Jurnal Sosiologi Andalas

ISSN (Online): 2443-3810 | ISSN (Print): 2088-1134 | Website: http://jsa.fisip.unand.ac.id | Email: jsa@unand.ac.id

Kesiapan Sosial dalam Adopsi Teknologi *Gravity-driven Membrane* (GDM) di Wilayah 3T Indonesia

Mia Monica Ayu Putri Irawan[1*]
[1]Fakultas Hukum llmu Sosial dan Politik, Universitas Terbuka, Surabaya, Indonesia
*Email: hello.miaaaaa@gmail.com

Submitted: September 3rd, 2025	Accepted: October 9th, 2025	Published: October 12th, 2025

Abstract: *This study addresses the persistent challenge of limited access to clean water in Indonesia's outermost, remote, and underdeveloped (3T) regions, where communities rely on vulnerable sources such as rainwater, rivers, and shallow wells. While gravity-driven membrane (GDM) technology offers a low-cost, chemical- and electricity-free solution, its adoption remains limited despite proven technical effectiveness. This research explores how social readiness and structural conditions shape GDM adoption, focusing on community perceptions, cultural meanings of rainwater, and inequalities in state-led water development. Using a qualitative narrative literature review of studies published between 2015 and 2025, the analysis applies sociological frameworks of the Social Construction of Technology (SCOT), ecological justice, and social-ecological resilience. Findings reveal that: (1) GDM reliably removes turbidity, bacteria, and organic matter without external inputs; (2) local perceptions and cultural framings significantly influence acceptance; and (3) top-down water governance perpetuates structural exclusion. The study contributes to sociological scholarship by extending SCOT's application to community-based water technologies in marginalized regions, highlighting that successful GDM implementation requires participatory, bottom-up approaches integrating technical innovation with ecological justice and social resilience.*

Keywords: *Gravity-driven Membrane; Rainwater; Marginal Communities; Ecological Justice; Social-ecological Resilience*

A. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan indikator penting dalam pengukuran ketahanan komunitas dan kualitas hidup manusia. Indonesia merupakan negara kepulauan di garis khatulistiwa, negara tropis yang ditandai dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun (Anam, 2022; Hidayat & Farihah, 2020). Menurut Laporan Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991-2020, Indonesia mempunyai curah hujan rata-rata tahunan antara 2000 hingga 3000 mm, terutama pada wilayah yang dilewati secara langsung oleh garis khatulistiwa, yatu Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, yang curah hujannya melebihi 3000 mm per tahunnya (BMKG, 2022). Secara klimatologis, Indonesia memiliki potensi besar dalam aspek ketersediaan air, terutama dari curah hujan, menjamin ketersediaan air yang memadai. Namun, dalam praktiknya, teori kelimpahan air ini tidak berbanding lurus dengan akses yang merata terhadap air minum yang bersih dan aman, terutama di daerah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar).

Dari perspektif sosiologi lingkungan, situasi ini menunjukkan adanya ketimpangan relasional antara masyarakat, negara, dan lingkungan, yang muncul akibat ketidakseimbangan dalam pengelolaan sumber daya alam (Little et al., 2023; Sumarti, 2007). Ketimpangan ini memperparah kerentanan kelompok-kelompok tertentu karena keterbatasan akses terhadap air bersih. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, terdapat 12,94% rumah tangga di pedesaan yang belum memiliki akses sumber air minum yang layak, dengan wilayah Provinsi Papua hanya 27,89% penduduk memiliki akses sumber air minum (BPS, 2024). Terlihat adanya kesenjangan serius antara potensi sumber daya alam dan akses riil terhadap air bersih, bentuk dari ketidakadilan ekologis di mana masyarakat marginal secara struktural diposisikan sebagai pihak paling terdampak oleh degradasi lingkungan yang tidak mereka sebabkan, namun memiliki akses paling terbatas terhadap sumber daya yang aman dan layak (Martinez-Alier, 2002). Padahal, pengembangan wilayah pedesaan adalah krusial untuk mendukung pembangunan nasional karena dapat mewujudkan pemerataan pembangunan sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat desa (Kurniawan et al., 2024).

Pemanenan air hujan dengan sistem dengan filtrasi berbasis membran bertenaga gravitasi atau *gravity-driven membrane* (GDM) dapat menjadi salah satu solusi alternatif bagi permasalahan ini. Air hujan, bila dipanen dan disaring dengan baik, dapat menjadi sumber air minum yang bersih dan berkelanjutan. Beberapa keuntungan jika sistem filtrasi GDM dioperasikan di daerah dengan akses listrik yang minimum, yaitu beroperasi tanpa listrik, perawatan yang minimal, dan dapat dibangun dengan bahan lokal atau teknologi modul filtrasi (Peter et al., 2015).

Lebih lanjut lagi, konsep keadilan ekologis sangat relevan dalam konteks ini. Ketika air bersih hanya dapat diakses oleh sekelompok rakyat saja, hak atas air bersih menjadi tidak setara. Dalam perspektif keadilan ekologis, hal ini tidak hanya mencerminkan ketimpangan distribusi sumber daya alam, tetapi juga kegagalan pengakuan terhadap kelompok terdampak dan keterlibatan mereka dalam proses pengambilan keputusan (Schlosberg, 2007). Jika kelompok marginal mampu mengakses dan memanfaatkan teknologi filtrasi GDM, mereka juga mengalami peningkatan kapasitas sosial dan ekologis karena lebih berdaya dalam mengelola sumber daya air, tidak sepenuhnya bergantung pada sistem distribusi negara yang sering kali timpang. Ini sejalan dengan gagasan resiliensi sosial-ekologis, yaitu kemampuan komunitas untuk beradaptasi terhadap tekanan dan ketidakpastian lingkungan dengan mengandalkan sumber daya lokal, pengetahuan komunitas, dan teknologi yang sesuai (Folke, 2006). Melalui pendekatan sosiologi teknologi, GDM tidak hanya dipandang sebagai alat teknis, tetapi juga sebagai bentuk teknologi tepat guna (*appropriate technology*) yang berpotensi diadopsi oleh komunitas pedesaan jika disesuaikan dengan nilai, norma, dan struktur sosial setempat.

Masyarakat pada daerah 3T, contohnya Papua Selatan, menggunakan air yang bersumber dari sumur dangkal, sungai, ataupun air hujan yang tidak semua aman dan layak dikonsumsi (Cantiqa et al., 2024). Pada tahun 2024, BAPPENAS melaporkan bahwa sebanyak 10,16% penduduk telah memiliki akses terhadap sanitasi yang layak dan aman. 5,8% penduduk masih melakukan praktik buang air besar di tempat terbuka (Bappenas, 2024). Terbatasnya infrastruktur sanitasi menyebabkan sumber air rentan pencemaran, diperparah dengan degradasi lingkungan akibat konversi lahan, penggundulan hutan, dan pencemaran air limbah dari rumah tangga dan industri yang memperburuk kualitas air sumur dan sungai. Air hujan sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal atau dianggap tidak aman untuk dikonsumsi karena

ketiadaan sistem pengolahan dan rendahnya kesadaran masyarakat (Muktiningsih & Putri, 2021). Fenomena ini menunjukkan adanya eksklusi pembangunan, menyebabkan kelompok di wilayah 3T terus terpinggirkan dari akses air bersih yang layak.

Dalam masyarakat tertentu, air hujan memiliki makna sosial beragam. Studi di Desa Kokotajaya, Halmahera Utara menunjukkan bahwa meski mayoritas mengkonsumsinya, sebagian menilai air hujan tidak layak karena dianggap menimbulkan penyakit seperti gatal, kerusakan gigi, tenggorokan kering, sakit perut, dan diibaratkan seperti air aki karena tercampur abu gunung (Mandiangan et al., 2024). Oleh karena itu, keberhasilan penerapan GDM sangat bergantung pada penerimaan sosial dan persepsi lokal.

Teknologi air bersih di wilayah 3T dihadirkan melalui intervensi eksternal dengan pendekatan *top-down*. Masyarakat sering kali hanya diposisikan sebagai penerima manfaat pasif, bukan sebagai aktor utama dalam pengambilan keputusan. Di Desa Kokotajaya, meskipun persoalan air bersih telah berulang kali disampaikan dalam musyawarah pembangunan desa (musrenbang), program pengadaan air bersih tidak kunjung terealisasi. Menurut salah satu warga, *"dari 100% masyarakat Desa Kokotajaya, 99% tidak menikmati air bersih,"* mengindikasikan adanya eksklusi dalam distribusi infrastruktur vital dan ketimpangan struktural (Mandiangan et al., 2024).

Meskipun sejumlah studi menunjukkan efektivitas GDM dalam menyaring air hujan dan meningkatkan kualitas air minum di daerah rural dan terpencil (Ding et al., 2017; Lee et al., 2017; Lee et al., 2020; Peter et al., 2015; Wang et al., 2017), terdapat celah penelitian, yaitu sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek teknis seperti efisiensi penyaringan mikroorganisme, stabilitas fluks, dan biaya operasional, tanpa mengaitkannya secara mendalam dengan konteks sosial-budaya dan struktural masyarakat, khususnya dalam konteks Indonesia. Muktiningsih & Putri (2021) hanya menyinggung rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatan air hujan, tanpa mengupas pengaruh persepsi lokal dan ketimpangan distribusi teknologi terhadap penerimaan dan keberhasilan adopsi GDM di wilayah 3T. Bukti empiris pada Mandiangan et al. (2024) menunjukkan bahwa penolakan air hujan kerap muncul dari pemaknaan sosial tertentu yang belum disentuh oleh intervensi teknologis. Belum ada penelitian yang spesifik membahas bagaimana sistem GDM dapat diterima, dipahami, dan diadopsi oleh masyarakat dalam konteks sosial-budaya. Penelitian ini berfokus pada kesiapan sosial masyarakat dalam pemanfaatan teknologi GDM terhadap air hujan di wilayah terpencil Indonesia.

Penelitian ini mendesak untuk dilakukan karena kajian *gravity-driven membrane* (GDM) selama ini lebih menekankan aspek teknis dan menunjukkan bahwa dimensi sosial budaya dalam keberhasilan adopsi teknologi air bersih belum banyak dikaji dalam studi terdahulu. Tanpa pemahaman sosiologis yang mendalam, teknologi GDM berpotensi menjadi simbol ketimpangan baru—dipasang tetapi tidak digunakan, diperkenalkan tetapi ditolak, atau dimiliki tetapi tidak dimaknai. Di wilayah-wilayah 3T, di mana ketimpangan akses air bersih merupakan bagian dari eksklusi struktural yang lebih luas, dibutuhkan riset yang mampu menjembatani dimensi teknis dan sosial, agar intervensi teknologi benar-benar menjawab kebutuhan, bukan sekadar menjadi proyek yang gagal berakar. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini berupaya mengisi celah antar dimensi teknis dan sosial dengan mengkaji bagaimana kesiapan sosial, persepsi budaya, dan kondisi

struktural mempengaruhi penerimaan serta adopsi teknologi GDM di wilayah 3T Indonesia.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan metode *narrative literature review* untuk mengkaji secara komprehensif studi-studi terdahulu mengenai sistem filtrasi air hujan berbasis membran bertenaga gravitasi (*gravity-driven membrane*/GDM) serta relevansinya dalam konteks sosial-budaya masyarakat wilayah 3T di Indonesia. Metode ini dipilih untuk mengintegrasikan temuan dari studi teknis dan sosial yang memiliki desain penelitian beragam, sekaligus memungkinkan identifikasi kesenjangan penelitian dan pengembangan kerangka konseptual baru (Machi & McEvoy, 2008).
Proses kajian dilakukan melalui empat tahap utama, yaitu:

1. Identifikasi fokus kajian

Pada tahap identifikasi, fokus penelitian diarahkan pada penerapan teknologi GDM untuk pengolahan air hujan di wilayah 3T Indonesia, dengan penekanan pada keterkaitan antara kinerja teknis dan penerimaan sosial-budaya masyarakat.

2. Penelusuran literatur

Penelusuran literatur dilakukan melalui *website* internasional seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink, menggunakan kata kunci "*water filtration gravity*", "*filtrasi gravity driven membrane*", "*water filtration gravity driven membrane*", dan "*filtrasi air menggunakan membran dan gravitasi*" untuk mempersempit hasil pencarian. Untuk setiap situs dan kata kunci, apabila ada lebih dari 100 entri, diambil top-100 entri paling relevan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa artikel yang dipelajari bersifat relevan dan berkualitas baik.

Secara detail, berikut merupakan data jumlah artikel yang didapat dari setiap *website* untuk setiap kata kunci.

Tabel 1. Kata Kunci

Kata Kunci	*Google Scholar*	*Science Direct*	*Springer Link*
water filtration gravity	100	100	100
filtrasi gravity driven membrane	37	0	0
water filtration gravity driven membrane	100	100	100
filtrasi air menggunakan membran dan gravitasi	100	0	0

Sumber: Hasil kajian penulis

Selain itu, dilakukan pencarian menggunakan *search engine* Google Search dengan kata kunci yang sedikit berbeda untuk menyesuaikan *query*. Tabel berikut menunjukkan jumlah artikel yang didapatkan untuk setiap kata kunci.

Tabel 2. Kata Kunci Menggunakan *Search Engine Google Search*

water filtration gravity research paper	100
riset filtrasi gravity driven membrane	39
water filtration gravity driven membrane research paper	99
riset filtrasi air menggunakan membran dan gravitasi	99

Sumber: Hasil kajian penulis

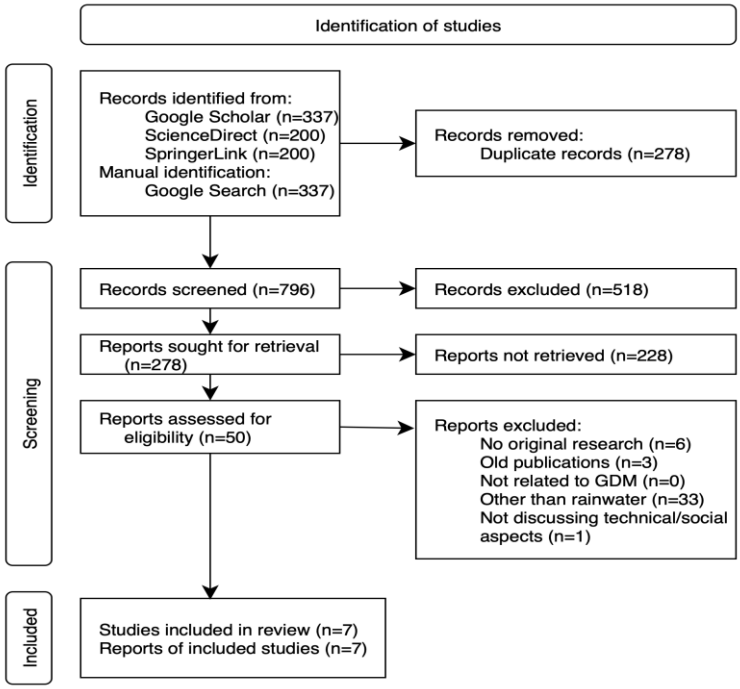
Data tersebut dikumpulkan terlebih dahulu; ScienceDirect dan SpringerLink diperoleh melalui pilihan ekspor pada website, kemudian di-*parse* menggunakan kode sumber berbahasa Python; data pada Google Scholar dan Google Search diperoleh dengan mengirimkan *request* melalui SerpAPI, kemudian di-*parse* menggunakan kode sumber berbahasa Python. Analisis duplikat dilakukan menggunakan Google Sheets. Tahap-tahap selanjutnya dilakukan secara manual untuk menyeleksi secara akurat.

3. Seleksi artikel

Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi, antara lain:

a. Artikel penelitian asli (*original research*) dengan data primer,
b. Dipublikasikan antara 2015–2025,
c. Membahas *gravity-drive membrane* atau teknologi filtrasi gravitasi dengan membran pada air hujan atau sumber air serupa,
d. Memuat dimensi teknis dan/atau sosial terkait penerapan GDM, dan
e. Tersedia dalam *full text* berbahasa Inggris atau Indonesia.

Artikel yang tidak memenuhi kriteria, seperti *review article* tanpa data primer atau penelitian di luar konteks air dan *gravity-drive membrane*, dikeluarkan dari analisis. Proses ini diilustrasikan dengan menggunakan *framework* PRISMA melalui gambar berikut (Page et al., 2021):



Gambar 1. *Framework* PRISMA terhadap Jurnal
Sumber: Hasil kajian penulis

4. Analisis dan sintesis

Artikel yang lolos seleksi dianalisis menggunakan pendekatan tematis (thematic analysis) dengan simplified approach (Aveyard, 2014). Setiap artikel diringkas berdasarkan tujuan dan metodenya, lalu dikelompokkan berdasarkan temuan utamanya. Pengelompokan dilakukan berdasarkan tema:

a. Kinerja teknis GDM
b. Persepsi sosial dan penerimaan masyarakat
c. Hambatan struktural dan kebijakan

Kemudian, untuk setiap artikel, dilakukan identifikasi kekuatan dan keterbatasan studi. Selanjutnya, temuan diintegrasikan menggunakan kerangka teori sosiologi lingkungan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian dan membangun kerangka konseptual tentang kesiapan sosial masyarakat dalam adopsi GDM.

C. KAJIAN LITERATUR

Kajian literatur berikut disusun untuk memberikan landasan teoritis dalam memahami kesiapan sosial masyarakat terhadap adopsi teknologi filtrasi air hujan berbasis membran bertenaga gravitasi (GDM) di wilayah 3T Indonesia. Terdapat dua ranah yang penting dipahami untuk melandasi pengetahuan mengenai GDM dan kondisi sosial-ekologis masyarakat Indonesia, yakni teori sosiologi lingkungan dan teori adopsi teknologi.

1. Konsep Sosiologi Lingkungan

Sosiologi lingkungan membahas mengenai hubungan timbal balik antara manusia dan lingkungan yang dapat terjadi secara dua arah, baik secara positif maupun negatif. Berkaitan dengan topik yang dibahas adalah teori keadilan, resiliensi, dan konstruksi.

a. Teori Keadilan Ekologis (*Environmental Justice Theory*)

Schlosberg & Collins (2014) menyatakan bahwa keadilan ekologis mencakup pendistribusian manfaat dan risiko dari lingkungan secara adil, sekaligus pengakuan terhadap kelompok terdampak dan keterlibatan mereka dalam proses pengambilan keputusan. Schlosberg mengatakan bahwa keadilan ekologis mencakup dimensi distributif, partisipatif, dan pengakuan, serta menyoroti bagaimana ketidakadilan lingkungan sering kali merupakan kelanjutan dari ketidaksetaraan sosial yang sudah berlangsung lama (Schlosberg & Collins, 2014). Dalam konteks wilayah 3T, teori ini penting untuk menganalisis bagaimana eksklusi sosial bahkan berdampak pada akses terhadap sumber daya air bersih, tidak hanya pada ranah ekonomi atau politik.

Masyarakat di wilayah 3T menghadapi ketimpangan struktural berupa ketimpangan akses air bersih dan teknologi pengelolaannya akibat pembangunan yang terpusat dan tidak merata. Hal ini membuat mereka bergantung pada sumber air tak layak dan teknologi yang belum memadai, seperti di Desa Kokotajaya (Mandiangan et al., 2024). Masyarakat di daerah 3T tidak hanya terpinggirkan dari distribusi akses air bersih, tetapi juga terekslusikan dari proses perencanaan dan pengambilan keputusan sehingga menjadikan masyarakat hanya penerima pasif tanpa penguasaan terhadap proses maupun alat. Akibatnya, ketidakadilan ekologis terus berulang di wilayah 3T. Kondisi ini dapat ditinjau melalui konsep ekologi yang diproduksi secara politis dalam kajian ekologi politis air (Batubara, 2017). Batubara (2017) menegaskan bahwa persoalan air bukanlah bersifat netral atau teknis semata, melainkan merupakan hasil dari keputusan politik, ekonomi, dan sosial yang mencerminkan distribusi kekuasaan dalam masyarakat. Timpangnya relasi kekuasaanlah yang menentukan siapa yang memiliki akses, siapa yang tereksklusi, dan bagaimana resistensi muncul dalam pengelolaan sumber daya air.

Telah diketahui ketidakadilan lingkungan di wilayah 3T muncul akibat distribusi air bersih dan teknologi yang tidak merata, dengan eksklusi struktural dalam perencanaan dan pengambilan keputusan sebagai penyebab utama. Intervensi seperti sistem filtrasi GDM dapat mendorong keadilan ekologis jika dirancang sesuai aspek sosial budaya, serta melibatkan partisipasi dan pengakuan masyarakat lokal.

Pendekatan partisipatif ini tidak hanya meningkatkan efektivitas teknologi yang diperkenalkan, tetapi juga mengubah posisi masyarakat dari penerima pasif menjadi aktor aktif yang memiliki kendali atas sumber daya airnya. Dengan demikian, GDM tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga instrumen pemberdayaan sosial dan pengurangan ketimpangan struktural yang telah melanggengkan ketidakadilan lingkungan di wilayah 3T.

b. Teori Resiliensi Sosial-Ekologis (*Social-Ecological Resilience*)

Menurut Folke (2006), resiliensi sosial-ekologis adalah kapasitas sistem, dengan komponen manusia (sosial) dan lingkungan (ekologis) untuk menyerap gangguan atau tekanan tanpa berubah menjadi bentuk yang tidak diinginkan, melakukan pengorganisasian diri dalam menghadapi perubahan dan tidak bergantung pada lainnya, serta beradaptasi dan belajar sehingga sistem dapat terus berkembang. Konsep resiliensi Folke menekankan pada transformasi, reorganisasi, dan pembaruan. Teori ini diperlukan untuk memahami bagaimana masyarakat serta ekosistem di wilayah 3T menghadapi tantangan.

Daerah 3T menghadapi tantangan infrastruktur, degradasi lingkungan, dan keterbatasan air bersih. Untuk mendukung resiliensi sosial-ekologis, dibutuhkan teknologi tepat guna yang sesuai kapasitas lokal. Sistem filtrasi GDM berpotensi menjadi solusi dengan memperkuat kemandirian dan adaptasi komunitas, sekaligus melengkapi kerangka keadilan ekologis melalui distribusi manfaat yang adil dan partisipatif.

c. Teori Konstruksi Sosial atas Teknologi (*Social Construction of Technology*)

Teori ini mengatakan bahwa teknologi tidak berkembang secara linier atau netral, melainkan dibentuk oleh dinamika sosial, persepsi, dan interaksi antar individu sebagai aktor sosial (Pinch & Bijker, 1984). Teori ini menjelaskan bahwa makna dan fungsi teknologi seperti sistem filtrasi GDM tidak melekat pada alat itu sendiri, tetapi lahir dari proses sosial yang berlangsung dalam masyarakat yang menggunakannya. Dalam konteks wilayah 3T, pendekatan ini penting karena menunjukkan bahwa keberhasilan adopsi GDM sangat bergantung pada cara masyarakat memaknai teknologi tersebut, bukan sekadar pada efisiensi teknisnya. Misalnya, di Desa Kokotajaya, meskipun air hujan merupakan sumber utama, sebagian warga menganggapnya tidak layak konsumsi karena kontaminasi abu gunung. Persepsi semacam ini membentuk tingkat penerimaan GDM dan menentukan apakah teknologi tersebut benar-benar akan diadopsi secara berkelanjutan.

Dalam konteks penelitian ini, fokus utama adalah bagaimana teknologi seperti *gravity-driven membrane* (GDM) dapat diterima atau ditolak berdasarkan cara masyarakat memaknai teknologi tersebut, bukanlah hanya bagaimana kepercayaan memperlancar adopsi teknologi. Telah dipertimbangkan menggunakan teori modal sosial, yang mana relevan dalam menjelaskan bagaimana jaringan relasi, kepercayaan, dan norma komunitas dapat memperkuat adaptasi dan kolaborasi masyarakat dalam menghadapi perubahan (Kusumastuti, 2015; Singgalen, 2020). Namun, sebagaimana ditulis dalam kajian tersebut, teori ini tidak menelusuri bagaimana teknologi dibentuk dan dimaknai secara sosial oleh para aktor. Oleh karena itu, diperlukan teori yang mampu menjelaskan bagaimana masyarakat membentuk dan memaknai teknologi itu sendiri. Maka dari itu, SCOT dipilih untuk melihat dimensi tersebut lebih dalam, bagaimana pengalaman, pengetahuan lokal, dan persepsi kolektif membentuk relasi

masyarakat terhadap teknologi. Lebih jauh lagi, penggunaan SCOT selaras dengan tujuan penelitian ini, yakni untuk mengungkap bagaimana masyarakat wilayah 3T mengonstruksi makna atas teknologi pengolahan air hujan berbasis GDM, serta bagaimana konstruksi makna tersebut memengaruhi tingkat penerimaan, keberlanjutan, dan terwujudnya keadilan ekologis.

2. Penelitian Terdahulu & Gap Penelitian

Berbagai studi terdahulu menunjukkan bahwa sistem filtrasi GDM merupakan solusi penyediaan air bersih di wilayah yang minim infrastruktur. Secara internasional, penelitian Peter et al. (2015) dan Ding et al. (2017) menyoroti keunggulan GDM yang mampu beroperasi tanpa listrik dalam jangka panjang serta mempertahankan fluks yang stabil dengan kemampuan menghilangkan patogen secara efektif. Dalam kerangka konteks Indonesia, Sudiyani et al. (2022) menegaskan efektivitas GDM dalam menurunkan jumlah bakteri fekal dan kejadian diare pada sekolah pedesaan, mengindikasikan dampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Namun, sebagian besar studi, termasuk yang dilakukan oleh Muktiningsih & Putri (2021), berfokus pada aspek teknis seperti efisiensi penyaringan dan kualitas air hasil filtrasi. Belum banyak yang secara eksplisit mengeksplorasi aspek sosial-budaya, seperti persepsi masyarakat terhadap air hujan sebagai sumber air minum atau tantangan dalam adopsi teknologi ini dalam konteks lokal. Oleh karena itu, potensi penerapan teknologi ini dalam konteks komunitas rentan belum tergali secara menyeluruh.

Urgensi terletak pada bagaimana cakupan sebagian besar kajian sistem GDM masih berfokus pada dimensi teknis dan nyaris tak menyentuh aspek sosial budaya di wilayah 3T. Padahal, ketimpangan akses air bersih tidak hanya persoalan infrastruktur, tetapi juga sosial. Karena itu, riset ini penting untuk menghadirkan integrasi antara analisis teknis dengan sosiologis, dengan tujuan agar teknologi yang digunakan dalam menyelesaikan masalah ini, dalam konteks adalah sistem filtrasi *gravity-driven membrane* atau filtrasi berbasis membran bertenaga gravitasi, dapat dilihat dari sisi teknis filtrasinya dan dipahami dalam kerangka sosial. Kerangka sosial yang dimaksud adalah bagaimana GDM dapat diterima, dimaknai, dan dioperasikan oleh masyarakat di daerah 3T.

Dengan kerangka tersebut, penelitian ini mendesak dilakukan untuk mengisi kekosongan akademik dan sekaligus berkontribusi pada masyarakat secara luas. Integrasi perspektif sosiologi lingkungan dan sosiologi teknologi diharapkan mampu membuka pemahaman baru bahwa keberhasilan adopsi GDM di wilayah 3T sangat ditentukan oleh sejauh mana teknologi ini diposisikan dalam kehidupan sosial masyarakat.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini, dibahas mengenai aspek teknis, sosial, eksklusi, maupun keadilan ekologis yang berkaitan dengan peluang penerapan teknologi GDM di masyarakat wilayah 3T berdasarkan hasil studi literatur dan analisis kondisi masyarakat.

1. Ringkasan Studi Terpilih

Sebanyak 7 artikel memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis. Tabel 1 merangkum detail masing-masing studi, mencakup penulis, judul, tahun, negara, metode, dan temuan utama.

Tabel 3. Ringkasan Penelitian Terdahulu tentang GDM

Nama Penulis	Judul & Tahun	Negara	Metode	Temuan Utama
Maryna Peter (dengan tim Eawag: Selina Derksen, Rick Johnston, Regula Meierhofer, Carina Flückiger, Wouter Pronk, et al.)	*Gravity-driven membrane disinfection for household water treatment*. Eawag Final Report, 2015	Swiss (Eawag – ETH Domain), studi lapangan di Kenya & Bolivia	Proyek multi-negara (Kenya, Bolivia) untuk merancang, membuat prototipe, dan uji lapangan sistem GDM skala rumah tangga/komunitas; mengevaluasi kelayakan teknis, sosial, dan ekonomi. Menggunakan modul membran UF 20-40 nm	Fluks stabil 4–10 L/m² jam tanpa perawatan selama 5–8 tahun; efektif menghilangkan bakteri/virus bahkan pada air keruh; sesuai untuk komunitas terpencil dan sumber daya rendah; desain disesuaikan dengan preferensi pengguna dan produksi lokal.
An Ding, Jinlong Wang, Dachao Lin, Xiaobin Tang, Xiaoxiang Cheng, Hui Wang, Langming Bai, Guibai Li, Heng Liang	*A low pressure gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling: Flux stabilization and removal performance*. Chemosphere, 2017	Tiongkok	Sistem GDM skala laboratorium untuk mengolah air hujan tersimpan dibandingkan air ledeng (kontrol) selama 60 hari; memantau fluks, pembentukan *biofouling*, dan kualitas air.	Fluks air hujan stabil pada 6–6,5 L/m² jam; air ledeng 4 L/m² jam. Penghilangan bakteri/kekeruhan baik; penghilangan DOC rendah karena rendahnya penolakan terhadap organik bermassa molekul kecil. *Fouling* sebagian besar dapat dibersihkan secara fisik; biofilm pada air hujan memiliki aktivitas biologis lebih tinggi.
Dongwhi Lee, Yuri Lee, Shin Sik Choi, Sang-Ho Lee, Kyoung-Woong Kim, Yunho Lee	*Effect of membrane property and feed water organic matter quality on long-term performance of the gravity-driven membrane filtration process*. Environmental Science and Pollution Research, 2017	Korea Selatan	Filtrasi GDM berkelanjutan selama 500 hari dengan membran UF/MF berbeda untuk mengolah air danau dengan variasi kandungan organik; memantau fluks dan penghilangan mikroba.	Fluks turun menjadi ~8 L/m² jam dalam minggu pertama; stabil pada ~5 L/m² jam (organik rendah) dan ~2 L/m² jam (organik tinggi). Penghilangan E. coli >5 log; bakteri total 1–2 log; virus 1,5–2,4 log. Sifat membran berdampak minimal; kualitas air baku faktor dominan.
Yiran Wang, Luca Fortunato, Sanghyun Jeong, TorOve Leiknes	*Gravity-driven membrane system for secondary wastewater effluent treatment: Filtration performance and fouling characterization*. Separation and Purification Technology, 2017	Arab Saudi, Korea Selatan	Sistem GDM *flat-sheet* terendam skala laboratorium mengolah efluen sekunder konsentrasi rendah/tinggi; menggunakan TOC, OCT, dan CLSM digunakan untuk analisis *biofouling*.	Fluks stabil 2–20 L/m² jam tanpa *backwashing*; *fouling* sebagian besar dapat dibersihkan secara fisik. Kualitas efluen tetap tinggi; morfologi *biofilm* terkait variasi fluks; OCT efektif untuk pemantauan *fouling* secara real-time.
Jonghun Lee, Kwang Pyo Son, Pyung-Kyu Park, Soo Hong Noh	*Performance and cost comparison of a gravity-driven free-end membrane and other water filtration systems for household water treatment*. Water Supply, 2020	Korea Selatan	Uji laboratorium membandingkan E-GDM dengan filter GDM komersial menggunakan suspensi kaolin dan influen instalasi pengolahan air limbah; menilai permeabilitas, laju aliran, dan biaya.	E-GDM memiliki permeabilitas tertinggi (12,94 L/m² jam·kPa dengan kaolin) dan umur pakai terpanjang (79.858 L air). Semua sistem memenuhi kebutuhan harian keluarga 5 orang kecuali GDM komersial dengan air limbah. Biaya tahunan E-GDM sekitar US$5,71 per rumah tangga.
S. D. Muktiningsih, D. M. A. R. M. S. Putri	*Studi potensi penggunaan air hujan sebagai air bersih dengan saringan gravitasi media sederhana: A review*. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science, 2021	Indonesia	Studi literatur tentang filtrasi air hujan menggunakan media sederhana berbasis gravitasi; menilai jenis filter, susunan, ketebalan, dan kinerja dibandingkan dengan standar kualitas air di Indonesia.	Filtrasi media sederhana mengurangi kekeruhan, TDS, Pb, arsenik, koliform, kesadahan, dan nitrat (>50% efisiensi),. Media efektif: kerikil, zeolit, karbon aktif, pasir, kapas, spons; ketebalan optimal 20–105 cm; waktu filtrasi 10–15 menit.
Yanni Sudiyani, Kenneth Widmer,	*Impact of Gravity-Driven Membrane*	Indonesia, Korea	Studi lapangan membandingkan sekolah pedesaan dengan dan	Lokasi GDM menunjukkan penurunan bakteri fekal sebesar

Andreas Andreas, Aprilia Nur Tasfiyati, Zatil Afrah Athaillah, Muryanto Muryanto, Azilah Abd Aziz, Eun Young Lee, Yunho Lee, Suil Kang	*Filtration Water Treatment Systems on a Rural School in Indonesia.* Sustainability, 2022	Selatan, Malaysia	tanpa sistem GDM selama 6 bulan; mengukur kualitas air dan kejadian diare pada siswa.	2-log; lokasi kontrol melebihi >3,38 log CFU/100mL. Kejadian diare menurun dari 0,077 menjadi 0,052 di lokasi GDM; lokasi kontrol tidak berubah.

Sumber: Hasil kajian penulis

2. Temuan Kajian Literatur Berdasarkan Tema *Gravity-Driven Membrane* dan Adopsinya

a. Kinerja dan Keefektifan Teknis GDM

Sistem filtrasi *gravity-driven membrane* atau filtrasi berbasis membran bertenaga gravitasi (GDM) menunjukkan efektivitas optimal dalam menyaring kontaminan terkandung dalam berbagai air mentah, termasuk kekeruhan, *Eschericia coli*, *total coliform*, logam berat, dan lainnya. Dalam penelitian oleh Peter et al. (2015), sistem GDM secara signifikan mampu menurunkan konsentrasi patogen *Eschericia coli* lebih dari 5 log unit dan mikrobiologis *total coliforms* lebih dari 4 log unit, tanpa penggunaan bahan kimia dan dengan fluks rendah yang tetap stabil selama 50 hari. Hal serupa ditemukan oleh Ding et al. (2017) dan Lee et al. (2020), sistem GDM digunakan untuk menyaring air hujan dan air permukaan tercemar terbukti mampu mengurangi parameter mikrobiologis *E. coli* dan *total coliforms* di bawah ambang batas yang ditetapkan WHO terhadap kualitas air minum.Sudiyani et al. (2022) juga mencatat penurunan kekeruhan dari 47,1 NTU menjadi 0,1 NTU dan *total coliform* dari 2.400 MPN/100 ml menjadi 0, sesuai dengan standar baku mutu air minum di Indonesia.

Konfigurasi sistem yang berbeda menawarkan efisiensi yang berbeda pula. Konfigurasi *extended* GDM (E-GDM) memberikan performa yang lebih konsisten tanpa memerlukan proses *backwashing* tambahan dalam masa uji coba (Lee et al., 2020). Sementara itu, konfigurasi GFFS (*Gravity-Fed Flat Sheet*) seperti yang digunakan oleh Peter et al. (2015), menampilkan fluks permeat/ laju air hasil filtrasi yang stabil antara 3–5 L/m²/jam, terutama saat pasir diterapkan saat masa pre-filtrasi. Ding et al. (2017) menemukan proses pre-filtrasi mampu menjaga kestabilan fluks jangka panjang, namun pengoperasian sistem secara *intermittent* akan memperlambat laju *fouling* dan mengurangi efisiensi total filtrasi.

Meskipun sistem GDM dapat diaplikasikan pada berbagai sumber air, seperti air hujan (Lee et al., 2020), air sungai tercemar ringan (Peter et al., 2015), dan air permukaan pedesaan (Sudiyani et al., 2022), sistem ini tidak lepas dari persoalan teknis. Persoalan yang menonjol adalah pembentukan biofouling pada permukaan membran, di mana biofouling ini terbentuk dari biomassa dan senyawa organik terlarut. Meskipun, lapisan biofilm menyebabkan penurunan fluks awal, namun aktivitas biologis dalam biofilm dapat menstabilkan fluks pada laju 2-10 L/m2.h sehingga dapat beroperasi dalam jangka panjang tanpa pembersihan menggunakan bahan kimia (Ding et al., 2017; Lee et al., 2017). Kelemahan sistem GDM juga berkaitan dengan senyawa organik terlarut atau *dissolved organic carbon* (DOC). Meskipun efektif dalam mengurangi kekeruhan dan mikroorganisme patogen, sistem GDM memiliki kemampuan terbatas dalam menghilangkan DOC, terutama senyawa organik molekul rendah seperti fulvat (Ding et al., 2017). Studi oleh Lee et al. (2020) menunjukkan bahwa pendegradasian sebagian DOC oleh biofilm, namun tingkat efisiensi masih relatif rendah tanpa tambahan media, seperti karbon aktif. Permasalahan lain adalah

fluktuasi fluks permeat, terutama jika air memiliki kandungan DOC yang tinggi. Ding et al. (2017) melaporkan bahwa penurunan drastis pada tahap awal masih menjadi tantangan signifikan, meskipun fluks akhir stabil pada sekitar 6–6,5 L/m² ·h setelah 60 hari. Hasil serupa ditunjukkan oleh Lee et al. (2017), di mana fluks cepat menurun hingga ~8 L/m² ·h dalam satu minggu, kemudian menurun lebih jauh hingga 2 L/m² ·h ketika air baku memiliki kandungan organik tinggi.

b. Persepsi dan Penerimaan Sosial terhadap Air Hujan dan Teknologi GDM

Batubara (2017) menegaskan bahwa ketimpangan akses terhadap sumber daya air bukanlah akibat dari kondisi ekologis semata, melainkan hasil dari relasi kuasa yang timpang. Dalam konteks Indonesia, relasi kuasa ini semakin diperkuat oleh struktur ekonomi-politik yang didominasi oleh oligarki yang mempengaruhi arah kebijakan dan distribusi sumber daya (Robison & Hadiz, 2004). Dominasi elite ekonomi dan politik dalam pengambilan keputusan menyebabkan pembangunan infrastruktur air lebih berorientasi pada kepentingan investasi dan pertumbuhan ekonomi daripada pada kebutuhan masyarakat lokal. Hal ini melahirkan eksklusi, di mana wilayah-wilayah 3T terpinggirkan dari prioritas pembangunan, baik dari sisi alokasi anggaran maupun pengembangan teknologi. Dalam situasi ini, air menjadi arena perebutan kekuasaan. Sedangkan, masyarakat di wilayah 3T terpinggirkan secara geografis sekaligus secara politik dalam pengelolaan sumber daya air.

Ketermarjinalan masyarakat di daerah 3T menyebabkan mereka sangat rentan dan terlepas dari proses perencanaan dan pengambilan keputusan nasional, sehingga menyebabkan kesenjangan pembangunan semakin melebar. Kesenjangan di daerah 3T ini menciptakan hambatan dalam pengimplementasian teknologi, seperti GDM. Hambatan berupa dari aspek material (minimnya infrastruktur dan sumber daya pendukung lainnya) dan aspek sosial (rendahnya literasi teknologi dan terbatasnya pendampingan). Sebaliknya, wilayah perkotaan yang lebih diperhatikan dalam perencanaan pembangunan memiliki kapasitas kelembagaan, dukungan kebijakan, dan akses sumber daya yang mempermudah adopsi teknologi. Keterpinggiran struktural yang dialami wilayah 3T tidak hanya menghambat distribusi teknologi, tetapi juga mempengaruhi cara masyarakat membangun persepsi, makna, dan kepercayaan terhadap inovasi yang ditawarkan.

Meskipun sistem filtrasi GDM menjanjikan secara teknis, keberhasilannya ditentukan oleh pemahaman dan penilaian masyarakat. Studi Mandiangan et al. (2024) di Desa Kokotajaya menunjukkan bahwa air hujan dipandang sebagai "air aki" karena tercemar abu gunung dan menimbulkan keluhan kesehatan sehingga dianggap tidak layak konsumsi. Persepsi ini muncul dari pengalaman langsung tanpa adanya sistem filtrasi memadai. Tantangan besar muncul jika GDM diperkenalkan tanpa edukasi dan pelibatan sosial. Namun, Muktiningsih & Putri (2021) membuktikan bahwa intervensi edukatif dan pengenalan filtrasi dapat meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap air hujan yang difiltrasi.

Secara teknis, sistem GDM memungkinkan masyarakat terlibat langsung dalam perakitan karena berbahan sederhana seperti drum, pasir, kerikil, dan membran. Hal ini menumbuhkan rasa memiliki serta memudahkan penggunaan sehari-hari. Peter et al. (2015) menegaskan keberhasilan adopsi GDM terkait desainnya yang *low-maintenance*, tanpa listrik, dan tidak memerlukan operator khusus, sehingga cocok untuk daerah 3T.

Meski sistem GDM sederhana sehingga diekspektasikan akan mudah digunakan, studi menunjukkan bahwa masyarakat belum tentu langsung menerima sistem GDM ini. Dalam studi berupa *pilot project* yang dilakukan oleh Sudiyani et al. (2022) menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi sistem GDM, terutama di Indonesia, tidak hanya tergantung pada teknologinya saja, tetapi juga pada proses adaptasi secara bertahap, yaitu oleh pendampingan intensif dan demonstrasi fungsi dari sistem GDM dalam jangka waktu. Selain itu, persepsi masyarakat terhadap air hujan perlu disesuaikan. Studi Mandiangan et al. (2024) di Desa Kokotajaya menunjukkan bahwa air hujan dipandang sebagai "air aki" karena tercemar abu gunung dan menimbulkan keluhan kesehatan sehingga dianggap tidak layak konsumsi Selama tiga bulan awal, kualitas air dipantau hingga memenuhi standar Kemenkes sebelum dikonsumsi siswa dengan pengawasan guru (Sudiyani et al., 2022). Proses ini membangun kepercayaan masyarakat, terbukti dengan menurunnya kasus diare dan meningkatnya penerimaan pengguna berkat keterlibatan sekolah. Dengan demikian, GDM memerlukan fase pembuktian dan pendampingan sosial agar dapat diterima dan dimanfaatkan berkelanjutan oleh masyarakat setempat.

c. Dampak Implementasi GDM terhadap Kesehatan dan Kemandirian Masyarakat 3T

Implementasi sistem GDM terbukti meningkatkan kesehatan masyarakat 3T. Sudiyani et al. (2022) menunjukkan bahwa pemurnian air hujan dengan GDM menurunkan kontaminasi mikroba, memperbaiki kualitas air (turbiditas, E. coli), serta menekan risiko penyakit air seperti diare pada anak-anak dan kelompok rentan. Teknologi ini menyediakan air layak konsumsi berbiaya rendah tanpa listrik, sehingga ideal untuk komunitas terpencil dan mendukung kemandirian pengelolaan air.

Studi di Desa Kokotajaya, Halmahera Utara menunjukkan adanya hambatan struktural dan kultural dalam pemanfaatan GDM. Meski warga terbiasa memanen air hujan, persepsi negatif tetap ada—air hujan dianggap menyebabkan gatal, sakit perut, kerusakan gigi, bahkan diibaratkan seperti "air aki" akibat abu gunung (Mandiangan et al., 2024). Persepsi ini melemahkan upaya pengolahan air hujan, meskipun masyarakat memiliki kapasitas lokal untuk mengelolanya.

Tantangan utama di wilayah 3T adalah keterbatasan dukungan struktural akibat minimnya infrastruktur, edukasi, dan ketimpangan kebijakan pembangunan. Meski kebutuhan air bersih kerap disuarakan dalam musrenbang, pemerintah belum memberi dukungan nyata. Karena itu, teknologi GDM menjadi penting sebagai solusi adaptif dan terdesentralisasi. Namun, keberhasilannya bergantung pada perancangan yang partisipatif serta integrasi dalam kebijakan lokal yang responsif terhadap ketimpangan sosial.

d. Analisis Sosiologi atas Temuan Mengenai *Gravity-Driven Membrane*

a) Efektivitas Teknis Saja Tidak Menjamin Keberlanjutan tanpa Dukungan Sosial

Berbagai studi yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem *gravity-driven membrane* atau filtrasi berbasis membran bertenaga gravitasi (GDM) memiliki kinerja teknis dapat mengatasi dengan efektif mengenai kekeruhan, serta menyaring mikroorganisme patogen dan DOC (Ding et al., 2017; Lee et al., 2017; Lee et al., 2020; Peter et al., 2015). Namun, keberhasilan sistem dalam pengolahan air tidak serta-merta menjamin keberlanjutan implementasinya di masyarakat, terutama di wilayah 3T. Tidak ada artinya suatu keefektifan sistem bila masyarakat tidak bersedia mengadopsi

atau tidak memahami cara kerja dan manfaat sistem tersebut. Hal ini menjadi dasar penting untuk menggeser fokus dari sekadar performa teknis menuju pentingnya penerimaan sosial. Oleh karena itu, teori Konstruksi Sosial atas Teknologi menjadi penting. Pinch & Bijker (1984) menyebutkan bahwa teknologi tidak berkembang secara linier atau netral, melainkan dibentuk oleh dinamika sosial, persepsi, dan interaksi antar individu sebagai aktor sosial. Dalam konteks ini, filtrasi GDM juga termasuk dalam produk sosial yang keberhasilannya sangat tergantung sejauh mana masyarakat memahami, menerima, dan menilai teknologi tersebut sebagai solusi atas kebutuhan mereka.

Keberhasilan GDM bergantung pada perubahan persepsi masyarakat melalui pendekatan yang sesuai karena dipengaruhi oleh makna sosialnya dalam masyarakat. Di wilayah 3T, air hujan bukanlah sekedar sumber daya alam, melainkan juga merupakan bagian dari kepercayaan dan pengetahuan lokal mereka. Hal ini membentuk bagaimana mereka menilai kelayakan dan keamanan air tersebut. Studi Mandiangan et al. (2024) menunjukkan bahwa meskipun air hujan adalah sumber utama air minum, sebagian masyarakat menilai bahwa air hujan dapat menimbulkan gangguan kesehatan karena tercemar abu vulkanik. Persepsi ini menunjukkan bahwa keputusan untuk menggunakan atau menolak air hujan bukan hanya persoalan teknis, melainkan hasil dari konstruksi sosial yang dibentuk oleh pengalaman historis, kondisi ekologis setempat, dan nilai-nilai budaya. Oleh karena itu, perlu diciptakan citra bahwa air hasil filtrasi menggunakan GDM aman, sehingga dipandang positif, aman, mudah, dan selaras dengan nilai lokal.

Dalam hal ini, teori Konstruksi Sosial atas Teknologi menjadi penting untuk diterapkan dalam usaha mempelajari bagaimana makna "air hujan" dikonstruksikan secara sosial, serta bagaimana makna tersebut memengaruhi penerimaan teknologi seperti sistem filtrasi GDM. Jika air hujan dimaknai sebagai sesuatu yang "berbahaya", maka teknologi pengolahannya pun akan dipersepsikan secara negatif, seberapa pun efektifnya secara teknis. Sebaliknya, jika melalui interaksi sosial, pengetahuan lokal, dan penyuluhan partisipatif masyarakat mulai memaknai air hujan sebagai sumber air bersih yang aman dan bernilai, maka GDM akan diterima bukan hanya sebagai alat filtrasi air, tetapi sebagai solusi yang sesuai dengan budaya dan pengalaman historis mereka.

Keamanan GDM bergantung kualitas filtrasi air dan pembangunan makna sosialnya melalui pendekatan partisipatif yang dimulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi dan diterapkan secara *bottom-up*. Pemaknaan sosial ini tidak dapat dipisahkan dari nilai-nilai lokal, praktik sehari-hari, dan struktur sosial masyarakat 3T. Karena itu, keberhasilan implementasi GDM sangat bergantung pada kemampuan teknologi tersebut untuk "berdialog" dengan makna yang ada dalam masyarakat. Pendekatan partisipatif menjadi penting untuk membangun makna baru yang positif terhadap air hujan dan teknologi penyaringannya. Hal ini sejalan dengan pemikiran Belgrave et al. (2022), teknologi harus dirancang sesuai dengan nilai dan konteks budaya lokal. Pendekatan ini penting di wilayah 3T karena penerimaan inovasi dipengaruhi nilai dan struktur sosial masyarakat. Jika teknologi seperti GDM dikembangkan bersama masyarakat, rasa memiliki meningkat, resistensi berkurang, dan keberlanjutan terjamin. Sebaliknya, teknologi yang hadir tanpa pelibatan masyarakat berisiko ditolak atau tidak dimanfaatkan meski efektif secara teknis.

b) Keadilan Ekologis dalam Akses Air Bersih dan Eksklusi Struktural di Wilayah 3T

Secara klimatologis, Indonesia merupakan negara kepulauan tropis yang ditandai dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun (BMKG, 2022). Namun, realitas akses terhadap air minum yang bersih dan aman masih jauh dari merata, khususnya di wilayah 3T. Meskipun demikian, data Badan Pusat Statistik (2024) menunjukkan bahwa 12,94% rumah tangga pedesaan belum memiliki akses ke sumber air minum layak, dan hanya 27,89% penduduk Papua yang dapat mengakses sumber air minum aman. Fenomena ini menggambarkan paradoks kelimpahan air, yaitu sumber daya air secara alami tersedia melimpah, namun distribusinya sangat timpang. Paradoks ini, sebagaimana dijelaskan oleh Batubara (2017), menunjukkan bahwa persoalan air tidak semata-mata ditentukan oleh kondisi ekologis dan klimatologis, melainkan oleh kekuasaan dan keputusan politik yang mengatur siapa yang "berhak" atas sumber daya air dan siapa yang tidak.

Ketimpangan tersebut terjadi akibat eksklusi struktural yang berakar pada relasi kuasa dalam kebijakan pembangunan. Dalam kerangka ekologi yang diproduksi secara politis (Batubara, 2017), pengelolaan air tidak dapat dipahami sebagai proses netral, karena selalu dipengaruhi oleh kepentingan aktor dominan yang memiliki akses terhadap sumber daya dan pengambilan keputusan. Dalam kebijakan pembangunan, permintaan air bersih yang sering disuarakan dalam musrenbang diabaikan (Mandiangan et al., 2024), mencerminkan bagaimana masyarakat lokal disisihkan oleh elit politik. Eksklusi diperburuk oleh kebijakan *top-down* yang menghadirkan air bersih tanpa partisipasi masyarakat, sehingga tidak sesuai dengan konteks lokal. Ini menyebabkan efektivitas, keberlanjutan, dan kemandirian masyarakat terancam. Dalam perspektif ekologi politis air, ketimpangan tersebut tidak hanya soal akses yang timpang, tetapi juga mengenai kontrol terhadap siapa yang memiliki kuasa untuk mendefinisikan masalah dan menentukan solusi. Dengan pendekatan *bottom-up*, masyarakat dilibatkan sejak perencanaan hingga pemeliharaan sistem filtrasi GDM, memanfaatkan pengetahuan lokal serta pelibatan dalam perakitan dan pelatihan untuk memperkuat rasa kepemilikan dan kontrol masyarakat terhadap teknologi. Hal in sejalan dengan gagasan oleh Batubara (2017) bahwa resistensi terhadap eksklusi sering kali tumbuh dari praktik-praktik lokal yang membangun otonomi dalam pengelolaan air.

Pendekatan ini sesuai dengan tiga dimensi keadilan ekologis: distributif (pemerataan manfaat dan beban lingkungan), partisipatif (keterlibatan kelompok terdampak dalam keputusan), dan pengakuan (penghargaan terhadap perspektif dan pengetahuan lokal) (Schlosberg & Collins, 2014). Dalam dimensi distribusi, wilayah 3T minim infrastruktur sehingga memaksa masyarakat bergantung pada sumber air tidak aman seperti sungai, sumur dangkal, atau air hujan tak terolah (Cantiqa et al., 2024). Hal ini diperparah oleh degradasi lingkungan yang justru lebih banyak membebani komunitas lokal yang tidak menjadi penyebab utama kerusakan tersebut (Martinez-Alier, 2002). Dalam dimensi partisipatif, Schlosberg & Collins (2014) menegaskan pentingnya pelibatan masyarakat dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam. Namun, sebagaimana ditunjukkan oleh Batubara (2017), relasi kuasa mengenai pembangunan di Indonesia masihlah timpang sehingga membuat proses partisipasi hanyalah ajang formalitas saja dan mengabaikan kebutuhan suara lokal, seperti dalam kasus musrenbang Desa Kokotajaya.

Schlosberg & Collins (2014) juga menekankan pentingnya pengakuan perspektif lokal dan pengakuan lokal. Di wilayah 3T, praktik pemanfaatan air hujan beragam, namun persepsinya berbeda-beda. Misalnya, di Desa Kokotajaya, air hujan dianggap "air aki" yang menyebabkan penyakit akibat abu vulkanik (Mandiangan et al., 2024). Pandangan ini menunjukkan bahwa pengalaman membentuk cara masyarakat memaknai air hujan. Tanpa sosialisasi dan bukti nyata efektivitas GDM dalam menghasilkan air bersih, potensi penolakan masyarakat terhadap teknologi ini akan tetap tinggi. Berdasarkan analisis keadilan ekologi, sistem filtrasi GDM berpotensi mengatasi kesenjangan akses air bersih di daerah 3T. Namun, keberhasilannya bergantung pada pendekatan bottom-up yang melibatkan partisipasi aktif dan integrasi pengetahuan lokal untuk menumbuhkan rasa kepemilikan serta keberlanjutan penggunaannya.

Schlosberg & Collins (2014) menyoroti tiga dimensi penting keadilan ekologis—distributif, partisipatif, dan pengakuan—yang menuntut pemerataan manfaat dan risiko lingkungan, keterlibatan langsung masyarakat terdampak dalam pengambilan keputusan, serta penghargaan terhadap pengetahuan lokal. Sedangkan, Batubara (2017) menegaskan bahwa seluruh dimensi tersebut beroperasi dalam konteks relasi kuasa yang membentuk akses, eksklusi, dan resistensi. Melalui perspektif ini, persoalan air seharusnya tidak lagi dipandang sebagai isu teknis semata, melainkan sebagai aspek politik-ekologis yang dapat direstrukturisasi melalui intervensi berbasis partisipasi dan keadilan. Dengan demikian, sistem filtrasi *gravity-driven membrane* (GDM) tidak hanya berperan sebagai solusi dari aspek teknologi, tetapi juga sebagai strategi yang mampu mengubah struktur ketimpangan, memperkuat posisi masyarakat lokal sebagai aktor aktif, dan mengupayakan tata kelola air yang adil serta berkelanjutan.

c) Resiliensi Sosial-Ekologis melalui Teknologi Tepat Guna

Resiliensi sosial-ekologis, menurut Folke (2006), adalah kemampuan sistem manusia dan alam untuk beradaptasi, bertahan, dan bertransformasi tanpa kehilangan fungsi dasar. Dalam keterbatasan air bersih, teknologi filtrasi GDM menjadi solusi tepat guna karena bekerja dengan gaya gravitasi tanpa listrik maupun bahan kimia, serta membutuhkan perawatan minimal. Wang et al. (2017) mencatat sistem ini mampu digunakan hingga berbulan-bulan tanpa backwashing kimia sehingga ideal bagi wilayah 3T.

GDM dapat memperkuat ketahanan sosial-ekologis melalui pendekatan partisipatif yang menempatkan masyarakat sebagai aktor utama adaptasi. Dengan keterlibatan aktif, mereka belajar memahami, merawat, dan menyesuaikan sistem sesuai konteks sosial, budaya, dan ekologis lokal. Peter et al. (2015) menunjukkan bahwa komunitas mampu memodifikasi GDM agar sesuai dengan kapasitas mereka, misalnya dalam pemanenan air hujan, pemanfaatan bahan lokal, dan pengaturan distribusi air rumah tangga. Dengan memanfaatkan sumber daya lokal seperti air hujan dan melibatkan komunitas, GDM mendorong terciptanya sistem penyediaan air yang lebih otonom dan tahan terhadap gangguan eksternal, baik bencana maupun kegagalan kebijakan. Teknologi ini tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga membuka ruang bagi komunitas untuk belajar mengorganisasi diri dan mengembangkan kapasitas menghadapi krisis air bersih. Peningkatan kapabilitas masyarakat menjadi hal yang penting untuk dilakukan sebagai upaya untuk

membebaskan mereka dalam pemenuhan hak dan kewajiban sebagai bagian dari kehidupan pemerintahan (Septimawan Sutopo & Shabrina, 2022).

Studi menunjukkan sistem GDM efektif menyaring kontaminan dan menyediakan air layak konsumsi di daerah terpencil. Namun, keberhasilan adopsinya dipengaruhi faktor sosial, budaya, dan struktural. Persepsi masyarakat, makna kultural, serta keterlibatan mereka dalam implementasi sangat menentukan keberlanjutan. Sebaliknya, eksklusi struktural dan ketimpangan pembangunan menjadi hambatan, terutama di wilayah 3T. Karena itu, kesiapan sosial masyarakat perlu dipahami agar teknologi tidak sekadar hadir, tetapi juga benar-benar diadopsi dan dimaknai positif.

Kajian ini bertujuan untuk menjembatani efektivitas teknis dan konteks sosial-struktural dalam implementasi GDM dengan mengintegrasikan teori SCOT (Social Construction of Technology), keadilan ekologis, dan resiliensi sosial-ekologis. Pendekatan ini penting untuk memahami bagaimana masyarakat 3T menerima dan menggunakan teknologi di tengah ketimpangan struktural. Penelitian semacam ini mendesak dilakukan agar solusi air bersih tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga adil, partisipatif, dan berkelanjutan.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, disimpulkan bahwa kesiapan sosial masyarakat terhadap adopsi teknologi GDM di wilayah 3T ditentukan oleh tiga aspek utama. Pertama, secara teknis, sistem GDM unggul dalam menyaring air hujan secara efektif tanpa listrik maupun bahan kimia. Kedua, dalam persepsi masyarakat, penerimaan sosial masyarakat sangat dipengaruhi oleh konstruksi makna terhadap air hujan dan persepsi terhadap teknologi sehingga membutuhkan intervensi edukatif, demonstrasi teknis, dan pendekatan partisipatif. Ketiga, secara struktural, dukungan negara masih minim, seperti kebijakan pembangunan yang timpang, minimnya infrastruktur air bersih, serta absennya pendampingan berkelanjutan. Dengan demikian, pendekatan interdisipliner dibutuhkan dalam penerapan teknologi GDM demi menyediakan air bersih di wilayah 3T melalui pertimbangan aspek teknis dan perhatian khusus pada konteks sosial-budaya masyarakat lokal. Integrasi efektivitas teknis, penerimaan sosial, dan keadilan distribusi menjadi aspek penting agar teknologi GDM tidak menjadi proyek gagal membumi, melainkan menjadi bagian dari resiliensi sosial-ekologis masyarakat dalam menghadapi krisis air.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah perluasan penggunaan teori sosiologi dalam menganalisis adopsi teknologi dalam konteks wilayah 3T di Indonesia. Dalam penelitian ini, digunakan teori keadilan ekologis oleh Schlosberg dan Batubara, teori resiliensi sosial-ekologis oleh Folke, dan teori SCOT. Pengintegrasian ketiga teori ini memperluas cakupan teori dari hanya berupa analisis makna teknologi menjadi alat untuk memahami posisi teknologi dalam perjuangan keadilan ekologis di wilayah 3T. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam mengisi celah akademik bahwa keberhasilan teknologi GDM tidak hanya ditentukan oleh performa teknisnya, tetapi juga oleh sejauh mana teknologi tersebut dibangun melalui relasi sosial, keadilan distribusi, dan makna diantara masyarakat di daerah 3T.

Selain kontribusi teoritis, penelitian ini juga menawarkan kontribusi praktis berupa rekomendasi kebijakan partisipatif yang berorientasi *bottom-up* untuk menyelesaikan persoalan keadilan ekologi dan ekologi politisair. Sebagaimana

ditegaskan Batubara (2017), distribusi akses air tidak hanya ditentukan oleh kondisi ekologis, tetapi juga oleh relasi kuasa yang membentuk siapa yang memperoleh akses dan siapa yang tereksklusi. Karena itu, kebijakan pengelolaan air bersih tidak cukup berhenti pada penyediaan infrastruktur secara *top-down*, melainkan harus membuka ruang bagi masyarakat terdampak untuk berperan aktif sejak tahap perencanaan, perancangan, implementasi, hingga evaluasi teknologi.

Meski demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena bersifat kajian literatur dan belum diuji melalui pendekatan empiris partisipatif secara langsung di lapangan. Penelitian lanjutan perlu, terutama dengan pendekatan riset lapangan, untuk menggali secara lebih mendalam dinamika sosial dalam penerimaan teknologi dan transformasi makna air di masyarakat 3T.

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Mama tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, serta semangat tanpa henti, bahkan ketika penulis harus menghadapi tantangan kesehatan akibat autoimun. Tanpa kekuatan yang diberikan beliau, proses penulisan dan penerbitan artikel ini tidak akan pernah sampai pada tahap akhir.

Lebih jauh, tulisan ini penulis dedikasikan kepada seluruh masyarakat Indonesia, khususnya yang tinggal di desa-desa dan masih berjuang menghadapi keterbatasan akses terhadap air bersih. Dedikasi ini adalah bentuk solidaritas akademik sekaligus panggilan moral untuk mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/TPB) nomor 6 mengenai Akses Air Bersih Dan Sanitasi Yang Layak Bagi Semua. Air bersih bukanlah sekadar kebutuhan dasar, melainkan hak asasi setiap manusia. Maka, kepada mereka yang hingga kini masih menanti keadilan air, penulis menghadirkan karya ini sebagai suara pengingat bahwa perjuangan belum usai dan harapan harus terus hidup.

REFERENCES

Anam, A. R. (2022). Pemetaan Agroklimat dengan Menggunakan Metode Klasifikasi Iklim Oldeman. *Edudikara: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, *7*(3), 154–165. https://doi.org/10.32585/edudikara.v7i3.293.

Bappenas. (2024). *Laporan Kajian Pasar Sanitasi Aman di Indonesia*.

Batubara, B. (2017). Ekologi Politis Air: Akses, Eksklusi, dan Resistensi. *Wacana*, *35*, 3–23.

Belgrave, A. B., Bermudez, V. N., Chew, P., Lin, Y., Ahn, J., & Bustamante, A. S. (2022). Using a participatory design approach for co-creating culturally situated STEM enrichment activities. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *82*. https://doi.org/10.1016/j.appdev.2022.101451.

BMKG. (2022). *Laporan Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991-2020*.

BPS. (2024). *Persentase Rumah Tangga yang Memiliki Akses terhadap Sumber Air Minum Layak Menurut Provinsi dan Klasifikasi Desa (Persen) 2024*. Badan Pusat Statistik (BPS).

Cantiqa, S. P., Fransisca, T., Nuramallia, C., & Safitri, Z. A. (2024). Pembangunan Infrastruktur Penampungan Air Hujan Untuk Meningkatkan Akses Air Bersih di Papua Selatan. *Triwikrama: Jurnal Ilmu Sosial*, *5*(2), 1–10.

Ding, A., Wang, J., Lin, D., Tang, X., Cheng, X., Wang, H., Bai, L., Li, G., & Liang, H. (2017). A low pressure gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling: Flux stabilization and removal performance. *Chemosphere*, *172*, 21–28. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.111.

Folke, C. (2006). Resilience: The Emergence of a Perspective for Socio-Ecological Systems Analyses. *Global Environmental Change*, *16*(3), 253–267. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.

Hidayat, R., & Farihah, A. W. (2020). Identification of the changing air temperature and rainfall in Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, *10*(4), 616–626. https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.616-626.

Kurniawan, A., Pandu Primadata, A., Fajar, S., Lestari, A., & Putri, A. (2024). Implementation of A Village Fund Allocation Management for Sustainable Rural Development in Sigaluh Sub-District, Banjarnegara. *Jurnal Sosiologi Andalas*, *10*(1), 2024. https://doi.org/10.25077/jsa.10.1.18-29.2024.

Kusumastuti, A. (2015). Modal Sosial dan Mekanisme Adaptasi Masyarakat Pedesaan dalam Pengelolaan dan Pembangunan Infrastruktur. *Masyarakat: Jurnal Sosiologi*, *20*(1), 1–17.

Lee, D., Lee, Y., Choi, S. S., Lee, S. H., Kim, K. W., & Lee, Y. (2017). Effect of membrane property and feed water organic matter quality on long-term performance of the gravity-driven membrane filtration process. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*, 1152–1162. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9627-8.

Lee, J., Son, K. P., Park, P. K., & Noh, S. H. (2020). Performance and cost comparison of a gravity-driven free-end membrane and other water filtration systems for household water treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, *20*(3), 837–850. https://doi.org/10.2166/ws.2020.007.

Little, W., Vyain, S., Scaramuzzo, G., Cody-Rydzewski, S., Griffiths, H., Strayer, E., Keirns, N., & Mcgivern, R. (2023). *Introduction to Sociology – 3rd Canadian Edition* (3rd ed.). BCcampus. https://opentextbc.ca/introductiontosociology3rdedition/.

Machi, L. A., & McEvoy, B. T. (2008). *The Literature Review: Six Steps to Success*. Corwin. https://doi.org/10.4135/9781071939031.

Mandiangan, R., Salem, V., & Santie, Y. (2024). Perilaku Sehat Masyarakat dalam Mengkonsumsi Air Hujan (Tinjauan Sosiologis di Desa Kokotajaya Kabupaten Halmahera Utara). *COMTE: Journal of Sociology Research and Education*, *1*(2), 60–70. https://naluriedukasi.com/index.php/comtejsre/article/view/98.

Martinez-Alier, J. (2002). *The Environmentalism of the Poor*. http://www.unrisd.org.

Muktiningsih, S. D., & Putri, D. M. A. R. M. S. (2021). Study of the potential use of rainwater as clean water with simple media gravity filters: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *733*(1), 1–9. https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012147.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement:

An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Peter, M., Derksen, S., Johnston, R., Meierhofer, R., Flückiger, C., Kage, F., Owino, J., Were, E., Mwango, C., Sodis, F., Choque, S., Rojas, C., Sanchez, E., Mammani, M., Krohn, M., Moreton, P., Campo, O., Bräm, M., Müller, F., & Sutter, M. (2015). *Gravity-driven membrane disinfection for household water treatment (Final report: GDMD project 2010-2014)*. www.eawag.ch.

Pinch, T. J., & Bijker, W. E. (1984). The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. *Social Studies of Science*, *14*(3), 399–441. https://doi.org/https://doi.org/10.1177/030631284014003004.

Robison, R., & Hadiz, V. R. (2004). *Reorganising power in Indonesia: The politics of oligarchy in an age of markets*. Routledge.

Schlosberg, D. (2007). *Defining environmental justice: Theories, movements, and nature*. OUP Oxford.

Schlosberg, D., & Collins, L. B. (2014). From environmental to climate justice: Climate change and the discourse of environmental justice. *WIREs Climate Change*, *5*(3), 359–371. https://doi.org/10.1080/09644016.2013.755387.

Septimawan Sutopo, D., & Shabrina, D. N. (2022). Sprektrum Perencanaan Pembangunan dalam Pengentasan Kemiskinan oleh Pemerintah Desa. *Jurnal Sosiologi Andalas*, *8*(1), 57–68. https://doi.org/10.25077/jsa.8.1.57-68.2022.

Singgalen, Y. A. (2020). Intensification of Social Capital Through Ritual Capital in Indonesia. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, *08*(01), 82–104. https://doi.org/10.22500/8202029421.

Sudiyani, Y., Widmer, K., Andreas, A., Tasfiyati, A. N., Athaillah, Z. A., Muryanto, M., Aziz, A. A., Lee, E. Y., Lee, Y., & Kang, S. (2022). Impact of Gravity-Driven Membrane Filtration Water Treatment Systems on a Rural School in Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, *14*, 1–11. https://doi.org/10.3390/su142113733.

Sumarti, T. (2007). Ekologi Manusia. In *Ekologi Manusia*. Fakultas Ekologi Manusia - IPB.

Wang, Y., Fortunato, L., Jeong, S., & Leiknes, T. O. (2017). Gravity-driven membrane system for secondary wastewater effluent treatment: Filtration performance and fouling characterization. *Separation and Purification Technology*, *184*, 26–33. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.04.027.