kondisi kelembagaan pengendalian, kelayakan penerapan teknologi ramah lingkungan, dan prioritas strategi pengelolaan. Setiap informan diminta menyampaikan satu jawaban utama pada setiap kelompok pertanyaan agar

tabulasi frekuensi dapat dibaca secara tegas. Data dianalisis melalui reduksi, pengelompokan tema, penyajian tabel, interpretasi, dan sintesis strategi rekayasa.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Kondisi Teknis Sub DAS Tiku

Data teknis menunjukkan bahwa Sub DAS Tiku berada dalam tekanan lingkungan yang nyata. Indeks pencemaran rata-rata sebesar 6,65 menempatkan status mutu air pada kategori tercemar sedang. Parameter kunci yang melampaui batas adalah merkuri, kadmium, fosfat, dan amonia. Kondisi tersebut menandakan bahwa tekanan pencemaran tidak hanya berasal dari satu sumber, melainkan dari kombinasi aktivitas PESK, limbah domestik, kegiatan pertanian, dan perubahan tutupan lahan. Dalam kerangka kualitas air, kombinasi logam berat dan parameter nutrisi perlu dipandang sebagai sinyal menurunnya kapasitas asimilasi sungai (Chapra, 2008; Metcalf & Eddy, 2014; Liu *et al.*, 2023).

**Tabel 2.** Ringkasan Data Teknis Utama Sub DAS Tiku.

No	Indikator	Nilai/Keterangan
1	Status kualitas air	Indeks pencemaran rata-rata 6,65; kategori tercemar sedang
2	Parameter kunci melebihi batas	Merkuri, kadmium, fosfat, dan amonia
3	Ketersediaan air permukaan rata-rata	45.842.699,79 m <sup>3</sup> /tahun
4	Komposisi kebutuhan air	98,38% kegiatan ekonomi berbasis lahan; 1,62% rumah tangga
5	Daya dukung air saat ini	Kategori sedang; Criticality Ratio rata-rata 0,266
6	Daya tampung air saat ini	Buruk
7	Arah skenario terbaik	Penerapan 100% teknologi ramah lingkungan

*Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).*

Tabel 2 menunjukkan bahwa persoalan utama Sub DAS Tiku bukan kekurangan air secara volumetrik. Ketersediaan air permukaan rata-rata masih mencapai 45.842.699,79 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan Criticality Ratio rata-rata sebesar 0,266 masih berada pada kategori sedang. Namun, daya tampung air tergolong buruk karena beban pencemar telah menekan kemampuan sungai dalam mempertahankan fungsi kualitasnya. Situasi seperti ini sejalan dengan konsep krisis kualitas air, yaitu kondisi ketika air masih tersedia secara fisik tetapi tidak dapat dimanfaatkan secara aman karena tidak memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan (World Bank, 2019; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

Dominasi kebutuhan air oleh kegiatan ekonomi berbasis lahan sebesar 98,38% menunjukkan bahwa pengelolaan Sub DAS Tiku harus diarahkan pada sumber tekanan utama di bentang lahan, bukan hanya pada kebutuhan rumah tangga. Dalam pengelolaan DAS terpadu, beban pencemar dan perubahan tata guna lahan perlu dikendalikan bersama karena keduanya saling memperkuat: kerusakan tutupan lahan meningkatkan limpasan dan

sedimentasi, sedangkan pencemar kimia menurunkan mutu badan air (Basuki *et al.*, 2022; Dala-Corte *et al.*, 2026).

### Isu Dominan Pengelolaan

Hasil wawancara menguatkan temuan teknis. Sebanyak 35% informan menempatkan penggunaan merkuri dan limbah pengolahan PESK sebagai isu paling mendesak. Posisi ini wajar karena merkuri merupakan pencemar prioritas pada wilayah pertambangan emas skala kecil dan memiliki risiko ekologis serta kesehatan yang tinggi. Literatur tentang PESK menunjukkan bahwa pengurangan merkuri tidak dapat hanya melalui larangan, tetapi harus disertai pengenalan teknologi alternatif, pembinaan pelaku, dan pengawasan distribusi bahan berbahaya (Keane *et al.*, 2023; Mulenga *et al.*, 2024; United Nations Environment Programme, 2019).

**Tabel 3.** Isu Dominan yang Dipandang Paling Mendesak.

No	Isu Dominan	Frekuensi	Persentase (%)	Peringkat
1	Penggunaan merkuri dan limbah pengolahan PESK	7	35,00	1
2	Perubahan tutupan lahan/kerusakan sempadan	4	20,00	2
3	Sedimentasi dan kekeruhan sungai	3	15,00	3
4	Lemahnya pengawasan dan penegakan aturan	3	15,00	3
5	Kurangnya teknologi ramah lingkungan yang terjangkau	2	10,00	4
6	Rendahnya kesadaran masyarakat	1	5,00	5
Jumlah		20	100,00	

*Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).*

Isu perubahan tutupan lahan dan kerusakan sempadan menempati urutan kedua dengan 20% jawaban. Temuan ini menunjukkan bahwa informan tidak melihat pencemaran hanya sebagai persoalan limbah, tetapi juga sebagai persoalan kerusakan lanskap. Kerusakan sempadan dapat mengurangi fungsi penyaringan alami, meningkatkan erosi, dan memperbesar masuknya sedimen ke sungai. Oleh karena itu, strategi pengendalian pencemaran harus memasukkan agenda konservasi sempadan, revegetasi, dan pembatasan aktivitas pada zona rentan (Gregory *et al.*, 1991; Basuki *et al.*, 2022).

Lemahnya pengawasan dan keterbatasan teknologi terjangkau menunjukkan adanya celah implementasi. Pada banyak lokasi PESK, teknologi tanpa merkuri telah tersedia secara konseptual, tetapi adopsinya sering terhambat biaya, keterampilan, kebiasaan kerja, dan persepsi risiko kehilangan hasil emas. Hal ini menjelaskan mengapa strategi rekayasa di Sub DAS Tiku perlu dirancang sebagai paket intervensi, bukan sekadar introduksi alat (Rogers, 2003; Keane *et al.*, 2023; Meutia *et al.*, 2023).

### Dampak yang Paling Dirasakan Masyarakat

Dampak yang paling banyak dirasakan informan adalah penurunan kualitas air untuk keperluan sehari-hari (30%) dan risiko kesehatan akibat pencemaran (25%). Pola ini

menunjukkan bahwa degradasi sungai telah bergeser dari isu ekologis menjadi isu kesehatan masyarakat. Paparan merkuri pada komunitas PESK dapat terjadi melalui inhalasi uap merkuri saat pembakaran amalgam, kontak dengan limbah, serta konsumsi air atau pangan yang terkontaminasi. Sistem saraf menjadi salah satu target utama dampak merkuri, sehingga pengendalian di sumber pencemar menjadi bagian penting dari perlindungan kesehatan publik (World Health Organization, 2017; Taux *et al.*, 2022).

**Tabel 4.** Dampak Utama yang Paling Dirasakan.

No	Dampak Utama	Frekuensi	Persentase (%)	Peringkat
1	Penurunan kualitas air untuk keperluan sehari-hari	6	30,00	1
2	Risiko kesehatan akibat pencemaran	5	25,00	2
3	Pendangkalan/kekeruhan sungai	3	15,00	3
4	Penurunan rasa aman terhadap masa depan sumber air	3	15,00	3
5	Gangguan terhadap pertanian/perkebunan	2	10,00	4
6	Konflik kepentingan antar pelaku	1	5,00	5
Jumlah		20	100,00	

*Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).*

Pendangkalan dan kekeruhan sungai yang disebut oleh 15% informan memperkuat argumen bahwa masalah kualitas air di Sub DAS Tiku bersifat fisik dan kimia sekaligus. Sedimentasi dapat mengganggu habitat, menurunkan kapasitas tampung alur, dan memperburuk banjir lokal. Ketika sedimentasi terjadi bersamaan dengan kontaminasi logam berat, maka pemulihan sungai menjadi lebih kompleks karena perlu menggabungkan pengendalian erosi, pengendalian limbah, dan penataan aktivitas di sempadan (Chapra, 2008; Dala-Corte *et al.*, 2026).

Penurunan rasa aman masyarakat terhadap masa depan sumber air menjadi indikator penting secara sosial. Dalam pengelolaan air, persepsi risiko masyarakat sering menentukan tingkat dukungan terhadap program pemerintah. Jika masyarakat merasakan sungai semakin tidak aman tetapi tidak melihat solusi yang nyata, program pengendalian dapat kehilangan legitimasi. Oleh sebab itu, pemantauan kualitas air harus dikomunikasikan secara berkala, sederhana, dan terbuka agar masyarakat memahami kondisi sungai dan ikut mengawasi perubahan (Pretty, 2003; World Bank, 2019).

### **Kendala Penanganan Pencemaran**

Kendala utama penanganan adalah ketergantungan ekonomi masyarakat pada PESK, yang disebut oleh 25% informan. Hal ini menegaskan bahwa pengendalian pencemaran tidak dapat dilakukan hanya dengan pendekatan penertiban. Literatur PESK menunjukkan bahwa pertambangan rakyat sering menjadi strategi penghidupan di wilayah dengan lapangan kerja terbatas, sehingga larangan tanpa alternatif ekonomi dapat mendorong aktivitas berpindah, tersembunyi, atau kembali berulang (Schwartz *et al.*, 2021; Mkodzongi, 2023).

**Tabel 5.** Kendala Utama dalam Penanganan Pencemaran dan Pengelolaan Sub DAS.

No	Kendala Utama	Frekuensi	Persentase (%)	Peringkat
1	Ketergantungan ekonomi pada PESK	5	25,00	1
2	Pengawasan lapangan belum konsisten	4	20,00	2
3	Teknologi ramah lingkungan belum terjangkau	4	20,00	2
4	Koordinasi antar pihak belum kuat	3	15,00	3
5	Rehabilitasi sempadan belum menjadi prioritas	2	10,00	4
6	Data pemantauan belum rutin dipahami masyarakat	2	10,00	4
Jumlah		20	100,00	

Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).

Pengawasan yang belum konsisten dan koordinasi lintas pihak yang belum kuat menunjukkan perlunya rekayasa kelembagaan. Pengelolaan Sub DAS melibatkan instansi lingkungan hidup, pekerjaan umum, pertanian, pertambangan, pemerintah desa, aparat pengawas, dan masyarakat. Tanpa pembagian peran, SOP lapangan, dan mekanisme umpan balik data, tindakan pengendalian cenderung sporadis. Prinsip IWRM menekankan bahwa masalah air bersifat lintas sektor sehingga membutuhkan koordinasi kelembagaan yang permanen, bukan kegiatan sesaat (Global Water Partnership, 2010; OECD, 2015).

Keterbatasan teknologi yang terjangkau juga menjadi kendala penting. Teknologi ramah lingkungan harus dirancang bukan hanya aman secara teknis, tetapi juga mudah dioperasikan, relatif murah, dapat dirawat secara lokal, dan tidak menurunkan pendapatan secara drastis pada masa transisi. Kriteria tersebut sejalan dengan prinsip adopsi inovasi, yaitu teknologi lebih mudah diterima apabila memiliki keunggulan relatif, kompatibilitas, kemudahan, dan peluang uji coba yang jelas (Rogers, 2003; United Nations Development Programme, 2018).

### **Strategi Prioritas dan Sintesis Praktik Keinsinyuran**

Strategi yang paling banyak dipilih informan adalah penerapan teknologi ramah lingkungan pada pengolahan PESK (30%). Pilihan ini sejalan dengan hasil skenario teknis yang menunjukkan bahwa penerapan 100% teknologi ramah lingkungan merupakan arah terbaik untuk memperbaiki daya dukung, daya tampung, dan kondisi komposit D3T. Secara praktis, teknologi tanpa merkuri dapat dipadukan dengan pengolahan gravitasi, meja goyang, konsentrator, atau metode lain yang sesuai dengan karakter material lokal. Namun, keberhasilan teknologi perlu didukung pendampingan, pembiayaan, dan pengawasan penggunaan merkuri (Keane *et al.*, 2023; Esdaile & Chalker, 2018; Mulenga *et al.*, 2024).

**Tabel 6.** Strategi Prioritas menurut Informan.

No	Strategi Prioritas	Frekuensi	Persentase (%)	Peringkat
1	Penerapan teknologi ramah lingkungan pada pengolahan PESK	6	30,00	1
2	Pengalihan pekerjaan PESK ke sektor ekonomi alternatif	5	25,00	2
3	Penguatan pengawasan dan koordinasi lintas sektor	4	20,00	3
4	Rehabilitasi sempadan dan konservasi tutupan lahan	3	15,00	4
5	Pemantauan kualitas air secara berkala dan terbuka	2	10,00	5
	Jumlah	20	100,00	

*Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).*

Strategi kedua adalah pengalihan pekerjaan PESK ke sektor ekonomi alternatif (25%). Strategi ini penting karena sumber pencemaran sulit ditekan apabila rumah tangga tetap bergantung pada pengolahan emas. Pengalihan pekerjaan perlu diarahkan pada sektor yang sesuai dengan potensi lokal, seperti pertanian konservasi, perkebunan, jasa lingkungan, usaha mikro, atau pekerjaan berbasis rehabilitasi lahan. Pendekatan ini sejalan dengan pandangan bahwa formalisasi atau pengurangan PESK harus mempertimbangkan kemiskinan, modal sosial, dan akses terhadap sumber nafkah yang lebih stabil (Schwartz *et al.*, 2021; Meutia *et al.*, 2023).

Strategi rehabilitasi sempadan dan konservasi tutupan lahan menempati posisi keempat, tetapi secara ekologis sangat penting. Rehabilitasi sempadan dapat menurunkan beban sedimen, memperbaiki mikrohabitat, dan menjadi pelindung alami dari masuknya pencemar ke sungai. Dalam jangka menengah, tindakan ini dapat digabungkan dengan penataan ruang mikro, pembatasan aktivitas pada bantaran sungai, penanaman vegetasi lokal, dan pengawasan perubahan tutupan lahan (Gregory *et al.*, 1991; Dala-Corte *et al.*, 2026; Basuki *et al.*, 2022).

Pemantauan kualitas air secara berkala dan terbuka menjadi strategi pendukung yang menentukan keberhasilan pengambilan keputusan. Sistem monitoring tidak harus selalu mahal; pada tahap awal dapat dimulai dari jadwal pemantauan parameter prioritas, titik pantau tetap, pelaporan sederhana kepada masyarakat, dan evaluasi berkala antarinstansi. Data yang terbuka akan memperkuat akuntabilitas, memudahkan penilaian dampak intervensi, dan meningkatkan literasi lingkungan masyarakat (Chapra, 2008; Pretty, 2003; World Bank, 2019).

**Tabel 7.** Sintesis Praktik Keinsinyuran untuk Sub DAS Tiku.

No	Bidang Intervensi	Tindakan Praktik Keinsinyuran	Luaran yang Diharapkan
1	Teknologi pengolahan PESK	Introduksi dan pendampingan teknologi ramah lingkungan	Penurunan beban pencemaran merkuri dan peningkatan mutu air
2	Ekonomi masyarakat	Pengalihan pekerjaan dan penguatan ekonomi alternatif	Pengurangan tekanan terhadap sungai dari aktivitas PESK
3	Pengawasan dan kelembagaan	Pengawasan terpadu serta SOP pengendalian	Kepatuhan lebih baik dan respons lapangan lebih cepat
4	Konservasi lahan	Rehabilitasi sempadan dan pengendalian perubahan tutupan lahan	Pengurangan sedimentasi dan peningkatan fungsi resapan
5	Pemantauan lingkungan	Monitoring mutu air berkala dan diseminasi hasil	Pengambilan keputusan berbasis data dan peningkatan kesadaran publik

*Sumber: diolah dari laporan portofolio dan hasil wawancara (2026).*

Sintesis pada Tabel 7 menunjukkan bahwa praktik keinsinyuran di Sub DAS Tiku perlu dibangun sebagai sistem intervensi yang saling menguatkan. Teknologi bebas merkuri tanpa pengawasan akan sulit bertahan; pengawasan tanpa alternatif ekonomi berpotensi menimbulkan resistensi; rehabilitasi sempadan tanpa pengendalian sumber pencemar tidak cukup memulihkan mutu air; dan monitoring tanpa tindak lanjut hanya menjadi dokumentasi administratif. Oleh karena itu, strategi pengelolaan harus dijalankan secara bertahap, dimulai dari titik prioritas pencemaran, kelompok pelaku PESK yang paling siap didampingi, dan zona sempadan paling rusak (Global Water Partnership, 2010; Keane *et al.*, 2023; Basuki *et al.*, 2022).

Implikasi teoritis dari kajian ini adalah pentingnya memadukan pendekatan daya dukung, daya tampung, dan praktik keinsinyuran partisipatif dalam pengelolaan Sub DAS. Implikasi praktisnya adalah pemerintah daerah perlu menyusun rencana aksi yang memuat target penurunan parameter kunci, mekanisme transisi teknologi, jadwal rehabilitasi sempadan, pembagian peran lintas sektor, dan indikator keberhasilan yang terukur. Dengan pendekatan tersebut, pengelolaan Sub DAS Tiku dapat bergerak dari identifikasi masalah menuju tindakan lapangan yang lebih realistis dan berkelanjutan.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sub DAS Tiku berada dalam kondisi yang memerlukan perhatian serius karena kualitas airnya telah menurun akibat tekanan aktivitas ekonomi berbasis lahan dan penambangan emas skala kecil. Data teknis menunjukkan indeks pencemaran rata-rata 6,65, ketersediaan air permukaan rata-rata 45.842.699,79 m<sup>3</sup>/tahun, kebutuhan air yang didominasi kegiatan ekonomi berbasis lahan sebesar 98,38%, Criticality Ratio rata-rata 0,266, dan daya tampung air yang buruk. Dengan demikian, masalah utama Sub DAS Tiku bukan hanya kuantitas air,

tetapi mutu air dan kemampuan badan air menerima beban pencemar. Penggunaan merkuri dan limbah pengolahan PESK merupakan isu paling mendesak, diikuti perubahan tutupan lahan, sedimentasi, lemahnya pengawasan, dan rendahnya keterjangkauan teknologi ramah lingkungan. Dampak yang paling dirasakan masyarakat adalah penurunan kualitas air untuk kebutuhan sehari-hari, risiko kesehatan, pendangkalan atau kekeruhan sungai, serta menurunnya rasa aman terhadap masa depan sumber air. Kendala utama penanganan adalah ketergantungan ekonomi pada PESK, pengawasan lapangan yang belum konsisten, dan belum terjangkaunya teknologi bersih.

Strategi yang disarankan adalah kombinasi penerapan teknologi pengolahan emas tanpa merkuri, pengalihan pekerjaan PESK ke sektor ekonomi alternatif, penguatan pengawasan lintas sektor, rehabilitasi sempadan sungai, konservasi tutupan lahan, dan pemantauan kualitas air secara berkala serta terbuka. Pemerintah daerah perlu menindaklanjuti temuan ini menjadi rencana aksi teknis-operasional yang memuat target, jadwal, penanggung jawab, sumber pembiayaan, dan indikator kinerja. Penelitian berikutnya disarankan menguji efektivitas paket teknologi tanpa merkuri dan memodelkan penurunan beban pencemar pada beberapa skenario rehabilitasi sempadan dan pengurangan aktivitas PESK.

## DAFTAR REFERENSI

- Asdak, C. (2018). Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University Press.
- Basuki, T. M., Nugroho, H. Y. S. H., Indrajaya, Y., Pramono, I. B., Nugroho, N. P., Supangat, A. B., Indrawati, D. R., Savitri, E., Wahyuningrum, N., Purwanto, Cahyono, S. A., Putra, P. B., Adi, R. N., Nugroho, A. W., Auliyani, D., Wuryanta, A., Riyanto, H. D., Harjadi, B., Yudilastyantoro, C., Hanindityasari, L., Nada, F. M. H., & Simarmata, D. P. (2022). Improvement of integrated watershed management in Indonesia for mitigation and adaptation to climate change: A review. *Sustainability*, 14(16), 9997. <https://doi.org/10.3390/su14169997>
- Biswas, A. K. (2004). Integrated water resources management: A reassessment. *Water International*, 29(2), 248–256. <https://doi.org/10.1080/02508060408691775>
- Chapra, S. C. (2008). Surface water-quality modeling. Waveland Press.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.
- Dala-Corte, R. B., et al. (2026). Assessing the effectiveness of riparian buffers in protecting biodiversity: A meta-analysis. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-70191-y>
- Esdaille, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chemistry - A European Journal*, 24(27), 6905–6916. <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>

- Global Water Partnership. (2010). Integrated water resources management. Global Water Partnership Technical Advisory Committee.
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A., & Cummins, K. W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41(8), 540–551. <https://doi.org/10.2307/1311607>
- Jayanti, U. (2025). Mercury exposure impact to the environment and community health from artisanal and small-scale gold mining in North Musi Rawas District, South Sumatra Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 15(1), 89–95.
- Keane, S., Bernaudat, L., Davis, K. J., Stylo, M., Mutemeri, N., Singo, P., Twala, P., Mutemeri, I., Nakafeero, A., & Etui, I. D. (2023). Mercury and artisanal and small-scale gold mining: Review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. *Ambio*, 52(5), 833–852. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01843-2>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Pedoman penentuan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Liu, Q., Cheng, Y., & Fan, C. (2023). Pollution characteristics and health exposure risks of heavy metals in river water affected by human activities. *Sustainability*, 15(10), 8389. <https://doi.org/10.3390/su15108389>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Meutia, A. A., Bachriadi, D., & Gafur, N. A. (2023). Environment degradation, health threats, and legality at the artisanal small-scale gold mining sites in Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(18), 6774. <https://doi.org/10.3390/ijerph20186774>
- Mkodzongi, G. (2023). Artisanal and small-scale gold mining and rural transformation in post-land reform Zimbabwe: A broad overview. *Journal of Rural Studies*, 100, 103027. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103027>
- Mulenga, M., Ouma, K. O., Monde, C., & Syampungani, S. (2024). Aquatic mercury pollution from artisanal and small-scale gold mining in sub-Saharan Africa: Status, impacts, and interventions. *Water*, 16(5), 756. <https://doi.org/10.3390/w16050756>
- OECD. (2015). *Water resources allocation: Sharing risks and opportunities*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264229631-en>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pretty, J. (2003). Social capital and the collective management of resources. *Science*, 302(5652), 1912–1914. <https://doi.org/10.1126/science.1090847>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Schwartz, F. W., Lee, S., & Darrah, T. H. (2021). A review of the scope of artisanal and small-scale mining worldwide, poverty, and the associated health impacts. *GeoHealth*, 5(1), e2020GH000325. <https://doi.org/10.1029/2020GH000325>

- Taux, K., Kraus, T., & Kaifie, A. (2022). Mercury exposure and its health effects in workers in the artisanal and small-scale gold mining (ASGM) sector: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2081. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042081>
- United Nations Development Programme. (2018). *Managing small-scale gold mining and diverse rural development dynamics: Insights for mercury reduction*. UNDP.
- United Nations Environment Programme. (2019). *Global mercury assessment 2018*. UNEP.
- World Bank. (2019). *Quality unknown: The invisible water crisis*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1459-4>
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. World Health Organization.