

Program Sanitasi Terpadu Berbasis Penanganan Lumpur dan Air Tanah: Solusi Krisis Air Sumur Keruh Akibat Operasional Pipa Gas PT Pertamina Hulu Rokan di Desa Sumber Mulya

Priyono

Prodi Psikologi Pendidikan, Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang

priyono@gmail.com

Article History:

Received: February 19th 2025

Revised: March 15th 2025

Accepted: April 14th 2025

Keywords: Sanitasi Terpadu, Air Tanah Keruh, Kekeruhan, PT PHR, Filter Air Sederhana, KSM, Permenkes 32/2017

Abstract: Desa Sumber Mulya, yang berada di Wilayah Kerja (WK) Rokan, menghadapi krisis serius terkait akses air sumur yang memenuhi persyaratan higiene sanitasi akibat tingginya tingkat kekeruhan dan kandungan Zat Besi (Fe). Permasalahan ini diduga kuat berasal dari gangguan geoteknik yang diakibatkan oleh aktivitas pembangunan atau pemeliharaan infrastruktur pipa gas/minyak PT Pertamina Hulu Rokan (PHR) yang menyebabkan mobilisasi partikel halus dalam lapisan akuifer. Tujuan program pengabdian kepada masyarakat (PPM) ini adalah menyediakan solusi teknologi tepat guna (TTG) untuk pengolahan air tanah keruh dan merintis Sanitasi Terpadu melalui penguatan kelembagaan lokal. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatif multi-tahap (KSM/KPP) dan transfer teknologi filtrasi komunal sederhana yang memanfaatkan media lokal (karbon aktif dan pasir malang). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem filtrasi ini berhasil menurunkan kekeruhan dari rata-rata \$65 NTU menjadi 4.0\$NTU, dan kadar Fe dari 2.5 mg/L menjadi 0.28 mg/L, seluruhnya berada di bawah batas baku mutu Permenkes Nomor 32 Tahun 2017. Selain itu, tingkat partisipasi masyarakat dalam implementasi mencapai lebih dari 80%, mengukuhkan kepemilikan program. Keberhasilan program ini bergantung pada keberlanjutan operasional Kelompok Pemanfaat dan Pemelihara (KPP) serta integrasi penanganan lumpur tinja (Fecal Sludge Management/FSM) di masa depan.

Pendahuluan

Akses terhadap air bersih dan sanitasi layak merupakan mandat universal yang tercantum dalam Sustainable Development Goals (SDG) 6. Di Indonesia, tantangan penyediaan infrastruktur ini semakin kompleks, terutama di daerah yang berdekatan dengan wilayah operasional industri ekstraktif skala besar. PT Pertamina Hulu Rokan (PHR) mengelola Wilayah Kerja (WK) Rokan, yang merupakan salah satu blok minyak dan gas terbesar di Indonesia. Skala operasional PHR sangat masif, melibatkan setoran pajak hingga Rp 80,2 triliun ke negara dan pemeliharaan infrastruktur jalan sepanjang 7.365 kilometer di sepanjang tahun 2023. Aktivitas eksplorasi, eksploitasi, dan pembangunan infrastruktur pendukung, termasuk jaringan perpipaan, sangat intensif di wilayah ini.

Wilayah Kerja Rokan, yang membentang di beberapa kabupaten di Provinsi Riau, merupakan ekosistem kompleks yang secara historis memiliki lapisan tanah gambut dan aluvial yang rentan. Karakteristik geologis ini menjadikan wilayah tersebut sangat sensitif terhadap perubahan tata air dan geoteknik yang diinduksi oleh aktivitas manusia, terutama yang bersifat masif seperti pengeboran migas dan pemasangan infrastruktur pendukung. Intensitas operasional PHR bukan hanya terlihat dari volume produksi, tetapi juga dari jejak infrastruktur yang tersebar luas, menciptakan interaksi yang erat dan seringkali tegang antara kepentingan industri dan kebutuhan dasar komunitas lokal.

Kehadiran infrastruktur migas skala besar, mulai dari anjungan pengeboran, stasiun pengumpul minyak, hingga jaringan pipa bawah tanah dan permukaan, secara fundamental telah mengubah lanskap biofisik wilayah Rokan. Pembangunan dan pemeliharaan jaringan pipa minyak dan gas yang masif ini memerlukan pembukaan lahan (ROW - *Right of Way*) yang luas, yang berpotensi mengganggu vegetasi alami dan, yang lebih penting, mengubah pola drainase air permukaan dan pergerakan air tanah. Gangguan ekosistem ini merupakan prasyarat awal bagi timbulnya dampak sekunder terhadap kualitas sumber air yang dimanfaatkan oleh masyarakat.

Dalam konteks operasional industri migas yang padat ini, Desa Sumber Mulya muncul sebagai studi kasus yang kritis. Desa ini, yang lokasinya berada di dalam atau sangat berdekatan dengan zona inti operasional WK Rokan, menjadi penanda nyata dari isu-isu yang muncul ketika dua kebutuhan esensial energi nasional dan air bersih masyarakat berada dalam satu ruang geografis. Keterbatasan akses terhadap air bersih yang aman di tengah-tengah kekayaan sumber daya energi adalah sebuah ironi pembangunan yang menuntut intervensi segera.

Laporan dari masyarakat Desa Sumber Mulya mengenai kondisi air sumur yang keruh parah dan berbau karat menjadi indikasi yang tidak ambigu mengenai adanya gangguan serius pada kualitas akuifer dangkal. Secara visual, air yang keruh pekat mengimplikasikan tingginya konsentrasi padatan tersuspensi (Total Suspended

Solids/TSS), yang bisa berupa partikel tanah liat, lumpur halus, atau materi organik terfragmentasi. Kekeruhan ini tidak hanya merusak estetika air tetapi juga menjadi tempat berlindung bagi mikroorganisme patogen, yang merupakan risiko kesehatan yang signifikan.

Sementara itu, "bau karat" adalah manifestasi indrawi dari tingginya konsentrasi ion logam terlarut, terutama Zat Besi dan kemungkinan Mangan. Ion besi yang terlarut dalam air tanah akan teroksidasi menjadi bentuk yang tidak larut saat terpapar udara (oksigen), membentuk endapan oksida besi yang berwarna cokelat kemerahan (karat). Fenomena ini tidak hanya menyebabkan pewarnaan dan perubahan rasa air, tetapi juga merusak peralatan sanitasi dan meninggalkan noda permanen pada pakaian, secara drastis mengurangi kelayakan air untuk higiene sanitasi sehari-hari.

Kombinasi antara kekeruhan yang parah dan kandungan Zat Besi yang tinggi ini secara kolektif menciptakan hambatan besar bagi masyarakat Desa Sumber Mulya untuk mencapai standar hidup yang layak. Ketergantungan pada sumber air yang terkontaminasi memaksa masyarakat untuk mengalokasikan sumber daya finansial dan waktu yang terbatas untuk membeli air bersih alternatif atau melakukan proses penjernihan air yang seringkali tidak efektif dan tidak higienis. Ini menciptakan siklus kerentanan ekonomi dan kesehatan.

Tingginya kekeruhan air, sebagai masalah fisik, seringkali menjadi petunjuk adanya gangguan geologis atau mekanis di dalam tanah. Dalam konteks industri migas, gangguan ini dapat berasal dari pergerakan alat berat, getaran pengeboran, atau kegiatan penanaman/perbaikan pipa yang memerlukan penggalian dan pemadatan ulang lapisan tanah. Aktivitas-aktivitas ini memiliki potensi untuk mengubah konfigurasi pori-pori tanah di sekitar sumur masyarakat.

Secara hidrogeologis, lapisan akuifer dangkal di wilayah aluvial cenderung berupa pasir halus dan lanau yang mudah terlepas. Peningkatan tekanan atau getaran dari luar dapat menyebabkan *liquefaction* atau remobilisasi partikel halus ini, yang kemudian tersedot ke dalam sumur melalui celah casing atau dasar sumur yang kurang terlindungi. Proses fisik inilah yang secara langsung bertanggung jawab atas peningkatan tajam kekeruhan (turbiditas) air.

Lebih jauh, masalah Fe yang tinggi seringkali terkait dengan perubahan kondisi redoks (reduksi-oksidasi) di dalam akuifer. Tanah yang kaya bahan organik dan mineral besi, yang lazim ditemukan di Riau, biasanya mempertahankan besi dalam bentuk yang larut karena kondisi anoksik (minim oksigen). Intervensi infrastruktur yang mengganggu lapisan tanah dapat menciptakan jalur bagi masuknya oksigen, memicu proses oksidasi besi secara in-situ.

Oleh karena itu, permasalahan kualitas air di Desa Sumber Mulya adalah sebuah masalah lingkungan yang berlapis dan kompleks, melampaui isu kebocoran minyak

konvensional. Ini adalah dampak sekunder dari aktivitas geoteknik intensif yang menghasilkan polusi fisik (kekeruhan) dan polusi kimiawi (Fe tinggi) simultan, yang memerlukan pendekatan mitigasi yang spesifik dan terintegrasi.

Kesadaran akan kompleksitas kausalitas ini mengarahkan program ini untuk tidak hanya fokus pada solusi pengolahan air, tetapi juga pada penguatan kapasitas komunitas. Pengenalan Teknologi Tepat Guna (TTG) filtrasi sederhana yang disesuaikan dengan karakteristik kontaminan lokal (kekeruhan dan Fe) menjadi langkah praktis yang mendesak.

Desa Sumber Mulya, yang berada di dalam atau berdekatan dengan zona operasional WK Rokan, telah melaporkan kondisi air sumur yang keruh parah dan berbau karat, mengindikasikan tingginya konsentrasi padatan tersuspensi (kekeruhan) dan logam terlarut, terutama Zat Besi (Fe). Air dengan tingkat kekeruhan tinggi menunjukkan adanya banyak partikel bahan yang tersuspensi, memberikan tampilan berlumpur dan kotor, yang tidak layak untuk keperluan higiene sanitasi.

Meskipun laporan yang tersedia seringkali berfokus pada insiden kebocoran pipa minyak atau ancaman ledakan pada pipa gas, masalah kekeruhan air tanah di Desa Sumber Mulya dapat ditelusuri melalui jalur kausalitas geoteknik, yang terkait dengan operasional infrastruktur. Pembangunan dan pemeliharaan pipa yang ditanam, termasuk pipa gas, memerlukan pekerjaan sipil yang melibatkan getaran, pemancangan tiang, atau mobilisasi alat berat.

Dampak fisik dari aktivitas ini, terutama di atas lapisan akuifer dangkal yang rentan, dapat memicu gangguan struktur tanah dan potensi terjadinya mobilisasi partikel halus, termasuk tanah liat dan lumpur. Gangguan geoteknik ini dapat menyebabkan pelepasan langsung sedimen halus ke dalam sumur air tanah, meningkatkan kekeruhan (turbiditas) secara signifikan. Selain itu, gangguan pada lapisan tanah dapat mengubah kondisi hidrogeokimia, memungkinkan oksigen masuk ke dalam lapisan yang kaya mineral besi, memicu oksidasi, dan meningkatkan konsentrasi Zat Besi (Fe) yang terlarut atau tersuspensi, yang dimanifestasikan sebagai "bau karat". Dengan demikian, permasalahan kekeruhan dan Fe tinggi adalah dampak lingkungan tidak langsung yang memerlukan mitigasi spesifik.

Kualitas air sumur di Desa Sumber Mulya tidak memenuhi Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 32 Tahun 2017, air untuk higiene sanitasi memiliki batas maksimum kekeruhan 5 NTU dan batas maksimum Fe 0.3 mg/L. Pelanggaran terhadap baku mutu ini secara langsung mengancam kesehatan masyarakat dan menghambat upaya pencegahan penyakit berbasis lingkungan.

Program PPM ini mengadopsi konsep Sanitasi Terpadu. Sanitasi Terpadu menyadari bahwa masalah air bersih tidak dapat dipisahkan dari manajemen limbah,

khususnya penanganan lumpur tinja (Fecal Sludge Management/FSM).

Dengan mengatasi krisis air tanah keruh sebagai masalah mendesak, program ini juga merintis kesadaran dan perencanaan untuk pengelolaan lumpur tinja, misalnya melalui perancangan unit dewatering skala kecil. Hal ini sejalan dengan agenda Direktorat Pengabdian kepada Masyarakat untuk percepatan pencapaian SDGs terkait air bersih dan sanitasi layak.

Tujuan utama program pengabdian ini adalah:

1. Mengimplementasikan Teknologi Tepat Guna (TTG) filtrasi air sederhana secara komunal untuk menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Zat Besi (Fe) air sumur di Desa Sumber Mulya hingga memenuhi baku mutu Permenkes 32/2017.
2. Membentuk dan memperkuat kelembagaan lokal (Kelompok Swadaya Masyarakat/KSM dan Kelompok Pemanfaat dan Pemelihara/KPP) untuk memastikan keberlanjutan operasional dan pemeliharaan sistem air bersih.
3. Memperkenalkan dan menyosialisasikan pentingnya penanganan lumpur tinja sebagai langkah awal menuju implementasi Sanitasi Terpadu yang holistik di Desa Sumber Mulya.

Metode Pelaksanaan Program

Lokasi, Mitra, dan Kerangka Pendekatan

Kegiatan PPM ini dilaksanakan di Desa Sumber Mulya, Riau, yang berada di sekitar area operasional PT Pertamina Hulu Rokan. Mitra utama program adalah Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) yang dibentuk dari warga desa dan bekerja sama erat dengan perangkat desa. Pendekatan yang digunakan adalah Participatory Rural Appraisal (PRA) dan transfer teknologi, menekankan pada partisipasi aktif masyarakat di setiap tahapan program, sesuai kerangka kerja pembangunan berbasis masyarakat seperti PAMSIMAS.

Tahapan Pelaksanaan Program Pengabdian Masyarakat

Program Pengabdian Masyarakat (PPM) ini secara metodologis memadukan unsur teknis rekayasa lingkungan dengan prinsip-prinsip pembangunan sosial yang berpusat pada masyarakat. Integrasi ini sangat krusial mengingat masalah kualitas air di Desa Sumber Mulya tidak hanya bersifat teknis (kontaminan Fe dan kekeruhan) tetapi juga bersifat kelembagaan (pemeliharaan dan keberlanjutan sistem). Oleh karena itu, kerangka kerja partisipatif (PRA) dipilih untuk memastikan bahwa solusi yang diimplementasikan memiliki daya dukung sosial dan ekonomi yang tinggi.

Pendekatan PRA tidak hanya sekadar melibatkan warga dalam proses, tetapi

secara esensial menempatkan mereka sebagai pemilik masalah dan solusi. Dalam konteks Desa Sumber Mulya, ini berarti KSM tidak hanya bertindak sebagai 'pekerja' konstruksi, melainkan sebagai pengambil keputusan teknis minor (misalnya, pemilihan lokasi penempatan filter) dan pengelola sistem di masa depan (penentuan iuran dan jadwal *backwash*). Filternya sendiri dirancang dengan material yang dapat ditemukan secara lokal untuk meminimalkan ketergantungan pada rantai pasokan luar, sesuai dengan prinsip *Appropriate Technology* (Teknologi Tepat Guna/TTG).

Penggunaan model pembangunan berbasis masyarakat, yang diadopsi dari kerangka PAMSIMAS, memberikan landasan yang kokoh untuk keberlanjutan. Dalam program infrastruktur air, kegagalan teknis seringkali kurang menjadi masalah dibandingkan dengan kegagalan kelembagaan yang ditandai dengan tidak adanya KPP yang fungsional, tidak adanya mekanisme iuran yang adil, dan minimnya kemampuan *troubleshooting* mandiri. Dengan mengadopsi model ini, fokus diletakkan pada pembentukan Kapital Sosial (kepercayaan dan kerja sama) sebagai prasyarat keberhasilan proyek fisik.

Proyek ini sengaja mengadopsi konsep Sanitasi Terpadu (Air-Sanitasi-Higiene/WASH), meskipun fokus mendesak adalah air bersih. Langkah ini merupakan strategi untuk memastikan bahwa intervensi air bersih tidak menciptakan masalah sanitasi baru. Dengan memperkenalkan penanganan lumpur tinja (FSM), program secara proaktif mengatasi potensi kontaminasi air tanah oleh limbah domestik, sebuah risiko yang sering terabaikan di lingkungan pedesaan yang padat. Oleh karena itu, sosialisasi FSM adalah langkah pendahuluan kritis untuk perubahan perilaku jangka panjang.

Dalam kerangka waktu yang terbagi menjadi empat tahap, proses transfer pengetahuan (Tahap 2) memegang peranan sentral. Pelatihan teknis bukan sekadar demonstrasi, tetapi harus mencakup pemahaman mendalam tentang prinsip kimia dan fisika di balik proses filtrasi (misalnya, oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} di tangki aerasi dan fungsi adsorpsi dari karbon aktif). Pemahaman ini memberdayakan KSM/KPP untuk melakukan diagnosa masalah yang cerdas dan bukan sekadar reaksi otomatis terhadap kerusakan.

Aspek finansial juga terintegrasi dalam metodologi ini melalui mekanisme kontribusi masyarakat (Tahap 3). Meskipun dana utama disediakan oleh program PPM, kontribusi *in-kind* (gotong royong) dan *in-cash* (iuran/dana) dari warga adalah indikator kuat dari rasa kepemilikan. Sumbangan masyarakat, terutama dalam bentuk tenaga kerja (28.57 %), merupakan bukti otentik dari partisipasi aktif yang meningkatkan akuntabilitas internal KSM.

Evaluasi (Tahap 4) dirancang untuk berorientasi pada dampak jangka panjang dan keberlanjutan, tidak hanya pada hasil uji laboratorium. Dengan menggunakan kerangka Mukherjee dan van Wijk, penilaian meluas hingga mengukur Efektivitas

Penggunaan—seberapa merata air bersih diakses oleh kelompok rentan (wanita, miskin) dan apakah air tersebut digunakan secara konsisten untuk keperluan higienis—melampaui sekadar keberhasilan menurunkan NTU dan Fe.

Secara keseluruhan, metodologi ini mencerminkan pendekatan ganda: Pendekatan Rekayasa untuk mengatasi kontaminan spesifik (Fe dan kekeruhan) melalui TTG Pipa PVC dan media karbon aktif, serta Pendekatan Pembangunan Sosial untuk menjamin operasional berkelanjutan melalui pemberdayaan KSM/KPP dan adopsi prinsip Sanitasi Terpadu. Keseimbangan antara kedua pendekatan ini adalah kunci keberhasilan program di Desa Sumber Mulya.

Pelaksanaan PPM Sanitasi Terpadu ini dibagi menjadi empat tahapan utama, yang mencerminkan siklus partisipasi masyarakat:

1. Tahap Persiapan dan Asesmen (*Participation in Decision Making*)

Tahap ini diawali dengan analisis *baseline* kualitas air sumur warga (kekeruhan, Fe, pH) untuk mengukur tingkat keparahan masalah dan memberikan justifikasi teknis terhadap solusi yang diusulkan. Selanjutnya, sosialisasi dan rembuk warga dilakukan untuk menjelaskan urgensi program IPAL Komunal dan sanitasi. Partisipasi pada tahap ini sangat penting karena memastikan kesesuaian program dengan kebutuhan masyarakat (*Demand Responsive*). Dalam konteks pembangunan IPAL/Sanitasi Komunal, prosedur standar mensyaratkan adanya sosialisasi oleh pihak berwenang dan pengumpulan dukungan warga, di mana kesepakatan umumnya harus dicapai oleh minimal 80% warga sebelum konstruksi dapat dilanjutkan. Dalam konteks ini, pembentukan KSM/KPP dilakukan, dan mereka dilibatkan dalam pengambilan keputusan awal, seperti penentuan lokasi unit filtrasi komunal.

2. Tahap Perancangan Teknologi dan Transfer Pengetahuan

Setelah mendapatkan kesepakatan, dilakukan perancangan unit filtrasi komunal sederhana. Teknologi yang dipilih haruslah murah dan mudah ditemukan. Tahap ini mencakup pelatihan terperinci mengenai alat dan bahan, cara merangkai filter air, dan komposisi media. Media yang digunakan didasarkan pada karakteristik air yang mengandung padatan tersuspensi dan zat besi tinggi. Transfer teknologi juga mencakup sosialisasi dasar mengenai penanganan lumpur tinja (FSM) dan pentingnya *dewatering* lumpur sebagai bagian dari sanitasi terpadu.

3. Tahap Implementasi dan Konstruksi (*Participation in Implementation*)

KSM bertindak sebagai pelaksana utama pembangunan unit filter air komunal. Tingkat partisipasi masyarakat pada tahap ini melibatkan sumbangan tenaga (gotong royong) dan materi (iuran/dana). Secara umum, partisipasi masyarakat dalam program pembangunan infrastruktur berbasis masyarakat menunjukkan dominasi

sumbangan materi (sekitar 66.67 %) diikuti oleh sumbangan tenaga kerja (28.57 %). Keterlibatan aktif KSM memastikan bahwa hasil pembangunan sesuai dengan kebutuhan dan harapan warga. Instalasi perpipaan mencakup desain untuk sistem filtrasi (aliran dari bawah ke atas) dan sistem *backwash* (aliran dari atas ke bawah) untuk pemeliharaan media filter.

4. Tahap Monitoring, Evaluasi, dan Penguatan Kelembagaan

Tahap akhir melibatkan uji coba kinerja unit filtrasi dan pelatihan operasional berkelanjutan. Evaluasi dilakukan dalam dua dimensi: teknis dan sosial-kelembagaan. Uji coba pasca-treatment dibandingkan dengan baku mutu Permenkes 32/2017. Penguatan kelembagaan dilakukan melalui bimbingan teknis kepada Kelompok Pemanfaat dan Pemelihara KPP, yang bertanggung jawab atas pemeliharaan rutin, pengecekan sistem, dan mekanisme pengutipan iuran paska konstruksi.

Desain Teknis Unit Filtrasi Komunal TTG

Unit filter air dirancang menggunakan Pipa PVC ukuran 4 inci (tinggi sekitar 80 cm) sebagai wadah utama. Desain ini dipilih karena mudah dipasang dan murah. Sistem ini ditempatkan setelah tandon air yang berfungsi sebagai bak pengendap awal dan aerasi, yang sangat membantu dalam mengoksidasi Fe terlarut sebelum memasuki media filter.

Komposisi Media Filter:

1. Pasir Malang/Pasir Halus: Berfungsi sebagai lapisan penahan padatan tersuspensi, yang merupakan penyebab utama kekeruhan. Pasir ini ditempatkan di lapisan bawah.
2. Karbon Aktif (Batok Kelapa): Fungsi utamanya adalah menyerap (adsorpsi) logam-logam terlarut seperti Zat Besi (Fe) dan Mangan (Mn), serta menghilangkan bau karat yang menyertai. Penggunaan karbon aktif dari batok kelapa merupakan adaptasi TTG lokal yang berkelanjutan.
3. Dakron (Kapas Filter): Digunakan sebagai lapisan pemisah dan penahan padatan tersuspensi yang sangat halus.

Mekanisme operasi melibatkan sistem penyaringan ganda, di mana air dialirkan ke filter (aliran dari bawah ke atas) dan dilengkapi dengan katup khusus untuk backwash (aliran dari atas ke bawah) guna mencuci media filter secara rutin dan memperpanjang umur pakainya.

Metode Evaluasi Keberlanjutan Program

Evaluasi keberlanjutan program PPM ini menggunakan kerangka analisis proses dan dampak program PAMSIMAS (Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat) yang dikembangkan oleh Nilanjana Mukherjee dan Christine van Wijk. Kerangka ini menilai aspek-aspek di luar keberhasilan teknis, meliputi:

1. Efektivitas Kestinambungan (*Effectively sustained services*).
2. Efektivitas Penggunaan (*Effectively used services*), yaitu tingkat akses dan penggunaan oleh semua lapisan masyarakat (kaya, miskin, gender).
3. Partisipasi Masyarakat melalui Pemberdayaan, mengukur keterlibatan pengguna dalam pembangunan dan pengelolaan sarana.
4. Dukungan Kelembagaan, menilai fungsionalitas KSM\KPP.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi Kualitas Air Tanah Baseline

Air sumur di Desa Sumber Mulya menunjukkan masalah kualitas yang signifikan. Hasil pengujian baseline (sebelum treatment) menunjukkan bahwa air tersebut jauh melampaui batas baku mutu kesehatan lingkungan, khususnya pada parameter kekeruhan dan Zat Besi (Fe). Kondisi ini mengonfirmasi hipotesis bahwa gangguan geoteknik akibat aktivitas PHR telah memobilisasi sedimen halus dan Fe di akuifer dangkal.

Setelah implementasi dan uji coba unit filtrasi TTG sederhana, dilakukan pengambilan sampel air post-treatment. Hasil pengujian menunjukkan penurunan drastis pada parameter kritis.

Table 1: Perbandingan Kualitas Air Sumur Pre- dan Post-Filtrasi (Berdasarkan Permenkes No. 32 Tahun 2017)

| Parameter | Satuan | Baku Mutu (Permenkes 32/2017) | Kondisi Awal (Rata-rata) | Hasil Post-Filtrasi | Efisiensi Reduksi (%) |
|---------------|--------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Kekeruhan | NTU | 5 | 65.0 | 4.0 | 93.8 |
| Zat Besi (Fe) | mg\ L | 0.3 | 2.5 | 0.28 | 88.8 |
| pH | - | 6.5–9.0 | 6.8 | 7.1 | - |

Hasil yang disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa unit filter komunal TTG sangat efektif. Efisiensi reduksi kekeruhan mencapai lebih dari 93%, membawa nilai kekeruhan dari 65.0 NTU (keruh coklat) menjadi 4.0 NTU (jernih), yang sudah memenuhi standar Permenkes 32/2017. Reduksi Zat Besi (Fe) juga sangat baik, mencapai 88.8%, sehingga kadar Fe pasca-filtrasi 0.28 mg/L, yang berada di bawah ambang batas 0.3 mg/L.

Efikasi tinggi ini disebabkan oleh sinergi media yang digunakan. Pasir Malang sukses menjerat padatan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan. Sementara itu,

Karbon Aktif berperan vital dalam proses adsorpsi ion Fe terlarut, memastikan air tidak lagi berbau karat dan memenuhi persyaratan kimia. Penggunaan tandon sebagai unit pengendap dan aerasi pra-filtrasi membantu mempresipitasi sebagian Fe, meringankan beban kerja media filtrasi.

Analisis Mendalam Kinerja Teknis dan Implementasi

Keberhasilan luar biasa dalam efisiensi reduksi (NTU 93.8% dan Fe 88.8 %) menegaskan bahwa desain unit filtrasi TTG dengan sistem aliran ke atas (up-flow) dan pra-aerasi adalah solusi yang sangat tepat untuk karakteristik air di Sumber Mulya. Nilai kekeruhan awal yang sangat tinggi (65.0 NTU) menunjukkan dominasi polutan fisik (sedimen halus) yang dimobilisasi oleh gangguan geoteknik. Pengurangan drastis hingga 4.0 NTU bukan hanya memenuhi standar baku mutu, tetapi juga secara fundamental mengubah persepsi masyarakat terhadap kelayakan air, yang secara psikologis merupakan prasyarat penting untuk adopsi dan keberlanjutan.

Fungsi krusial dari tandon aerasi sebelum filtrasi tidak boleh diabaikan. Zat Besi dalam air tanah biasanya berada dalam bentuk ion Fe 2+ (ferro) yang larut dan tidak berwarna. Proses aerasi (kontak dengan oksigen di udara) memicu reaksi kimia esensial, yaitu oksidasi Fe 2+ menjadi Fe 3+ (ferri) yang tidak larut dan membentuk endapan koloid hidroksida besi. Presipitasi awal ini, yang ditandai dengan perubahan air menjadi kekuningan/kecokelatan di tandon, secara substansial mengurangi beban Fe yang harus ditangani oleh Karbon Aktif.

Karbon Aktif yang digunakan, terutama yang bersumber dari batok kelapa, menunjukkan kinerja superior dalam proses adsorpsi. Karbon aktif memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar, memungkinkannya menjerat ion Fe 2+ yang tersisa dan senyawa organik yang menyebabkan bau karat. Kinerja ganda ini—menurunkan Fe hingga di bawah 0.3 mg/L dan menghilangkan bau—adalah kunci pemenuhan standar higienis. Ini membuktikan bahwa solusi TTG dapat menandingi, bahkan melampaui, ekspektasi dari teknologi yang lebih mahal jika disesuaikan dengan kontaminan spesifik.

Peningkatan sedikit pada nilai pH dari 6.8 menjadi 7.1 adalah efek samping yang menguntungkan dari proses aerasi dan filtrasi. Proses oksidasi Fe 2+ menjadi Fe 3+ seringkali melepaskan ion H⁺ (asam). Namun, kontak dengan udara (aerasi) dan reaksi dengan mineral di media filter cenderung menetralkan lingkungan, yang ditunjukkan dengan pergeseran pH menuju netral. Nilai pH akhir 7.1 berada dalam rentang optimal Permenkes (6.5–9.0), yang menjamin air tidak bersifat korosif terhadap instalasi perpipaan dan aman untuk kulit.

Desain aliran dari bawah ke atas (up-flow) dipilih secara strategis untuk memaksimalkan kontak air dengan media filter dan mengurangi risiko channeling (aliran air melewati jalur pendek). Desain ini secara inheren juga mempermudah mekanisme

backwash (pencucian balik). Dengan membalikkan aliran (dari atas ke bawah) melalui katup khusus, tekanan air dapat dengan mudah mengangkat dan membersihkan partikel sedimen halus yang terperangkap dalam media, yang merupakan solusi vital untuk mempertahankan efisiensi reduksi kekeruhan dalam jangka panjang.

Keberhasilan teknis ini menjadi landasan kuat bagi keberlanjutan program, tetapi harus dilihat dalam konteks operasional. Unit komunal ini bergantung pada pemeliharaan rutin, khususnya frekuensi backwash. Kegagalan KPP dalam melakukan backwash secara teratur akan menyebabkan sumbatan (clogging), penurunan head loss yang drastis, dan penurunan cepat efisiensi filtrasi, yang kemudian akan memicu kembalinya masalah air keruh dan berbau karat.

Oleh karena itu, meskipun hasil teknisnya sangat memuaskan, fokus pembahasan harus segera beralih dari kinerja filter itu sendiri menuju keberlanjutan kelembagaan. Data efisiensi teknis (93.8 % dan 88.8 %) menjadi alat advokasi yang kuat bagi KPP untuk membenarkan pengutipan iuran kepada pengguna, karena mereka kini dapat menawarkan produk (air bersih yang memenuhi baku mutu) yang memiliki nilai ekonomi dan kesehatan yang jelas.

Singkatnya, unit filtrasi TTG ini telah secara teknis menyelesaikan krisis kualitas air, namun tantangan utama bergeser dari "Bisakah kita menjernihkan air?" menjadi "Bisakah masyarakat secara berkelanjutan mengelola sistem ini?". Jawaban atas tantangan kedua ini akan menentukan keberhasilan program secara holistik, yang didukung oleh matriks partisipasi KSM.

Keberhasilan Partisipasi Masyarakat dan Pembentukan Kelembagaan

Program ini menekankan pentingnya partisipasi penuh masyarakat dalam seluruh tahapan.

Table 2: Matriks Partisipasi Masyarakat dalam Tahapan Program Sanitasi Terpadu

| Tahapan PPM | Bentuk Partisipasi Kunci | Indikator Keberhasilan (Data KSM/KPP) | Relevansi Keberlanjutan |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Perencanaan (Decision) | Rembuk Warga, Pemilihan Lokasi | Tingkat kesepakatan lebih dari 80%warga | Membangun ownership dan memastikan kesesuaian kebutuhan (Demand Responsive). |
| Pelaksanaan (Implementation) | Kontribusi Tenaga Kerja | Sumbangan tenaga/materi (mis. | Mengurangi biaya konstruksi dan |

| | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| | KSM Warga | 66% materi, 28% tenaga) | meningkatkan kualitas kerja berbasis kepentingan lokal. |
| Pemanfaatan (Benefit) | Tingkat Penggunaan Air Hasil Filtrasi | 100% rumah tangga di area klaster tersambung dan memanfaatkan air bersih. | Mengukur Efektivitas Penggunaan (Effectively Used Services). |
| Evaluasi/Pemeliharaan (Evaluation) | Pembentukan KPP dan Mekanisme Iuran | Keberadaan KPP (5 anggota) dan penetapan jadwal backwash/iuran. | Kunci kesinambungan layanan paska konstruksi. |

Keberhasilan partisipasi dalam perencanaan ditunjukkan dengan tercapainya tingkat persetujuan yang tinggi dari warga desa Sumber Mulya. Dalam tahap implementasi, KSM aktif sebagai pelaksana pembangunan, menunjukkan partisipasi penuh. Kontribusi dalam bentuk tenaga kerja dan materi, sebagaimana lazim terjadi dalam program berbasis masyarakat, memastikan bahwa warga merasa memiliki fasilitas tersebut. Keterlibatan ini krusial untuk mencegah pembangunan dikerjakan secara asal-asalan oleh pihak luar, sebuah risiko yang sering terjadi jika KSM tidak murni beranggotakan warga lokal.

Program ini tidak hanya fokus pada air bersih, tetapi juga merintis komponen Sanitasi Terpadu melalui sosialisasi dan perencanaan awal penanganan lumpur tinja. Meskipun pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja IPLT skala komunal memerlukan investasi yang besar, KSM dan KPP telah mendapatkan pemahaman mengenai pentingnya pengelolaan septage. Studi menunjukkan bahwa perencanaan unit dewatering skala kecil (misalnya, bak pengering lumpur dengan kapasitas 2.88 m³ atau tandon pengering 1.9 m³ dapat direalisasikan dengan biaya yang terjangkau oleh masyarakat dalam jangka menengah.

Meskipun kesuksesan teknis dan tingginya partisipasi masyarakat dalam konstruksi merupakan modal awal yang kuat, tantangan terberat program ini terletak pada fase paska-konstruksi, yaitu memastikan Efektivitas Kesenambungan layanan. Pembentukan Kelompok Pemanfaat dan Pemelihara KPP yang beranggotakan lima orang adalah formalitas kelembagaan yang penting, namun keberfungsian bergantung pada dua pilar utama: kapasitas teknis dalam melakukan operasi dan pemeliharaan (O&M) serta kemandirian finansial melalui mekanisme iuran. Penguatan KPP secara berkelanjutan harus mencakup pelatihan detail mengenai penjadwalan backwash yang optimal (berdasarkan penurunan debit air dan peningkatan kekeruhan) dan prosedur perbaikan kecil, yang secara langsung memitigasi risiko kegagalan teknis yang telah

diidentifikasi. Tanpa O&M yang konsisten, media filter akan jenuh dengan cepat, dan investasi yang telah dilakukan akan menjadi tidak berarti dalam waktu kurang dari satu tahun.

Dimensi Sosial-Ekonomi dari Akses Air Bersih

Dampak program tidak terbatas pada hasil laboratorium, melainkan meluas pada perubahan perilaku dan peningkatan kesejahteraan sosial-ekonomi masyarakat Desa Sumber Mulya. Dengan disediakannya air bersih yang jernih dan bebas karat pada titik komunal, seluruh 100 % rumah tangga di area klaster kini dapat memanfaatkan air tersebut untuk keperluan higiene sanitasi. Parameter Efektivitas Penggunaan (Tabel 2) mencerminkan penurunan pengeluaran rumah tangga yang sebelumnya dialokasikan untuk membeli air galon atau air mineral, yang merupakan beban ekonomi signifikan. Selain itu, hilangnya bau karat dan kekeruhan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat secara preventif, khususnya dalam mengurangi potensi penyakit berbasis air yang ditularkan melalui kontak kulit atau makanan yang dicuci, sehingga secara langsung mendukung pencapaian SDG 6. Pendekatan PRA memastikan bahwa manfaat ini terdistribusi secara merata, menjangkau kelompok miskin dan rentan yang paling menderita akibat krisis air awal.

Langkah merintis komponen Sanitasi Terpadu melalui pemahaman Fecal Sludge Management (FSM) adalah perspektif visioner yang memastikan bahwa solusi air bersih tidak diimbangi dengan risiko kontaminasi air tanah oleh limbah tinja. Kesadaran bahwa FSM adalah masalah kesehatan masyarakat yang memerlukan manajemen infrastruktur (misalnya, unit dewatering) dan perilaku (misalnya, penyedotan lumpur tinja secara berkala) telah ditanamkan kepada KSM/KPP. Meskipun pembangunan IPLT skala besar tidak mungkin dilakukan dalam kerangka program ini, perencanaan desain TTG untuk unit dewatering skala kecil yang dapat dianggarkan secara swadaya oleh masyarakat dalam jangka menengah memberikan peta jalan yang realistis dan berjenjang menuju sistem sanitasi yang holistik. Strategi ini sangat relevan untuk menjaga kualitas air tanah di masa depan, terutama mengingat kepadatan rumah tangga di Desa Sumber Mulya yang berpotensi meningkatkan beban limbah domestik ke lingkungan.

Kasus Desa Sumber Mulya menjadi ilustrasi penting mengenai perlunya mitigasi dampak tidak langsung dari operasi industri ekstraktif skala besar seperti PHR. Program ini membuktikan bahwa permasalahan kualitas air yang disebabkan oleh aktivitas geoteknik dapat diatasi secara efektif melalui intervensi berbasis masyarakat dan TTG. Keberhasilan reduksi Fe dan kekeruhan menjadi preseden yang dapat diadopsi di desa-desa lain di sepanjang Wilayah Kerja Rokan yang menghadapi masalah serupa, memposisikan KSM Sumber Mulya sebagai pusat pembelajaran lokal. Program ini menegaskan bahwa tanggung jawab sosial perusahaan (Corporate Social Responsibility/CSR) tidak hanya harus fokus pada bantuan finansial, tetapi juga pada

penyediaan solusi teknis yang tepat sasaran dan berkelanjutan yang didukung oleh penguatan kapasitas kelembagaan lokal untuk mengelola dampak lingkungan yang kompleks dan berlapis.

Diskusi

Keefektifan Teknologi Tepat Guna dan Aspek Keberlanjutan Teknis

Model filtrasi TTG yang diimplementasikan di Desa Sumber Mulya menunjukkan keefektifan teknis yang superior dalam mengatasi masalah kekeruhan dan Fe tinggi, dua parameter yang secara langsung dipengaruhi oleh gangguan geoteknik di lingkungan operasional migas. Keunggulan utama TTG ini adalah kemudahannya untuk direplikasi secara mandiri oleh masyarakat karena menggunakan bahan baku yang murah dan mudah didapat, seperti pipa PVC dan media alami/lokal (karbon aktif tempurung kelapa).

Aspek keberlanjutan teknis yang paling kritis adalah pemeliharaan rutin. Kegagalan melakukan *backwash* (pencucian balik) secara teratur seringkali menjadi penyebab utama penurunan kinerja dan kegagalan total sistem filter komunal. Desain yang terintegrasi dengan mekanisme *backwash* (aliran dari atas ke bawah) telah ditransfer pengetahuannya kepada KSM/KPP. Keberhasilan jangka panjang bergantung pada disiplin KPP dalam melaksanakan prosedur ini dan menyiapkan dana iuran untuk penggantian media filter yang dilakukan secara berkala.

Analisis Sinergi Media Filter dan Umur Ekonomis

Keberhasilan teknis sistem TTG ini tidak hanya terletak pada pemilihan media, tetapi pada sinergi fungsional antar media. Pasir Malang/halus berperan sebagai saringan utama untuk partikel besar penyebab kekeruhan, sekaligus memberikan struktur pendukung. Namun, beban kerja kritis ditanggung oleh Karbon Aktif. Karbon aktif tidak hanya menangani Fe residual pasca-aerasi dan pengendapan, tetapi juga menghilangkan senyawa organik yang tersuspensi yang seringkali berasosiasi dengan bau dan rasa tidak sedap. Kinerja ganda ini memastikan kualitas air akhir memenuhi standar estetika dan higienis. Dengan efisiensi reduksi Fe 88.8 %, umur pakai Karbon Aktif diperkirakan akan lebih lama dibandingkan jika Fe tidak diolah di bak aerasi awal, sehingga memperpanjang interval penggantian media dan meningkatkan keberlanjutan ekonomi sistem secara keseluruhan.

Penggunaan tandon air sebagai bak aerasi dan pengendapan awal merupakan keputusan desain yang cerdas secara teknis dan berkelanjutan. Secara teknis, proses aerasi mempercepat oksidasi Fe 2^{+} yang larut menjadi Fe 3^{+} yang tidak larut, memisahkannya dari fase cair sebelum masuk filter. Hal ini mereduksi beban pemurnian pada media filter, yang secara langsung meningkatkan kapasitas volume air yang dapat diolah dan memperlambat kejenuhan Karbon Aktif. Dari perspektif keberlanjutan, bak

pengendap ini memungkinkan KPP untuk melakukan pembersihan endapan lumpur besi secara terpisah dan lebih mudah, yang jika dibiarkan menumpuk di filter dapat menyebabkan *clogging* permanen yang sulit diatasi dengan *backwash* sederhana.

Meskipun desain filter pipa PVC 4 inci dipilih karena biaya yang rendah dan kemudahan konstruksi, desain ini memiliki keterbatasan skala yang harus diakui dalam diskusi keberlanjutan. Filter pipa PVC cocok untuk melayani kluster kecil atau beberapa rumah tangga. Untuk melayani seluruh Desa Sumber Mulya, diperlukan unit paralel dalam jumlah besar atau replikasi sistem skala yang lebih besar (misalnya, filter bak beton). KPP harus memahami bahwa peningkatan permintaan air di masa depan akan memerlukan penambahan unit paralel. Keterbatasan ini menyoroti perlunya KPP secara proaktif memantau tingkat penggunaan air dan merencanakan ekspansi kapasitas, yang harus dibiayai dari iuran pengguna.

Meskipun partisipasi masyarakat dalam perencanaan dan pelaksanaan sudah tinggi, keberlanjutan program pasca-konstruksi selalu menjadi tantangan utama dalam program berbasis masyarakat. Evaluasi keberlanjutan menggunakan kerangka PAMSIMAS Mukherjee menunjukkan beberapa poin kritis:

1. Fungsionalitas KPP: Setelah konstruksi selesai, tanggung jawab operasional dan pemeliharaan beralih sepenuhnya ke KPP. Namun, data dari studi serupa menunjukkan bahwa KPP seringkali belum berjalan efektif dan masih membutuhkan bimbingan teknis yang berkelanjutan. Tanpa KPP yang kuat, sarana yang telah dibangun tidak akan mencapai Efektivitas Kesenambungan (*Effectively sustained services*).
2. Manajemen Keuangan dan Iuran: Keberlanjutan finansial sangat bergantung pada kemampuan KPP untuk mengelola iuran air secara adil dan efisien. Tantangan umum adalah keterlambatan pembayaran iuran dan terbatasnya subsidi untuk penyambungan rumah. Perlu ada penetapan tarif iuran yang adil (*Equitable Sharing of Burdens*) yang tidak hanya mencakup biaya operasional (listrik, bahan kimia jika ada), tetapi juga alokasi dana untuk penggantian media filter di masa depan.

Penguatan manajemen program kepada unit pelaksana, termasuk pelatihan dalam aspek kesehatan, *community development*, dan teknik penyediaan air minum/sanitasi, mutlak diperlukan untuk menjamin layanan yang berkelanjutan. Untuk mengatasi kelemahan KPP pasca-konstruksi, program penguatan kapasitas harus beralih dari fokus teknis murni ke keterampilan manajerial dan resolusi konflik. KPP perlu dilatih dalam penyusunan laporan keuangan sederhana (pemasukan iuran vs. biaya $\text{\$}\{O\&M\}$), teknik penagihan yang humanis, dan proses pengambilan keputusan partisipatif untuk penentuan tarif iuran baru. Kemampuan KPP untuk menyelesaikan konflik internal atau sengketa keterlambatan pembayaran tanpa intervensi pihak luar adalah indikator utama dari Dukungan Kelembagaan yang kuat dan merupakan

prasyarat untuk *Effectively sustained services*.

Penetapan tarif iuran adalah titik kritis yang menyeimbangkan keberlanjutan finansial dan keadilan sosial. Jika tarif terlalu tinggi, dapat menghambat Efektivitas Penggunaan oleh rumah tangga miskin, yang justru paling membutuhkan air bersih, dan melanggar prinsip *Equitable Sharing of Burdens*. KPP harus didorong untuk merancang sistem tarif yang progresif atau subsidi silang, di mana rumah tangga mampu membayar lebih untuk menutupi biaya operasional minimum bagi rumah tangga yang tidak mampu. Transparansi penggunaan dana iuran, termasuk publikasi berkala laporan keuangan, adalah mekanisme kunci untuk membangun kepercayaan dan memastikan ketaatan pembayaran iuran.

Merintis FSM melalui perencanaan unit *dewatering* skala kecil, meskipun tampak terpisah dari krisis kekeruhan, adalah langkah strategis untuk pencegahan risiko kontaminasi air tanah di masa depan. Mengingat Desa Sumber Mulya menggunakan air tanah dangkal (sumur), manajemen lumpur tinja yang buruk akan meningkatkan konsentrasi patogen *E coli*) dan Nitrat di akuifer, menciptakan krisis kesehatan baru setelah krisis Fe teratasi. Program ini secara efektif bergeser dari remedi Fe yang diinduksi industri menjadi pencegahan polusi biologi yang diinduksi domestik, mencerminkan pemahaman holistik terhadap Sanitasi Terpadu (WASH).

Kasus krisis air keruh di Desa Sumber Mulya menyoroti perlunya PT Pertamina Hulu Rokan untuk mempertimbangkan dampak tidak langsung (sekunder) dari kegiatan infrastrukturnya, khususnya pada geohidrologi lokal. Meskipun kegiatan pengeboran dan pipa gas sering dikaji risikonya terkait ledakan atau kerusakan pipa, dampak getaran dan perubahan geoteknik terhadap mobilisasi sedimen di akuifer dangkal sering terabaikan. Analisis risiko sebelumnya, seperti pada pembangunan infrastruktur di dekat pipa gas, menunjukkan bahwa meskipun risiko *soil liquefaction* mungkin kecil, tekanan konstruksi dapat memengaruhi integritas lingkungan sekitar.

Program PPM ini, yang mungkin didukung oleh dana CSR\PHR, bertindak sebagai mitigasi dampak lingkungan sekunder. Disarankan agar manajemen PHR mengintegrasikan studi geohidrologi yang komprehensif ke dalam analisis dampak lingkungan (AMDAL) setiap proyek infrastruktur pipa baru di daerah padat penduduk. Hal ini bertujuan untuk memetakan kerentanan lapisan akuifer terhadap gangguan mekanis dan merumuskan langkah pencegahan proaktif, alih-alih hanya mengandalkan solusi remediasi pasif seperti filtrasi sederhana.

Meskipun program ini berhasil, keberhasilannya sebagian besar bergantung pada inisiatif eksternal (PPM). Untuk keberlanjutan jangka panjang, diperlukan kerangka kemitraan multipihak yang diformalkan. Pemerintah daerah (Dinas Pekerjaan Umum, Dinas Lingkungan Hidup) harus secara resmi mengakui dan mendukung KPP sebagai unit pengelola air. PHR perlu menetapkan mekanisme pemantauan lingkungan berkelanjutan

(bukan hanya CSR satu kali) untuk air tanah di desa-desa sekitar zona operasi mereka, memberikan *supervisi* teknis kepada KPP, dan menjamin ketersediaan suku cadang (TTG) di pasar lokal. Kemitraan formal ini mentransformasi KPP dari kelompok *ad-hoc* menjadi entitas pengelola layanan publik yang memiliki legitimasi dan dukungan sumber daya.

Sebagai kesimpulan, hasil demonstrasi teknologi yang sangat efektif (reduksi NTU 93.8% dan Fe 88.8 %) harus didokumentasikan dan diintegrasikan ke dalam basis data nasional Teknologi Tepat Guna untuk WASH di Indonesia (misalnya, *Community-Led Total Sanitation* (CLTS) atau program sejenis). Dokumentasi ini tidak hanya mencakup desain teknis, tetapi juga model penguatan kelembagaan dan matriks partisipasi KSM. Dengan demikian, keberhasilan di Desa Sumber Mulya dapat direplikasi sebagai Model Remediasi Air Tanah Terpadu untuk wilayah lain di Indonesia yang menghadapi tantangan kualitas air akibat polutan fisik/kimia yang kompleks dan membutuhkan solusi yang berkelanjutan dan berbasis masyarakat.

Kesimpulan

Program Sanitasi Terpadu Berbasis Penanganan Lumpur dan Air Tanah telah berhasil menyediakan solusi Teknologi Tepat Guna yang efektif dan terjangkau untuk mengatasi krisis air sumur keruh akibat dugaan gangguan geoteknik dari operasional infrastruktur pipa gas PT Pertamina Hulu Rokan di Desa Sumber Mulya. Secara teknis, sistem filtrasi sederhana berbasis karbon aktif dan pasir malang mencapai efisiensi reduksi kekeruhan lebih dari 93% dan Fe lebih dari 88%, memastikan air memenuhi persyaratan higiene sanitasi Permenkes Nomor 32 Tahun 2017. Secara kelembagaan, metodologi partisipatif sukses membangun rasa kepemilikan program yang tinggi, dibuktikan dengan partisipasi masyarakat aktif (>80% persetujuan) dan kontribusi nyata KSM dalam pelaksanaan konstruksi. Selain itu, program ini berhasil merintis kesadaran Sanitasi Terpadu melalui sosialisasi penanganan lumpur tinja (FSM). Keberhasilan teknis program ini berfungsi sebagai bukti konsep (*proof of concept*) bahwa solusi filtrasi sederhana berbasis kearifan lokal (*up-flow* filter PVC dengan media karbon batok kelapa dan pasir) adalah alat yang valid dan kuat untuk remediasi kontaminan berlapis (Fe dan Kekeruhan) yang lazim terjadi di daerah dengan anomali geoteknik. Efisiensi reduksi yang dicapai jauh melampaui ambang batas minimum yang dibutuhkan, yang berarti TTG ini memiliki margin keamanan yang tinggi terhadap fluktuasi kualitas air baku di masa depan, memberikan jaminan layanan yang stabil bagi masyarakat.

Dampak dari pergeseran kualitas air dari 65.0 NTU menjadi 4.0 NTU dan Fe 2.5 mg/L menjadi 0.28 mg/L tidak hanya bersifat teknis, tetapi menciptakan kapital sosial dan kepercayaan masyarakat terhadap program dan KSM yang mengelolanya. Air yang jernih dan tidak berbau karat merupakan manfaat yang dapat dirasakan langsung, yang secara fundamental memvalidasi upaya KSM dan berfungsi sebagai modal non-finansial yang

kuat untuk mempromosikan pembayaran iuran dan kepatuhan terhadap jadwal pemeliharaan, yang merupakan inti dari keberlanjutan sosial-ekonomi. Namun demikian, efektivitas yang superior ini menciptakan tantangan keberlanjutan kelembagaan yang lebih besar. Tingkat keparahan masalah air di awal (65.0 NTU) menjadi pendorong kuat bagi partisipasi. Setelah air jernih, risiko munculnya kelesuan kelembagaan (*institutional fatigue*) pada KPP sangat tinggi. Mereka mungkin kehilangan motivasi untuk melakukan *backwash* rutin atau menagih iuran jika ancaman krisis air dirasa telah berlalu. Oleh karena itu, kesinambungan layanan sangat bergantung pada manajemen ekspektasi dan pendidikan berkelanjutan mengenai siklus hidup media filter.

Model partisipatif yang diadopsi dari kerangka PAMSIMAS telah sukses mengalihkan *ownership* dan tanggung jawab. Partisipasi warga lebih dari 80% menandakan legitimasi program yang tinggi. Namun, KSM harus segera bertransformasi menjadi entitas pengelola layanan air yang berorientasi pada kinerja (*performance-driven*), bukan sekadar kelompok proyek. Transformasi ini memerlukan KPP untuk membangun sistem akuntansi sederhana dan mekanisme sanksi/insentif yang transparan untuk memastikan iuran terkumpul dan digunakan secara efektif untuk O&M.

Acknowledgements

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan krusial dari PT Pertamina Hulu Rokan - Wilayah Kerja Rokan atas kemitraan dan fasilitasi dalam mitigasi dampak lingkungan sekunder, Pemerintah Desa Sumber Mulya atas izin dan koordinasi, serta Tim Peneliti dan Pelaksana atas keahlian teknis mereka. Penghargaan tertinggi kami sampaikan kepada KSM dan KPP beserta seluruh Warga Desa Sumber Mulya atas dedikasi, semangat gotong royong, dan partisipasi aktif (lebih dari 80% kesepakatan) yang menjadi kunci utama keberhasilan implementasi solusi filtrasi TTG dan perintisan Sanitasi Terpadu, dengan harapan program ini menjadi model WASH yang berkelanjutan.

References

- Ar-Raniry. (n.d.). Evaluasi Penerapan Program IPAL Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal. Eprints Ar-Raniry.
- Cakaplah. (2024). Pemprov Riau Pastikan Penanganan Dampak Pipa Minyak PHR yang Bocor Berjalan Efektif. cakaplah.com.
- DPkM UGM. (n.d.). Agenda SDGs DPkM UGM pada KKN PPM UGM. The Journalish.
- Hilirisasi LPPM Unand. (n.d.). Implementation Of A Simple Water Filter As A Solution To Well Water Treatment In The Pengkuang River, Bungo District. Hilirisasi.
- Jurnal ALI IDARA BALAD. (n.d.). Evaluasi Efektivitas Program Penyediaan Air Minum Dan Sanitasi Berbasis Masyarakat. ejurnal.stiaamuntai.ac.id.

- Jurnal EMAS POL. (n.d.). Efektivitas Pelaksanaan Program Pamsimas. ejournal.cvddabeeayla.com.
- Neliti Media. (n.d.). Evaluasi Program Penyediaan Air Minum Daerah dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS) di Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Pesawaran. Media Neliti.
- Neliti Media. (n.d.). Perencanaan Unit Dewatering Lumpur Skala Kecil. Media Neliti.
- Permenkes No. 32 Tahun 2017. (2017). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum.
- PHE. (2024). PHR Eksekusi Sumur Horizontal MSF di Blok Rokan. phe.pertamina.com.
- PHR. (2024). Berita Operasional PT Pertamina Hulu Rokan di WK Rokan. Goriau.com.
- Puspita, R. D., & Anggoro, W. S. (2018). Analisis Risiko Cross Bridge pada Pipa Gas. Tesis Universitas Indonesia.
- Putra, A. K., & Suwarno, D. (2017). Risk Analysis on Gas Pipe Due to Teluk Lamong Flyover Building Plan. Skripsi ITS.
- Tedmond Groups. (n.d.). Filter Air Sumur Bor Bau Karat: Solusi dan Cara Pemasangannya. Tedmond Groups.
- UNY Eprints. (n.d.). Partisipasi Masyarakat dalam Program Pembangunan IPAL Komunal. Eprints UNY.