

Keadilan Ekologis dari Hulu ke Hilir: Sinergi Multipihak dalam Tata Kelola Air Berbasis *Quintuple Helix*

Aulia Widya Sakina¹, Candra Rusmala Dibyorini², Umbu Domu Mahani³,
Anastasia Adiwirahayu⁴

Submitted: October 1, 2024; Revised: Juni 9, 2025; Accepted: July 2, 2025

Abstrak

Peningkatan kebutuhan air bersih di Kabupaten Magelang menuntut model tata kelola inklusif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengkaji model *Quintuple Helix Innovation* (QHI) dalam pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing, dengan memetakan peran dan sinergi lima aktor: pemerintah, akademisi, DUDI, masyarakat, dan lingkungan. Menggunakan pendekatan kualitatif, data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi partisipatif, dan dokumentasi. Hasilnya menunjukkan bahwa QHI meningkatkan efektivitas distribusi air, memperkuat kelembagaan lokal, serta membangun kesadaran ekologi. Koperasi Darmowarih Tirtolestari menjadi aktor sentral dalam pengelolaan bank air bersih yang didukung oleh sinergi antara pemerintah, akademisi, DUDI, dan masyarakat lokal. Peran lingkungan bukan sekadar objek konservasi, melainkan ruang produksi pengetahuan dan inovasi. Model ini menciptakan sistem pengelolaan air yang efisien dan kolaboratif. Namun, tantangan struktural seperti lemahnya replikasi kebijakan, kapasitas SDM, dan relasi kuasa dalam kebijakan air menunjukkan perlunya reformasi kelembagaan dan keberpihakan ekonomi-politik agar model QHI mampu mewujudkan keadilan ekologis dan transformasi sosial.

Kata kunci: QHI, Tata Kelola Air, Bank Air Bersih, Pembangunan Berkelanjutan

Abstract

The increasing demand for clean water in Magelang Regency necessitates an inclusive and sustainable governance model. This study aims to examine the Quintuple Helix Innovation (QHI) model in community-based clean water bank management on the slopes of Mount Sumbing by mapping the roles and synergy of five key actors: government, academia, business/industry (DUDI), community, and the environment. Using a qualitative approach, data were collected through in-depth interviews, participatory observation, and document analysis. The findings reveal that QHI improves water distribution efficiency, strengthens local institutions, and fosters ecological awareness. Koperasi Darmowarih Tirtolestari serves as the central actor in managing the water bank, supported by the synergy among government, academia, business actors, and the local community. The environment is not merely an object of conservation but also a space for knowledge and innovation production. While the model creates a collaborative and efficient governance system, structural challenges such as weak policy replication, limited human resource capacity, and power relations in water governance highlight the need for institutional reform and strong political-economic commitment to realize ecological justice and social transformation.

Keywords: QHI, Water Governance, Clean Water Bank, Sustainable Development

Pendahuluan

Peningkatan aktivitas pembangunan dan pertumbuhan penduduk berdampak langsung pada meningkatnya kebutuhan air bersih yang layak konsumsi (Djuwita et al., 2021; Liu & Cao, 2021; Widyarani et al., 2022). Rata-rata jumlah

air bersih yang dihabiskan untuk konsumsi rumah tangga Indonesia sekitar 13.373,279 hingga 20.848,902 juta m³/tahun (Badan Pusat Statistika; & Kementerian Dalam Negeri, 2021). Ketimpangan antara permintaan dan ketersediaan air menyebabkan air bersih

¹ Sekolah Tinggi Pembangunan Masyarakat Desa APMD Yogyakarta, Indonesia (email correspondence: auliawidyasakina@apmd.ac.id)

² Sekolah Tinggi Pembangunan Masyarakat Desa APMD Yogyakarta, Indonesia (email: c_rusmaladibyorini@apmd.ac.id)

³ Arizona State University, Arizona, United State (email: umahani@asu.edu)

⁴ Sekolah Tinggi Pembangunan Masyarakat Desa APMD, Yogyakarta, Indonesia (email: anastasiaadiwirahayu@apmd.ac.id)

menjadi komoditas yang semakin langka, terutama di daerah yang mengalami tekanan ekologis dan urbanisasi cepat (Bisung & Elliott, 2018; Tri Prasetya et al., 2013). Proyeksi untuk tahun 2050 menunjukkan bahwa permintaan global untuk air minum saja dapat tumbuh hingga 55% padahal ketersediaan sumber daya air semakin menurun (Unesco. & World Water Assessment Programme (United Nations), 2006).

Beberapa kawasan di Pulau Jawa, sebagai pusat pembangunan infrastruktur dan ekonomi, mengalami bencana kekeringan yang parah akibat dari perubahan iklim global (Purwanto, 2020), perluasan wilayah pertanian dan perkotaan, pemanfaatan air berlebihan sebagai hasil dari pertumbuhan ekonomi, keterbatasan fasilitas suplai air, serta minimnya manajemen risiko dan upaya pencegahan bencana kekeringan (Suaib & Nain, 2023; Zubaedi, 2013). Tahun 2019, BNPB melaporkan 129 peristiwa kekeringan yang menyebabkan krisis air bersih. Peristiwa kekeringan terbanyak terjadi di Jawa Tengah, yakni sebanyak 30 peristiwa (Ife & Tesoriero, 2014).

Upaya pemerintah untuk mewujudkan akses universal air bersih yang bisa diakses setiap saat oleh masyarakat dan kualitasnya memenuhi standar kesehatan (Asian Development Bank (ADB), 2016; Kolokytha, 2022) belum membawa hasil karena ketersediaan anggaran masih jauh dari kebutuhan (Asian Development Bank (ADB), 2016). Bahkan, berdasarkan data USAID dan IUWASH tahun 2019, Indonesia berada pada peringkat terakhir masalah akses air bersih dan sanitasi di ASEAN (Zhang et al., 2017). Meskipun Indonesia negara kaya air secara global (Bappenas RI, 2020), tetapi disparitas wilayah membuat sejumlah daerah seperti Kabupaten Magelang menghadapi krisis air bersih, terutama di musim kemarau (Marinoski et al., 2018; Hertiavi et al., 2021).

Sebagai bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Progo yang berisiko kekeringan menengah-tinggi (Liyantono et al., 2022). Kabupaten Magelang menghadapi tantangan serius dalam menjamin akses universal terhadap air bersih. Upaya pemerintah melalui *dropping air* dan pembangunan SPAM skala kecil belum sepenuhnya mampu menyelesaikan akar persoalan. Selain faktor pembiayaan, pendekatan *top-down* yang dominan belum menyentuh aspek pemberdayaan masyarakat

secara menyeluruh (Apriyanto & Aryanti, 2019). Di sisi lain, masyarakat memiliki inisiatif lokal yang berpotensi menjadi solusi alternatif, salah satunya adalah model pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat.

Tantangan besar yang harus dilakukan untuk mengatasi persoalan tersebut adalah dengan menambah jumlah akses air bersih yang mendorong keberlanjutan pengelolaan sumber daya air secara kolektif berbasis kearifan lokal (Avia et al., 2023; Kusbandianto, 2023; Saraswaty, 2024), melalui pendekatan kolaboratif berbasis masyarakat (Zhang et al., 2017). Pendekatan ini merupakan jalan tengah mengatasi keterbatasan anggaran pemerintah sehingga masyarakat di daerah krisis air dan sulit dijangkau oleh perusahaan daerah air minum (PDAM) bisa menjadi pelaku utama dalam penyediaan akses air bersih dari hulu ke hilir. Mulai perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan distribusi, pelayanan, hingga evaluasi (Asian Development Bank (ADB), 2016). Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) akan berhasil jika ada perubahan besar dalam konseptualisasi pemikiran, pendekatan, dan kebijakan pengelolaan air berkelanjutan (Manju & Sagar, 2017; Wibowo et al., 2021).

Kondisi ini menuntut pendekatan baru yang bersifat kolaboratif, terintegrasi, dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang mulai berkembang adalah *Quintuple Helix Innovation* (QHI), yang menggabungkan peran pemerintah, akademisi, dunia usaha dunia industri (DUDI), masyarakat, dan lingkungan dalam satu kerangka kerja inovasi untuk pembangunan berkelanjutan (Carayannis et al., 2012; Sakina et al., 2023). Pendekatan ini dinilai mampu menjawab kompleksitas pengelolaan sumber daya air melalui sinergi multiaktor yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan lokal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan merumuskan model kolaborasi *Quintuple Helix Innovation* (QHI) dalam pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Kabupaten Magelang, serta mendeskripsikan sejauh mana sinergi antaraktor mampu menjamin keberlanjutan akses air bersih di tingkat lokal.

Kerangka Teoritis

Model kolaborasi dalam inovasi awalnya dikenal melalui pendekatan *Triple Helix* yang dikembangkan oleh Etzkowitz dan Leydesdorff

Elemen Helix	Quadruple Helix	Quintuple Helix
Aktor Inti	Akademisi, DUDI, Pemerintah, Masyarakat	Akademisi, DUDI, Pemerintah, Masyarakat, Lingkungan
Fokus Inovasi	Sosial dan budaya	Sosial-ekologis dan keberlanjutan
Tujuan Strategis	Partisipasi dan responsivitas sosial	Ketahanan ekosistem dan keadilan sosial-lingkungan
Relevansi Kontekstual	Smart city, budaya digital	Krisis iklim, pengelolaan air, transisi ekologi
Elemen Helix	Quadruple Helix	Quintuple Helix

Tabel 1. Perbedaan Elemen Helix
Sumber: Hasil analisis penelitian, 2025

pada akhir 1990-an. Model ini menekankan interaksi antara tiga aktor utama: akademisi, dunia usaha, dan pemerintah. Namun, pendekatan ini dinilai belum cukup dalam menangani kompleksitas persoalan sosial dan ekologis kontemporer. Atas dasar itu, Carayannis dan Campbell (2010) mengembangkan model *Quadruple Helix* dengan menambahkan unsur masyarakat sipil (*civil society*) sebagai dimensi keempat yang memediasi proses inovasi berbasis nilai sosial dan budaya. Selanjutnya, untuk mengatasi tantangan lingkungan global seperti perubahan iklim dan krisis air, lahirlah pendekatan *Quintuple Helix Innovation* (QHI). Model ini menambahkan dimensi lingkungan (*environment/ecology*) sebagai pilar kelima yang mengintegrasikan pengetahuan dan keberlanjutan dalam satu kerangka sistem inovasi. QHI memfasilitasi inovasi berbasis ekosistem, di mana keberhasilan inovasi tidak hanya diukur dari efisiensi ekonomi tetapi juga dari daya lenteng sosial dan ekologis.

Pendekatan ini yang dirangkum dalam empat indikator utama, yaitu sinergi, sinkronisasi, koordinasi dan penyelenggaraan (Adi, 2017; Alfiandri & Irawan, 2023). Konsep quintuple helix merupakan kolaborasi 4 (lima) unsur stakeholder, yaitu: Akademisi (*Academician*), (Dunia Usaha Dunia Industri) *Business*, Masyarakat (*Community*), Pemerintah (*Government*) (Sakina et al., 2023) dengan menambahkan dimensi lingkungan (*Environment/Ecology*), yang selanjutnya disebut ABCGE sebagai faktor penting dalam pembangunan berkelanjutan (Carayannis & Lattu, 2022; Carayannis et al., 2012). Model ini menekankan pentingnya integrasi interaksi antara manusia dan alam sebagai bagian integral dari inovasi sosial dan teknologi yang berkelanjutan (Afonso et al., 2012; Carayannis & Campbell, 2010; Mineiro et al., 2021; Muhyi & Chan, 2017), yang penerapannya dinilai mampu meningkatkan

kinerja, jaringan, dan berkontribusi terhadap kesejahteraan masyarakat yang berkeadilan tanpa mengorbankan kelestarian ekosistem (Akmaluddin & Ediyono, 2023; Narendra et al., 2021; Ratna Reddy et al., 2017; Wirata et al., 2023). Dua kunci utama yang harus dilakukan dalam proses tersebut adalah pemberian kewenangan dan pengembangan kapasitas masyarakat agar tercipta suatu perubahan sosial yang menyeluruh (Sakina et al., 2021, 2022; Soetomo, 2012).

State of Arts: Pendekatan Alternatif Pengelolaan Air Bersih Berkelanjutan

Kabupaten Magelang yang memiliki potensi 10 sungai besar dan 55 mata air (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Magelang, 2020; Kabupaten Magelang, 2021) belum bisa mengelola dengan maksimal karena selama musim kemarau selalu terjadi persoalan krisis air bersih. Berdasarkan persoalan yang terjadi serta potensi yang dimiliki, masyarakat berupaya mengelola potensi untuk mengatasi persoalan krisis air bersih dengan membangun inovasi pengelolaan bank air melalui kolaborasi multipihak. Penelitian yang mengkaji tentang *Quintuple Helix Innovation* dalam pengelolaan bank air belum pernah dilakukan. Studi ini unik karena menggabungkan konsep yang belum pernah dipadukan dalam penelitian sebelumnya. Pendekatan ini sangat relevan mengingat masalah ketidakseimbangan kekuasaan dan dominasi hierarki pemerintah seringkali menjadi hambatan dalam pemberdayaan masyarakat sejati. Penelitian sebelumnya cenderung membahas pengelolaan air secara fisik melalui program PAMSINAS. Seperti penelitian Maryati, Rahmani, & Rahajeng (2018) yang memaparkan bahwa keterbatasan pemerintah memenuhi kebutuhan air bersih mendorong pembangunan SPAM yang dikelola masyarakat (Maryati et al., 2018). Proses belajar sosial yang dilakukan

masyarakat belum dikaji secara komprehensif dalam penelitian tersebut.

Penelitian lain juga masih sebatas membahas efektifitas dan keberhasilan penggunaan pendekatan quintuple helix, belum menghasilkan model *Quintuple Helix Innovation* yang bisa direplikasi secara langsung dalam pengelolaan air bersih dan keberlanjutan lingkungan. Hal ini terlihat dari penelitian Irungu et al. (2023) yang memaparkan bahwa kolaborasi pemangku kepentingan telah membantu merangsang pertumbuhan neo-endogen dan berkontribusi pada pencapaian SDGs (Hardani et al., 2022; Irungu et al., 2023). Pengalaman Schroth dengan rekan-rekannya menunjukkan bahwa pendekatan tersebut dapat memberikan kerangka kerja inklusif dan berkelanjutan untuk memperkuat kolaborasi lintas sektor meskipun kemampuan dan sumber daya terbatas (Schroth et al., 2021).

Berdasarkan penelitian Engkus et al. (2022), kerjasama dan kontribusi lintas sektor sangat dibutuhkan dalam mewujudkan perbaikan DAS, tetapi untuk menjaga keberlanjutan diperlukan dukungan anggaran (Paramasaty et al., 2021). Hal serupa dipaparkan Paramasaty et al. (2021) membuktikan bahwa aplikasi *quintuple helix* yang melibatkan masyarakat sebagai aktor utama, terbukti efektif memenuhi keberlangsungan penghidupan (Abubakar et al., 2023; Sugiyono, 2021). Kajian-kajian tersebut berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian ini menitikberakkan pada pendekatan QHI yang merupakan hasil pemberdayaan masyarakat yang dikembangkan melalui kerjasama antar stakeholder. Penelitian ini memiliki unsur kebaruan (*novelty*) yang bisa menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif dengan pendekatan deskriptif (Harahap, 2020; Purba & Parulian Simanjuntak, 2011). Menurut Borgman dan Taylor, penelitian pada hakikatnya merupakan suatu upaya untuk menemukan kebenaran atau untuk lebih membenarkan kebenaran, sehingga bisa menemukan makna yang terkandung di balik data sebagai makna tersembunyi atau sengaja disembunyikan (Hardani et al., 2020; Subandi, 2011). Pendekatan penelitian deskriptif analitik bertujuan untuk memahami dan memberikan makna pada

subjek dengan menganalisis serta memberikan gambaran yang lengkap tentang semua gejala yang tampak (Hardani et al., 2020; Purba & Parulian Simanjuntak, 2011). Analisisnya berbasis masalah sosial dan selalu berorientasi pada tindakan dan proses dalam konteks kehidupan yang dilakukan oleh stakeholders terkait program (Abubakar, 2021). Berdasarkan tujuan tersebut maka penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif analitik (Subandi, 2011) untuk menjelaskan konsep *Quintuple Helix Innovation* sebagai solusi untuk mengatasi masalah krisis dan pengelolaan sumber daya air. Unit analisis penelitian ini adalah pengelolaan bank air bersih di Lereng Gunung Sumbing yang mencakup proses, pelaku, dan dinamika kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan lembaga terkait dalam mengelola sumber daya air bersih. Selain itu, unit analisis juga meliputi peran dan interaksi informan dalam mendukung keberhasilan pengelolaan bank air bersih.

Data penelitian terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer berupa tempat dan peristiwa terkait dengan yang dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan diskusi kelompok terarah secara bertahap (Purba & Parulian Simanjuntak, 2011). Observasi dilakukan dengan mengikuti kegiatan yang dilakukan oleh stakeholders terkait pengelolaan bank air di desa-desa kawasan Sub DAS Tangsi, DAS Progo, Kabupaten Magelang. Wawancara mendalam dan FGD dilakukan untuk memperoleh data dari tiga jenis informan: (1) informan kunci atau pihak-pihak yang menyusun dan mengoperasikan program, yakni pihak Pemerintah Kabupaten Magelang (5 orang) (G), Pengelola Koperasi Darmowarih Tirtolestari (6 orang) (B), Perguruan Tinggi (2 orang) (A); (2) Informan utama yang menjadi objek dan sasaran program, yakni Masyarakat (8 orang perwakilan dari desa-desa pengguna air bersih) (C); (3) Informan pendukung, yaitu subjek-subjek yang mengetahui kultur serta pola-pola kehidupan masyarakat, yakni tokoh masyarakat (4 orang kepala desa dan 2 ketua kelompok sosial) yang dilakukan secara purposif, sedangkan data sekunder berasal dari kajian literatur.

Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles dan Huberman (Abubakar, 2021; Subandi, 2011) yang mencakup reduksi data, penyajian data, serta penarikan dan verifikasi kesimpulan (Purba & Parulian Simanjuntak, 2011). Reduksi data dilakukan untuk memilah informasi

relevan sesuai fokus penelitian, kemudian disusun secara tematik berdasarkan hasil wawancara dan dokumentasi. Data dianalisis untuk mengungkap pola sinergi antaraktor dalam model QHI, serta mengidentifikasi kontribusi dalam pengelolaan air bersih berbasis masyarakat. Untuk menjamin validitas data, dilakukan triangulasi dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dan dokumentasi, sehingga menghasilkan temuan yang kredibel, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan (Sugiyono, 2021). Pendekatan ini mampu menggambarkan keterkaitan antara teori QHI dan praktik lapangan secara aplikatif, serta mengungkap dinamika keberhasilan dan tantangan pengelolaan air bersih berbasis masyarakat.

Hasil

Pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat merupakan suatu strategi pengelolaan yang kegiatannya berpusat kepada masyarakat. Karakteristik yang paling menonjol dari pengelolaan ini yakni seluruh kegiatan mulai dari perencanaan, pengambilan keputusan, pelaksanaan, hingga pengawasan berada di tangan masyarakat (Purwanto, 2020). Pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing dilakukan untuk menanggulangi krisis air bersih. Bukan hal mudah untuk mengembangkan dan mempertahankan eksistensi pengelola bank air bersih yang memiliki wadah Koperasi Darmowarih Tirtolestari hingga saat ini.

Berbeda dengan pendekatan-pendekatan konvensional yang cenderung menitikberatkan pada peran pemerintah sebagai penyedia layanan atau pada model partisipasi sektoral terbatas, pendekatan *Quintuple Helix Innovation* (QHI) menawarkan kerangka kolaborasi yang lebih integratif dan transdisipliner. QHI tidak hanya melibatkan aktor klasik seperti pemerintah (G), akademisi (A), dan dunia usaha (B), tetapi juga menambahkan dua dimensi penting: masyarakat (C) sebagai pelaku sosial utama dan lingkungan (E) sebagai sumber daya sekaligus basis pengetahuan ekologis. Dengan demikian, QHI mampu menyinergikan inovasi sosial, teknologi, dan ekologi dalam satu model pengelolaan, yang menjadikan kolaborasi lintas sektor ini lebih adaptif terhadap tantangan kompleks seperti krisis air bersih dan perubahan iklim.

Pada saat perencanaan misalnya, terdapat kendala dalam upaya membangun jaringan

infrastruktur air bersih. Kendala tersebut terkait dana yang akan digunakan untuk membangun infrastruktur dan kapasitas sumber daya manusia yang tersedia. Kendala yang dihadapi oleh masyarakat dalam perencanaan pengelolaan bank air bersih, yaitu berupa biaya. Masyarakat telah melakukan identifikasi masalah dan perencanaan dengan baik, tetapi untuk merealisasikan pengelolaan itu butuh biaya yang banyak dan masyarakat tidak mampu berswadaya dalam hal biaya. Oleh karena itu, masyarakat setempat membutuhkan bantuan dari pihak lain.

Hingga kemudian pada tahun 2002, ketika masyarakat melakukan perencanaan pengelolaan, saat itu pula pemerintah Kabupaten Magelang memiliki program pembangunan jaringan air bersih perdesaan akibat dampak kekeringan. Dana program tersebut berasal dari pusat tepatnya berasal dari kompensasi dana BBM. Agar program ini dapat berjalan dengan baik pemerintah Kabupaten Magelang memberikan syarat kepada calon pengelola bank air bersih berupaya untuk mengajukan proposal pembangunan infrastruktrur di dua desa, yakni Desa Wonogiri dan Desa Kwaderan kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Magelang yang dananya berasal dari DAK pemerintah pusat, untuk mengatasi keterbatasan dana masyarakat. Sebelumnya juga telah dilakukan penelitian hidrologi di Lereng Gunung Sumbing oleh DPU Kabupaten Magelang bekerjasama dengan UGM pada tahun 2002 yang menyatakan bahwa terdapat mata air yang sangat melimpah, memenuhi standar kesehatan, dan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat disekitarnya apabila dialirkan secara gravitasi.

Pada tahun 2002 Kepala Desa beserta BPD Desa Kwaderan dan Wonogiri mengajukan proposal ke DPU Kabupaten Magelang untuk memperoleh fasilitas pipa dan bak penampungan air yang selanjutnya dikelola oleh masyarakat. Pada tahun 2003, permohonan proposal dikabulkan sehingga melalui program pemerintah tersebut masyarakat mendapatkan infrastruktur Tahap 1 dan dilanjutkan tahap-tahap tahun berikutnya sampai 6 kali tahapan kegiatan hingga tahun 2010 dapat dimanfaatkan untuk mengalirkan air ke desa-desa yang membutuhkan. Inovasi yang bisa dihasilkan dari sejarah panjang kolaborasi pengelolaan bank air bersih di Lereng Gunung Sumbing Kabupaten Magelang adalah Model *Quintuple*

Helix Innovation (QHI), yang merupakan pelibatan lima aktor utama, yakni: pemerintah, akademisi, DUDI, masyarakat, dan lingkungan, dalam menciptakan solusi yang berkelanjutan secara inklusif dan kolaboratif. Model QHI sangat relevan dalam pengelolaan bank air bersih di Kabupaten Magelang karena melibatkan interaksi dan sinergi antar-aktor untuk menanggulangi krisis air bersih menahun. Terlebih sumber daya alam yang melimpah, seperti pegunungan dan aliran sungai, dapat dimanfaatkan sebagai fondasi dalam inovasi pengelolaan bank air bersih berbasis QHI.

Model QHI diadaptasi untuk menciptakan sinergi antara pengetahuan, inovasi, dan keberlanjutan ekologi. Penerapan QHI di Kabupaten Magelang menghadirkan pendekatan holistik yang tidak hanya memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat, tetapi juga memperkuat sinergi antara pengembangan ekonomi kerakyatan berbasis pengetahuan, inovasi teknologi, dan keberlanjutan lingkungan. Pendekatan ini menawarkan solusi inovatif yang mampu menghadapi tantangan lingkungan global, seperti pemanasan global dan krisis air bersih, serta mampu menciptakan solusi atas krisis air bersih dengan pendekatan yang integratif dan adaptif di masyarakat. Dampak nyata dari penerapan pendekatan ini di Kabupaten Magelang adalah tersedianya akses air bersih bagi ribuan warga di desa-desa di Kecamatan Kajoran dan Salaman sehingga masyarakat tidak bergantung pada *dropping* air dari pemerintah dan kesadaran konservasi di tingkat lokal meningkat. Di sisi ekologis, pelestarian kawasan hulu dan pembangunan embung turut menjaga debit air dan mengurangi risiko kekeringan ekstrem. Selain itu, inisiatif ini telah mendorong kerjasama lintas desa untuk menjamin distribusi air secara adil antara wilayah hulu dan sinergi lintas sektor yang lebih erat antara akademisi, pemerintah, DUDI, dan masyarakat dalam merespons dampak perubahan iklim secara terintegrasi.

Pemerintah Kabupaten Magelang menunjukkan komitmen kuat dalam mendukung pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat melalui pendekatan *Quintuple Helix Innovation* (QHI), dengan fokus pada penyediaan infrastruktur, kebijakan partisipatif, dan penguatan kapasitas masyarakat. Melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Dana Alokasi Khusus (DAK) dari pemerintah pusat, pemerintah membangun

jaringan pipa, bak penampungan, dan sistem distribusi air bersih yang menjadi fondasi penting pengelolaan air mandiri oleh masyarakat. Kebijakan ini dirancang sejak krisis air tahun 2002, sebagai bentuk komitmen pemerintah mendorong masyarakat untuk terlibat aktif dalam perencanaan dan pengajuan proposal pembangunan, serta memberikan mandat pengelolaan infrastruktur kepada Koperasi Darmowarih Tirtolestari pada tahun 2010. Dukungan kelembagaan juga diperkuat melalui perjanjian antar 9 desa untuk memastikan tata kelola bersama yang berkelanjutan. Di sisi lain, meskipun keterlibatan pemerintah pasca-pembangunan terbatas, pelatihan dan pendampingan teknis tetap dilakukan guna meningkatkan kapasitas masyarakat dalam menjaga dan mengelola sumber daya air secara mandiri dan berkelanjutan.

Akademisi memainkan peran penting dalam mendukung pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing melalui pendekatan QHI, terutama dalam aspek penelitian, penyediaan data, transfer teknologi, dan pemberdayaan masyarakat. Sejak tahun 2002, akademisi dari UGM telah melakukan kajian hidrologi yang menjadi dasar pembangunan jaringan air bersih berbasis gravitasi, sedangkan UPN Veteran Yogyakarta memberikan kontribusi dalam edukasi konservasi dan pelatihan manajemen sumber daya air. Selain menyediakan data dan analisis debit air yang mendukung perumusan kebijakan lokal, akademisi juga memperkenalkan teknologi tepat guna seperti sumur resapan, embung, serta sistem pemantauan berbasis IoT bersama AKATIRTA. Peran pemberdayaan diperkuat melalui pendampingan kelembagaan masyarakat oleh STPMD APMD, yang berfokus pada pengorganisasian koperasi, pengambilan keputusan partisipatif, dan pengelolaan mandiri. Meskipun demikian, tantangan tetap ada, seperti keterbatasan dalam menyampaikan hasil riset secara praktis kepada masyarakat, kurangnya keberlanjutan pendampingan setelah implementasi, serta ketergantungan pada ahli eksternal untuk transfer teknologi. Namun, melalui kemitraan yang terus berkembang dengan berbagai perguruan tinggi, proses pendampingan tetap berjalan meskipun belum sepenuhnya optimal.

Pihak Dunia Usaha dan Dunia Industri (DUDI) berperan penting dalam pembangunan

dan pengelolaan bank air bersih di Lereng Gunung Sumbing melalui perencanaan teknis, pelaksanaan pembangunan, dan dukungan terhadap keberlanjutan infrastruktur. CV Tata Reka sebagai konsultan merancang sistem distribusi air berbasis gravitasi dan mengawasi pembangunan jaringan pipa dan bak penampungan, sementara PDAM memberikan masukan terkait teknologi tepat guna dan strategi pemeliharaan jangka panjang. DUDI berkolaborasi dengan pemerintah dan masyarakat dalam menyelesaikan proyek infrastruktur air bersih secara bertahap di delapan desa selama periode 2003–2010. Meskipun kontribusi teknis DUDI signifikan, tantangan utama adalah rendahnya keterlibatan dalam pendanaan berkelanjutan karena orientasi bisnis yang masih dominan pada keuntungan dan belum kuatnya implementasi tanggung jawab sosial dan lingkungan (TJS). Selain itu, keterbatasan regulasi dan rendahnya partisipasi masyarakat turut memperumit kesinambungan pengelolaan infrastruktur secara optimal dan berkeadilan.

Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan bank air bersih di Lereng Gunung Sumbing, melalui Koperasi Darmowarih Tirtolestari, menjadi pilar penting dalam penerapan model QHI meskipun tidak terlibat sejak tahap pembangunan infrastruktur. Setelah infrastruktur diserahkan oleh pemerintah pada tahun 2010, masyarakat membentuk kelembagaan koperasi dan Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) yang mengelola distribusi air secara adil, menetapkan aturan internal, serta bertanggung jawab dalam operasionalisasi dan pemeliharaan sistem air bersih. Salah satu bentuk inovasi partisipatif yang muncul adalah kerja sama antar desa antara wilayah hulu dan hilir untuk menjamin distribusi dan konservasi sumber daya air. Bukti konkret partisipasi masyarakat terlihat dari sejumlah inisiatif dan praktik kolektif yang dilakukan secara mandiri. Masyarakat menyusun AD/ART koperasi, mengatur sistem tarif, serta menunjuk pengelola di tiap desa untuk bertugas mencatat pelanggan, mengatur distribusi air, dan menangani perbaikan ringan. Proses pengambilan keputusan juga dilakukan secara musyawarah melalui forum partisipatif, menunjukkan kuatnya semangat gotong royong dan tanggung jawab kolektif. Kolaborasi antara desa hulu dan hilir menjadi bentuk adaptasi

sosial-ekologis yang menjamin keadilan distribusi dan pelestarian sumber air. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam pelatihan teknis dan konservasi lingkungan menunjukkan adanya kesediaan belajar dan tumbuh bersama dalam sistem pengelolaan berbasis masyarakat. Meskipun tantangan tetap ada, terutama dalam aspek teknis dan kelembagaan, inisiatif lokal ini membuktikan bahwa masyarakat bukan hanya penerima manfaat, melainkan juga pelaku utama dalam menjaga keberlanjutan sumber daya air.

Keberlanjutan lingkungan sebagai unsur kelima dalam model QHI memainkan peran krusial dalam pengelolaan bank air bersih di Lereng Gunung Sumbing, dengan dinamika yang melibatkan interaksi antara kondisi ekosistem pegunungan dan upaya konservasi oleh berbagai aktor. Mata air melimpah yang menjadi sumber utama air bersih sangat bergantung pada kelestarian hutan, vegetasi penutup, serta tata kelola lahan di kawasan hulu. Namun, ancaman seperti erosi, degradasi lingkungan, dan alih fungsi lahan pertanian ke pemukiman menimbulkan tekanan besar terhadap kualitas dan kuantitas air. Pelestarian hutan dan daerah resapan menjadi kunci, yang dalam praktiknya memerlukan sinergi masyarakat, pemerintah, akademisi, dan DUDI melalui kegiatan seperti reboisasi, pengendalian erosi, serta pengembangan teknologi pengolahan air. Adaptasi terhadap perubahan iklim juga dilakukan melalui pembangunan embung, perbaikan infrastruktur irigasi, dan penguatan vegetasi di daerah tangkapan air. Kesadaran dan pendidikan lingkungan masyarakat menjadi fondasi jangka panjang untuk menjaga keseimbangan antara pemanfaatan dan pelestarian sumber daya air, meskipun masih diperlukan peningkatan kapasitas, regulasi, dan pengawasan yang konsisten untuk mencegah kerusakan ekologis yang lebih besar. Proses ini menggambarkan bahwa keberlanjutan lingkungan dalam pengelolaan bank air tidak dapat dipisahkan dari praktik sosial, kebijakan, dan inovasi lintas sektor yang saling mendukung.

Berpjidak pada data di atas, 9 desa di Lereng Gunung Sumbing Kecamatan Kajoran dalam kawasan Sub DAS Tangsi telah membuktikan bahwa masyarakat mampu mengembangkan model QHI dalam mengatasi kebutuhan warga berupa pelayanan pengaliran air bersih, mulai dari perencanaan, pengajuan proposal pembangunan, pelembagaan, pelayanan

pendistribusian, pelestarian air bersih, pemantauan dan evaluasi. Pilihan koperasi sebagai lembaga pengelola sekaligus penyedia air bersih juga mendatangkan keuntungan ekonomis terhadap desa. Selain itu, masyarakat melalui kelembagaan koperasi juga berkontribusi pada pelaksanaan pembangunan berdasarkan undang-undang.

Melalui pendekatan *Quintuple Helix Innovation*, para aktor dapat bekerja sama untuk membangun kesadaran dan penguatan sosial yang berkelanjutan, serta memastikan pengelolaan sumber daya air yang bijaksana di Kabupaten Magelang. Kegiatan pengelolaan bank air bersih yang dilakukan oleh masyarakat di kawasan Lereng Gunung Sumbing Kecamatan Kajoran sangat memberikan manfaat bagi kesejahteraan penduduk setempat. Dari tahun ke

tahun pelanggan air bersih semakin meningkat. Dua desa yang dulunya selalu minta dropping air dari BPBD Kabupaten Magelang sudah tidak lagi meminta bantuan. Walaupun debit air yang mengalir ke dua desa tersebut berkurang saat musim kemarau tiba namun tidak membuat desa tersebut krisis air seperti yang pernah terjadi sebelumnya. Berikut disajikan tabel analisis elemen *Quintuple Helix Innovation (QHI)* dalam Pengelolaan Bank Air Bersih Berbasis Masyarakat.

Penelitian ini menemukan bahwa pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing, Kabupaten Magelang, merupakan bentuk inovasi kolaboratif yang mengintegrasikan nilai-nilai lokal dalam kerangka *Quintuple Helix Innovation (QHI)*. Pengelolaan ini dipelopori oleh masyarakat

Elemen	Peranan
Pemerintah:	
1. Pemerintah Desa dan Kecamatan 2. Dinas Pekerjaan Umum 3. Dinas Pertanian dan Pangan 4. Dinas Lingkungan Hidup 5. Bappeda dan Litbangda 6. Badan Penanggulangan Bencana Daerah 7. CDK Prov. Jawa Tengah Wilayah IX 8. BPDAS Serayu Opak Progo 9. BBWS Serayu Opak 10. Kementerian Lingkungan Hidup	a. Pembangunan infrastruktur air bersih mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga penagwasan b. Penyusunan <i>blue print</i> pengelolaan bank air bersih yang layak dan aman c. Pendampingan masyarakat d. Koordinasi bersama multistakeholder melalui Forum Koordinasi Pengelolaan DAS Progo
Pihak DUDI	
1. CV. Tata Reka 2. PDAM	a. Konsultan Perencana b. Pelaksana Pembangunan infrastruktur air bersih c. Penyusunan <i>blue print</i> pengelolaan bank air bersih yang layak dan aman d. Pengkapasitasan masyarakat pengelola
Akademisi	
a. UGM Yogyakarta b. UPN Veteran Yogyakarta c. STPMD "APMD" d. AKATIRTA	a. Pelaksana penelitian hidrologi b. Penyusunan <i>blue print</i> c. Pelaksana pelatihan dan pengembangan SDM pengelola d. Pendampingan kelompok masyarakat
Masyarakat lokal melalui Koperasi Darmowarih Tirtolestari dan kelompok peduli mata air, yakni:	
1. Yayasan Kuncup Mekar 2. Tangsi Lestari 3. Kompas Progo 4. Paguyuban Peduli Kali Magelang 5. Jogo Kali Pabelan	a. Pelaku dan pengelola bank air bersih b. Perencana kelembagaan c. Pelayanan pendistribusian d. Pelestarian dan Konservasi air bersih e. Pemantauan dampak f. Evaluasi dan penilaian kegiatan-kegiatan
Lingkungan	
1. Kawasan <i>Recharge Area</i> 2. Sumber Mata Air 3. Daerah Aliran Sungai (DAS) 4. Hutan 5. Pertanian	a. Ketersediaan sumber air yang melimpah b. Pelestarian kawasan hulu c. Pengendalian erosi d. Adaptasi terhadap perubahan iklim. e. Keberlanjutan sistem pengelolaan air

Tabel 2. Analisis Elemen *Quintuple Helix Innovation (QHI)* dalam Pengelolaan Bank Air Bersih Berbasis Masyarakat

Sumber: Hasil analisis penelitian, 2025

melalui pembentukan Koperasi Darmowarih Tirtolestari, yang mengelola infrastruktur air bersih hasil dari program pembangunan jaringan air bersih perdesaan dan dukungan Dana Alokasi Khusus (DAK) pemerintah pusat. Koperasi ini menjadi lembaga utama dalam sistem distribusi, pemeliharaan, dan konservasi sumber daya air, sekaligus menunjukkan bahwa institusi lokal yang kuat merupakan fondasi penting bagi pengelolaan air yang efektif dan berkelanjutan.

Penerapan model QHI yang melibatkan lima aktor utama (pemerintah, akademisi, dunia usaha, masyarakat, dan lingkungan) secara sinergis mampu menciptakan solusi integratif dan adaptif terhadap krisis air bersih di wilayah tersebut. Sejak tahun 2010 hingga saat ini, pengelolaan air bersih tetap berjalan berkelanjutan berkat partisipasi aktif masyarakat dan komitmen kelembagaan koperasi. Masyarakat tidak hanya berperan sebagai pengguna air, tetapi juga sebagai pelaku konservasi, seperti yang ditunjukkan melalui kegiatan perlindungan kawasan hulu dan konservasi hutan di daerah tangkapan air Sub DAS Tangsi, termasuk di Desa Sukorejo. Kegiatan ini mencakup penanaman pohon tahunan, pembangunan embung, sumur resapan, serta pengalokasian dana koperasi sebesar 5% dari Sisa Hasil Usaha (SHU) untuk konservasi dan tanggung jawab sosial kepada desa-desa mitra.

Kegiatan konservasi ini tidak dilakukan secara sendiri, tetapi melibatkan berbagai pemangku kepentingan seperti Dinas PUPR, DLH, Dinas Pertanian, BPBD, CDK Provinsi Jawa Tengah Wilayah IX, BPDAS Serayu Opak Progo, BBWS Serayu Opak, dan PDAM Kabupaten Magelang. Selain itu, dukungan dari LSM seperti Yayasan Kuncup Mekar bersama Kementerian Lingkungan Hidup sejak tahun 2014 semakin memperkuat keberlanjutan kegiatan konservasi melalui penanaman pohon kayu dan buah di daerah resapan. Koperasi juga aktif menjalin kolaborasi dengan Tim Koordinasi dan Fasilitasi Konservasi Sumber Daya Air Kabupaten Magelang untuk mengembangkan model konservasi partisipatif.

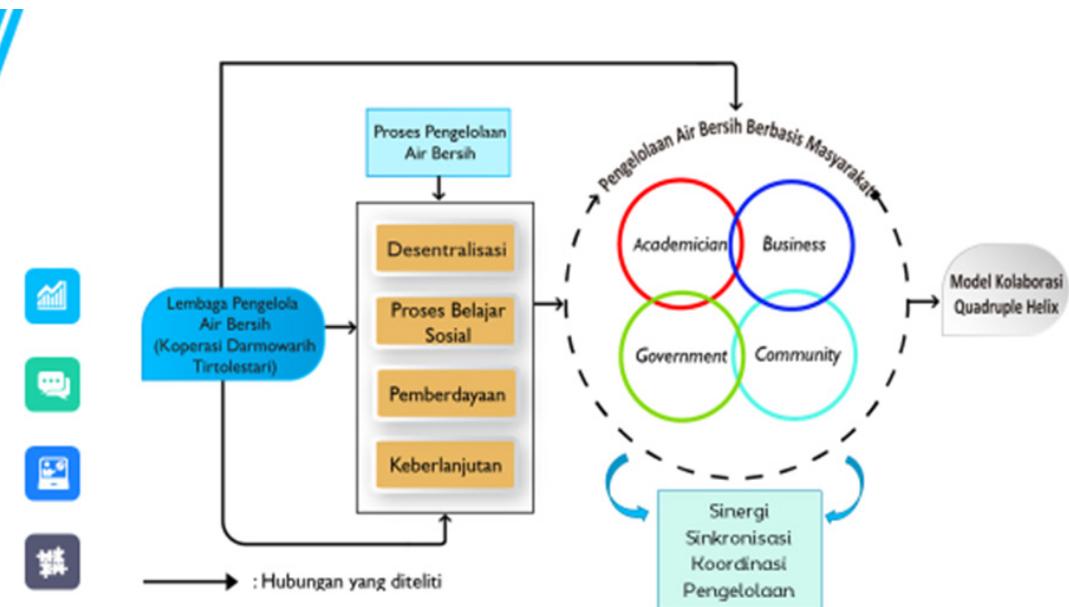
Pemerintah Kabupaten Magelang menunjukkan komitmen kuat melalui penyelarasan program kerja Bupati dengan inisiatif masyarakat dalam pengelolaan dan konservasi sumber daya air. Forum Koordinasi Pengelolaan DAS Progo juga memainkan peran

strategis dalam menjaga kesinambungan program melalui sinergi, sinkronisasi, dan koordinasi lintas sektor. Di sisi lain, akademisi berkontribusi melalui riset ilmiah dan penerapan teknologi tepat guna, sementara dunia usaha (DUDI) berperan dalam menyediakan infrastruktur serta solusi teknologi ramah lingkungan. Lingkungan alam sebagai heliks kelima dalam QHI tidak hanya menjadi objek konservasi, tetapi juga sumber inovasi yang mendorong kesadaran ekologis masyarakat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa pendekatan QHI dapat dioperasionalkan secara efektif dalam pengelolaan sumber daya air berbasis masyarakat. Aspek-aspek krusial dalam pendekatan QHI terletak pada kuatnya kelembagaan lokal, keterlibatan multipihak, dan integrasi nilai ekologis dalam setiap tahapan pengelolaan. Namun, keberhasilan ini juga menyiratkan pentingnya dukungan kebijakan jangka panjang, peningkatan kapasitas masyarakat, serta replikasi model ke wilayah lain yang masih mengalami krisis air bersih.

Temuan ini mengukuhkan bahwa model *Quintuple Helix Innovation* bukan hanya kerangka konseptual, tetapi dapat dioperasionalkan secara kontekstual melalui praktik kolaboratif yang berbasis pengetahuan, keberlanjutan ekologi, dan pemberdayaan masyarakat. Sinergi antara kelima heliks, pemerintah, akademisi, dunia usaha dunia industri, masyarakat, serta lingkungan, sehingga membentuk ekosistem inovasi yang mampu menghadirkan tata kelola sumber daya air yang adaptif, inklusif, dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini tidak hanya menegaskan relevansi QHI sebagai pendekatan dalam menghadapi krisis air bersih di era perubahan iklim, tetapi juga membuka peluang penguatan kapasitas lokal sebagai fondasi utama transisi sosio-ekologis dalam pembangunan berkelanjutan di tingkat lokal.

Sebagai sintesis dari berbagai temuan empiris yang diperoleh melalui studi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi, penelitian ini berhasil memetakan hubungan antara lembaga pengelola air bersih berbasis masyarakat dengan lima unsur utama dalam model *Quintuple Helix Innovation* (QHI), yaitu: pemerintah (*government*), akademisi (*academician*), dunia usaha dunia industri (*business*), masyarakat (*community*), dan lingkungan (*environment*). Pengelolaan



Gambar 1. Konseptualisasi Hasil Penelitian

Sumber: Hasil analisis penelitian, 2025

air bersih yang dilakukan oleh Koperasi Darmowarih Tirtolestari tidak hanya bersandar pada aspek teknis distribusi air, tetapi juga menyentuh dimensi sosial berupa desentralisasi pengambilan keputusan, proses belajar kolektif, pemberdayaan kelembagaan, serta orientasi keberlanjutan yang kuat.

Temuan ini kemudian dikembangkan dalam bentuk visual konseptualisasi untuk memetakan dinamika hubungan antarelement QHI dalam konteks pengelolaan air bersih. Gambar berikut menggambarkan secara sistematis bagaimana proses pengelolaan yang dilakukan koperasi berjalan secara sinergis dengan unsur-unsur eksternal melalui proses koordinasi, sinkronisasi, dan kolaborasi multipihak. Model ini menjadi kerangka kerja untuk memahami keberhasilan pengelolaan air berbasis masyarakat yang terdesentralisasi namun terhubung dengan sistem inovasi yang inklusif dan berkelanjutan.

Diskusi

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *Quintuple Helix Innovation* (QHI) sebagaimana dikembangkan oleh Carayannis dan Campbell (2010) menjadi pendekatan yang mampu diterapkan secara kontekstual dalam pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing, Kabupaten Magelang. Model ini menekankan bahwa inovasi yang berkelanjutan hanya dapat tercapai melalui

interaksi lima subsistem utama: pemerintah (*government*), akademisi (*academician*), dunia usaha dunia industri (*business*), masyarakat (*community*), dan lingkungan (*environment*). Dalam konteks ini, sinergi antar lima aktor QHI telah menghasilkan inovasi sosial, kelembagaan, dan teknologi menjadikan masyarakat bisa mengelola sumber daya air secara mandiri, adil, dan adaptif terhadap tantangan ekologis.

Peran pemerintah sebagai aktor institusional dalam heliks pertama sangat menonjol dalam tahap awal, yaitu penyediaan infrastruktur, regulasi, dan fasilitasi pendanaan. Namun demikian, kelemahan muncul karena belum adanya *policy roadmap* atau *blueprint* strategis untuk mereplikasi model ini ke wilayah lain yang mengalami kekeringan. Hal ini menunjukkan bahwa unsur *government* belum optimal dalam fungsi difusi inovasi dan kelembagaan lintas wilayah. Aktor akademisi (heliks kedua) telah memainkan peran signifikan sebagai produsen pengetahuan ilmiah dan teknologi, yakni melalui kajian hidrologi, transfer teknologi, dan pelatihan masyarakat. Akan tetapi, keterlibatan akademisi cenderung berhenti pada fase awal proyek dan belum mengakar dalam pendampingan jangka panjang, yang menurut Carayannis (2010) seharusnya menjadi inti dari ekosistem inovasi yang berkelanjutan. Pemerintah juga belum memiliki komitmen untuk mereplikasi model pengelolaan bank air berbasis masyarakat

ke wilayah lain yang membutuhkan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pemerintah berperan dalam pengelolaan bank air, tetapi belum ada inisiatif untuk mengembangkan dan mengadopsi inovasi serupa di desa-desa lain lain yang mengalami kekeringan,

Pengambilan kebijakan yang tepat sasaran seharusnya didasarkan pada data yang komprehensif terkait ketersediaan sumber daya air, potensi wilayah, serta kebutuhan masyarakat. Meskipun model ini terbukti efektif, tetapi tanpa adanya kebijakan yang tepat, terstruktur, dan terencana, pengembangan di desa atau kecamatan lain yang rawan kekeringan sulit dilakukan. Monitoring dan evaluasi (monev) terhadap pengelolaan bank air bersih juga terus dilakukan, tetapi dialog untuk memunculkan inisiatif baru masih sebatas wacana. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi yang dilakukan masih cenderung bersifat pasif dan belum proaktif dalam mendorong solusi inovatif di desa-desa lain. Pengembangan model QHI di desa atau kecamatan lain dianggap memerlukan biaya besar dan keterlibatan teknis yang kompleks karena saat ini program pembangunan infrastruktur bank air belum menjadi rencana prioritas daerah. Selain itu, beberapa desa yang mengalami krisis air bersih juga belum memiliki kapasitas SDM dan kelembagaan di masyarakat yang cukup kuat untuk mengambil alih peran seperti yang dilakukan oleh Koperasi Darmowarih Tirtolestari.

Dilevel pemerintah desa, model ini juga belum cukup dikenal atau dipahami karena keterbatasan sosialisasi dan kurangnya dialog lintas sektor antara pemerintah desa dan masyarakat lokal dengan pemerintah daerah, akademisi, dan *stakeholders* pendukung lain yang dapat menghambat penyebaran inovasi ke desa-desa lain. Hal inilah yang menjadi alasan diperlukannya kesadaran dan komitmen pemerintah untuk mengadopsi dan mengembangkan model QHI berbasis masyarakat di kawasan lain agar dapat meningkatkan ketersediaan air bersih secara berkelanjutan dan mengurangi dampak krisis air bersih di desa-desa yang rentan kekeringan. Potensi keberhasilan model ini sangat besar. Jika pemerintah mampu memainkan perannya secara proaktif dan melibatkan semua elemen QHI dalam proses pengelolaan dan pengembangan kebijakan ini maka tidak mustahil jika Kabupaten Magelang "benar-benar" menjadi "cawan air" bagi daerah hilir. Diperlukan juga peran pemerintah

dalam menginisiasi kebijakan berbasis bukti (*evidence-based policy*) yang memadai dan bisa memberdayakan masyarakat secara integratif dan komprehensif, bukan hanya secara parsial atau hanya menyusun kebijakan "*by order*".

Selain itu, kurangnya pendampingan berkelanjutan dari akademisi setelah infrastruktur atau teknologi diterapkan. Akademisi dari UGM dan UPN Veteran Yogyakarta misalnya cenderung lebih fokus pada fase awal penelitian dan implementasi proyek, tetapi kurang terlibat dalam memantau perkembangan dan masalah jangka panjang yang dihadapi oleh masyarakat dalam pengelolaan bank air bersih. Hal ini dapat menyebabkan masyarakat kesulitan mengatasi kendala teknis atau manajemen setelah proyek berjalan. Selain itu, bahasa teknis dan akademik yang digunakan dalam penelitian atau sosialisasi teknologi menjadi hambatan awal bagi masyarakat lokal untuk mempraktikkan pengetahuan yang diberikan sehingga transfer pengetahuan kurnag optimal dan masyarakat membutuhkan ahli dari luar untuk pendampingan praktik transfer teknologi. Namun demikian, hingga saat ini pengelola selalu mengembangkan kemitraan dengan akademisi dari perguruan tinggi lainnya sehingga pendampingan berkelanjutan terus dilakukan dengan mengedepankan bahasa yang lebih membumi dan mudah dipahami masyarakat lokal.

Keterlibatan dunia usaha dan industri (heliks ketiga), seperti CV Tata Reka dan PDAM, telah berkontribusi dalam aspek teknis dan infrastruktur. Namun, keterlibatan mereka masih berorientasi proyek dan belum menyatu dalam kerangka *corporate sustainability* sebagai bagian dari tanggung jawab sosial dan lingkungan (TJSL) perusahaan, sebagaimana semangat QHI yang mendorong keberlanjutan sosial dan lingkungan melalui keterlibatan sektor bisnis. Sementara itu, masyarakat (*community*) sebagai heliks keempat yang menjadi aktor pengelola utama melalui Koperasi Darmowarih Tirtolestari masih memiliki keterbatasan kapasitas manajerial maupun keterampilan teknis dalam menjalankan koperasi secara efisien. Kelembagaan koperasi yang merupakan manifestasi *social innovation* yang berfungsi dalam: pendistribusian, penetapan tarif, pemeliharaan, dan pengambilan keputusan kolektif, masih belum bisa secara inklusif menjadi representasi dari seluruh masyarakat pengguna air bersih. Kelembagan yang lemah menjadikan proses penanganan masalah yang

lebih kompleks, seperti kerusakan infrastruktur yang besar atau inovasi teknologi baru, masih terhambat. Aplikasi QHI masih terbatas untuk mengatasi masalah teknis yang muncul dalam pengelolaan sehari-hari, sehingga keberlanjutan pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat masih sulit diadopsi bagi daerah lain karena *support system* yang tersedia masih didominasi oleh kelompok-kelompok elitis.

Lingkungan (*environment*) sebagai heliks kelima dalam teori QHI bukan hanya diposisikan sebagai objek yang harus dilindungi, melainkan sebagai aktor produksi inovasi itu sendiri. Dalam konteks Lereng Gunung Sumbing, sumber daya alam berupa mata air dan kondisi ekologi hulu menjadi fondasi keberlanjutan sistem bank air. Namun, temuan penelitian menunjukkan bahwa ancaman deforestasi, konversi lahan, dan degradasi lingkungan telah mulai menurunkan daya dukung ekologis. Hal ini menandakan perlunya transisi ekososial (*eco-social transition*) dalam kerangka QHI, di mana lingkungan tidak hanya dipandang sebagai faktor pasif, tetapi aktif dalam membentuk perilaku inovatif aktor-aktor lain melalui tekanan dan insentif ekologis. Perlu adanya regulasi dan intervensi pendidikan di tingkat dasar yang mendorong transisi ekososial dalam kerangka QHI.

Berdasarkan pendekatan QHI, keberhasilan pengelolaan bank air bersih tidak bisa dipisahkan dari dinamika interaksi lima heliks secara simultan dan setara. Ketika salah satu heliks lemah, seperti peran lingkungan yang terancam atau sektor bisnis yang belum berkontribusi dalam peogram TJSI secara jangka panjang, maka sistem inovasi akan menjadi timpang dan tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan sistemik yang mendorong integrasi lima heliks secara berimbang, termasuk dalam bentuk insentif fiskal untuk sektor industri, skema pembiayaan kolaboratif, serta peningkatan kapasitas kelembagaan masyarakat berbasis lingkungan.

Sebagai sintesis dari berbagai temuan empiris yang diperoleh melalui studi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi, penelitian ini berhasil memetakan hubungan antara lembaga pengelola air bersih berbasis masyarakat dengan lima unsur utama dalam model *Quintuple Helix Innovation* (QHI), yaitu akademisi (*academician*), dunia usaha (*business*), masyarakat (*community*), pemerintah (*government*), dan lingkungan

(*environment*), sehingga pengelolaan bank air bersih yang dilakukan oleh Koperasi Darmowarih Tirtolestari tidak hanya bersandar pada aspek teknis distribusi air, tetapi juga menyentuh dimensi sosial berupa desentralisasi pengambilan keputusan, proses belajar kolektif, pemberdayaan kelembagaan, serta orientasi keberlanjutan sosial dan ekologis yang kuat.

Penelitian ini juga mencatat keterbatasan dalam implementasi model QHI secara luas. Model yang berhasil di Lereng Gunung Sumbing belum diadopsi di 54 desa lain yang mengalami krisis air bersih. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan lokal belum mampu ditransformasikan menjadi inovasi sistemik yang terinstitusionalisasi secara kebijakan dan kelembagaan. Maka, model QHI perlu dilihat tidak hanya sebagai kerangka kerja kolaboratif, tetapi juga sebagai sistem pembelajaran sosial yang terus dikembangkan melalui dialog antar heliks, berbasis data, dan sensitivitas lokal.

Terakhir, keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan wilayah studi yang masih bersifat studi kasus dan belum menguji secara longitudinal sejauh mana integrasi antar heliks memengaruhi keberlanjutan sistem. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan indikator integrasi QHI secara kuantitatif, mengevaluasi performa masing-masing heliks, serta menelusuri model replikasi yang sesuai dengan konteks sosial-ekologis daerah lain.

Diskusi ini juga menunjukkan bahwa QHI tidak hanya menjadi kerangka normatif, tetapi juga operasional dalam mendorong inovasi berbasis masyarakat yang tangguh, adil, dan Lestari. Namun demikian, keberhasilan aplikasi QHI tidak bisa diartikan sebagai keberlanjutan tanpa intervensi kebijakan yang strategis dan partisipatif. Replikasi model QHI memerlukan dukungan kelembagaan, pendanaan jangka panjang, kebijakan berbasis bukti, serta penguatan kapasitas masyarakat dan kolaborasi lintas sektor. Tanpa upaya sistemik, model yang berhasil hanya akan menjadi praktik baik yang terisolasi dan tidak mampu menjawab tantangan air bersih secara lebih luas di Kabupaten Magelang.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa model *Quintuple Helix Innovation* (QHI) mampu menciptakan tata kelola bank air bersih berbasis masyarakat yang partisipatif, adaptif,

dan berkelanjutan. Penerapan QHI dalam pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat di Lereng Gunung Sumbing telah memberikan dampak nyata dalam mengatasi krisis air bersih secara berkelanjutan. Bukti efektivitas model ini terlihat dari keberhasilan distribusi air ke 9 desa tanpa intervensi *dropping* air dari BPBD sejak tahun 2010, terbentuknya koperasi yang mandiri secara kelembagaan dan keuangan, serta adanya aksi konservasi tahunan berbasis SHU koperasi sebesar 5%. Koperasi Darmowarih Tirtolestari menjadi aktor sentral dalam pengelolaan air bersih di Lereng Gunung Sumbing, didukung oleh sinergi antara pemerintah, akademisi, dunia usaha (DUDI), dan masyarakat lokal. Peran lingkungan sebagai elemen kelima dalam QHI tidak hanya menjadi objek konservasi, tetapi juga menjadi ruang ekologi pengetahuan dan produksi inovasi yang menghubungkan dimensi sosial, ekonomi, dan ekologis. Keterlibatan aktif lima unsur QHI menciptakan sistem pengelolaan air yang efisien melalui inovasi kelembagaan, peningkatan kesadaran ekologis, serta terbentuknya jaringan multipihak lintas sektor sehingga menjadikan model ini layak direplikasi dengan penyesuaian konteks lokal.

Secara teoretik, temuan ini menguatkan gagasan Carayannis dan Campbell (2010) bahwa inovasi sosial-ekologis berbasis kolaborasi multipihak dapat memperkuat ketahanan masyarakat lokal terhadap krisis lingkungan, termasuk krisis air bersih. Model QHI dalam konteks lokal ini mengaktualisasikan pendekatan transdisipliner dan *co-evolution* antara masyarakat, institusi, dan lingkungan yang relevan dengan kerangka transisi sosio-ekologis di era *Society 5.0*. Implikasi praktis dari temuan ini menunjukkan bahwa penguatan kelembagaan lokal, penyusunan kebijakan berbasis bukti, serta perluasan jejaring antaraktor menjadi kunci keberlanjutan dan replikasi pengelolaan bank air bersih berbasis masyarakat. Pemerintah perlu memiliki *roadmap* strategis untuk mendukung replikasi model ke wilayah lain yang mengalami krisis air. Dunia usaha juga perlu memperluas kontribusinya dalam skema tanggung jawab sosial lingkungan (TJSL), sementara akademisi didorong untuk terlibat secara berkelanjutan dalam proses pendampingan teknis dan penguatan kapasitas masyarakat.

Adapun keterbatasan penelitian ini terletak pada ruang lingkup geografis yang terbatas pada

satu kawasan (Lereng Gunung Sumbing) serta belum mengkaji secara mendalam aspek relasi kuasa dan kepentingan ekonomi-politik yang membentuk struktur ketimpangan tersembunyi di balik kebijakan air bersih karena terbukti efektivitas model QHI di Lereng Gunung Sumbing belum mampu direplikasi secara luas akibat: keterbatasan struktur kelembagaan, dominasi aktor negara dan pasar, serta ketimpangan akses masyarakat terhadap sumber daya, teknologi, dan pengambilan keputusan. Meskipun kolaborasi multipihak telah terbukti berhasil secara lokal, praktik ini belum menyentuh akar masalah ketidaksetaraan struktural dalam kebijakan air bersih, termasuk minimnya komitmen pendanaan yang masih berpijak pada logika profit, serta dominasi pendekatan teknokratik yang kurang berkelanjutan. Oleh karena itu, pendekatan QHI perlu dikritisi dan diperdalam melalui perspektif ekonomi-politik agar tidak hanya bersifat kolaboratif secara prosedural, tetapi juga transformatif secara struktural dan berkeadilan secara sosial-ekologis.

Daftar Pustaka

- Abisono, F. G., Sakina, A. W., & et al. (2023). *Hilangnya Penghidupan Desa* (Cetakan Pertama). APMD Press.
- Abubakar, R. (2021). *Pengantar Metodologi Penelitian* (Cetakan Pertama). SUKA-Press UIN Sunan Kalijaga.
- Adi, D. S. (2017). Quadruple Helix Model in Inspiring the Development of Telematics Creative Industries Community-Based (The Study of Phenomenology on Industrial Startup in Malang). *International Conference "Sustainable Development Goals 2030 Challenges and Its Solutions*, 1–11. <https://www.researchgate.net/publication/319242518>
- Afonso, O., Monteiro, S., & Thompson, M. (2012). A growth model for the quadruple helix. *Journal of Business Economics and Management*, 13(5), 849–865. <https://doi.org/10.3846/16111699.2011.626438>
- Akmalluddin, A., & Ediyono, S. (2023). Quadruple Helix Model Philosophy to Enhance Corporate Social Responsibility (CSR) Creativity. *Daengku: Journal of Humanities and Social Sciences Innovation*, 3(4), 608–613. <https://doi.org/10.35877/454ri.daengku1779>
- Alfiandri, A., & Irawan, B. (2023). Collaborative Governance in Mangrove Ecotourism Policy

- on Bintan Island Coastal Approach of Penta Helix. *Jurnal Manajemen Pelayanan Publik*, 7(1), 171. <https://doi.org/10.24198/jmpp.v7i1.49066>
- Apriyanto, A., & Aryanti, D. (2019). *Environment Statistics of Indonesia Forests and Climate Change*.
- Asian Development Bank (ADB). (2016). *Asian Water Development Outlook 2016, Strengthening Water Security in Asia and The Pacific*. ASIAN DEVELOPMENT BANK. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/189411/awdo-2016.pdf>
- Avia, L. Q., Yulihastin, E., Izzaturrahim, M. H., Muhsaryah, R., Satyawardhana, H., Sofiati, I., Nurfindarti, E., & Gammamerdianti. (2023). The spatial distribution of a comprehensive drought risk index in Java, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 50(4), 753–760. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.02.031>
- Badan Pusat Statistika, & Kementerian Dalam Negeri. (2021). *Berita Resmi Statistik: Hasil Sensus Penduduk 2020*. <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2021/01/21/1854/hasil-sensus-penduduk--sp2020--pada-september-2020-mencatat-jumlah-penduduk-sebesar-270-20-juta-jiwa.html>
- Bappenas RI. (2020). *Perhitungan Baseline dan Target RPJMN 2020-2024 Bidang Air Minum, Bahan Paparan Direktorat Perkotaan, Perumahan, dan Permukiman*.
- Bisung, E., & Elliott, S. J. (2018). Improvement in access to safe water, household water insecurity, and time savings: A cross-sectional retrospective study in Kenya. *Social Science and Medicine*, 200, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.01.001>
- Cai, Y., & Lattu, A. (2022). Triple Helix or Quadruple Helix: Which Model of Innovation to Choose for Empirical Studies? *Minerva*, 60(2), 257–280. <https://doi.org/10.1007/s11024-021-09453-6>
- Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. (2012). The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>
- Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. J. (2010). Triple helix, Quadruple helix and Quintuple helix and how do Knowledge, Innovation and the Environment relate to Each other? a proposed framework for a trans-disciplinary analysis of sustainable development and social ecology. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 1(1), 41–69. <https://doi.org/10.4018/jses.2010010105>
- Carayannis, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. In *Ambio* (Vol. 46, Issue 5, pp. 513–531). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Magelang. (2020). *Panduan Ringkas Sekolah Lapangan Pengelolaan Sumber Mata Air*.
- Djuwita, M. R., Hartono, D. M., Mursidik, S. S., & Soesilo, T. E. B. (2021). Pollution load allocation on water pollution control in the citarum river. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 53(1), 1–15. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.1.12>
- Engkus, Aprianti, H., Mistilasari, I., Angesti, L., & Hardianisa, M. F. (2022). Penta Helix Perspective: The Pollution Control of the River Watershed (DAS) Citarum Indonesia. In *1st Virtual Workshop on Writing Scientific Article for International Publication Indexed SCOPUS* (pp. 194–200). Sciendo. <https://doi.org/10.2478/9788366675827-035>
- Harahap, N. (2020). *Penelitian Kualitatif* (H. Sazali, Ed.; 1st ed.). Wal ashri Publishing.
- Hardani, & et.al. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif* (A. Husnu, Ed.; 1st ed., Issue Maret). CV. Pustaka Ilmu.
- Hertiavi, M. A., Trisnowati, E., Marianti, A., & Abstrak, I. A. (2021). Indonesian Journal of Conservation i j Estimasi Tingkat Urgensi Konservasi Air melalui Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Air Pulau-Pulau Besar di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, 10(2), 58–65. <https://doi.org/10.15294/ijc.v10i2.31080>
- Ife, J., & Tesoriero, F. (2014). *Community Development: Alternatif Pengembangan Masyarakat di Era Globalisasi* (3rd ed.). Pustaka Pelajar.
- Irungu, R. W., Liu, Z., Liu, X., & Wanjiru, A. W. (2023). Role of Networks of Rural Innovation in Advancing the Sustainable Development Goals: A Quadruple Helix Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151713221>
- Kabupaten Magelang. (2021). *Kondisi Geografis Kabupaten Magelang*. <http://magelangkab.go.id/images/dokumen/geografis.pdf>

- Kolokytha, E. (2022). Adaptation: A Vital Priority for Sustainable Water Resources Management. *Water (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/w14040531>
- Kusbandianto, A. (2023). *Dampak Kemarau Panjang, Dropping Air Bersih Hampir Capai Empat Juta Liter*. <https://www.magelangkab.go.id/home/detail/dampak-kemarau-panjang-dropping-air-bersih-hampir-capai-empat-juta-liter/6014>
- Liu, Z., & Cao, S. (2021). Analysis of Water Resources Change and Water Use Structure in Shaanxi Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 651(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/651/3/032080>
- Manju, S., & Sagar, N. (2017). Renewable energy integrated desalination: A sustainable solution to overcome future fresh-water scarcity in India. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 73, pp. 594–609). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.164>
- Marinoski, A. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of Environmental Management*, 206, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.004>
- Maryati, S., Rahmani, N. I., & Rahajeng, A. S. (2018). Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Minum Berbasis Komunitas (Studi Kasus: Hippam Mandiri Arjowinangun, Kota Malang). *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(2), 131. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.2.131-147>
- Mineiro, A. A. da C., de Souza, T. A., & de Castro, C. C. (2021). The quadruple and quintuple helix in innovation environments (Incubators and science and technology parks). *Innovation and Management Review*, 18(3), 292–307. <https://doi.org/10.1108/INMR-08-2019-0098>
- Muhyi, H. A., & Chan, A. (2017). The Penta Helix Collaboration Model in Developing Centers of Flagship Industry in Bandung City. *Review of Integrative Business and Economics Research*, 6(1), 412. <http://buscompress.com/journal-home.html>
- Narendra, B. H., Siregar, C. A., Dharmawan, I. W. S., Sukmana, A., Pratiwi, Pramono, I. B., Basuki, T. M., Nugroho, H. Y. S. H., Supangat, A. B., Purwanto, Setiawan, O., Nandini, R., Ulya, N. A., Arifanti, V. B., & Yuwati, T. W. (2021). A Review on Sustainability of Watershed Management in Indonesia. *Sustainability*, 13(19), 11125. <https://doi.org/10.3390/su131911125>
- Liyantono., Setiawan, Y., Siahaan, L., Permatasari, P. A., Trissanti, V. N., Firmansyah, F. S., Amalo, L. F., Hartono, L. B., Abidin, Z., Syartinilia., Hartoyo, A. P. P., Hartono, T. H., Sonaji, R., Fatikhunnada, A., Mahfudz., Maulana, F., Hardansyah, R., Winastuti, H. R., Martiandi, B., Agathis, P., Lukmansjah, D., Sakina, H., Karim, A., Hermansyah, Y., Pebriant, A., Alfan, D., Januwardi, A., Astuti, N. (2022). *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022*. https://www.menlhk.go.id/cadmin/uploads/SLHI_2022_upload_final_77f9948571.pdf
- Paramasatya, S., Pr Afonso pta, Y. G., Pratama, K. R., & Ramadhani, D. (2021). Quadruple Helix Collaboration in Efforts to Fulfill Human Security in Kemijen Village, Semarang City. *Jurnal Ilmiah Hubungan Internasional*, 17(2), 219–238. <https://doi.org/10.26593/jihi.v17i2.4699.219-238>
- Purba, E. F., & Parulian Simanjuntak, Ms. (2011). *Metode Penelitian*. Percetakan Sadia.
- Purwanto, E. W. (2020). Pembangunan Akses Air Bersih Pasca Krisis Covid-19. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 4(2), 207–214. <https://doi.org/10.36574/jpp.v4i2.111>
- Ratna Reddy, V., Saharawat, Y. S., & George, B. (2017). Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of Hydrology*, 551, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.043>
- Sakina, A. W., Albizzia, O., Pangestu, M., & Wedadjati, R. S. (2022). Genealogy of Power in Sustainable Tourism Development in Mina Wisata Technopark Sleman. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat: Media Pemikiran Dan Dakwah Pembangunan*, 6(2), 181–198. <https://doi.org/10.14421/jpm.2022.062-03>
- Sakina, A. W., Gembong Rahmadi, R. Y., & Widati, W. (2021). Mainstreaming Disabilitas Dalam Sistem Manajemen Bencana Inklusif Di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Academia Praja*, 4(1), 1–22. <https://doi.org/10.36859/jap.v4i1.291>
- Sakina, A. W., Wedadjati, R. S., & Adiwirahayu, A. (2023). Model Sinergitas Quintuple Helix dalam Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan di Mina Wisata Technopark

- Sleman. *IMEJ: Islamic Management and Empowerment Journal*, 5(1). <https://doi.org/10.18326/imej.v5i1.87-102>
- Saraswaty, A. N. (2024). Revealing the Economic Challenges on Adaptive Sacred Water Management in Balinese Community. *Journal of Social Development Studies*, 5(1), 43–53. <https://doi.org/10.22146/jsts.10548>
- Schroth, F., Kaiser, S., Schraudner, M., & et al. (2021). *Quadruple Helix Collaboration in Practice*. www.sandrariedel.com
- Soetomo. (2012). *Keswadayaan Masyarakat Manifestasi Kapasitas Masyarakat untuk Berkembang secara Mandiri*. Pustaka Pelajar.
- Suaib;, & Nain, U. (2023). *Pembangunan dan Pemberdayaan Masyarakat* (1st ed.). Penerbit Adab.
- Subandi. (2011). Deskripsi Kualitatif Sebagai Satu Metode Dalam Penelitian Pertunjukan. *Harmonia: Journal of Arts Research and Education*, 11(2), 173–179. <https://doi.org/10.15294/harmonia.v11i2.2210>
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kualitatif: Untuk Penelitian yang Bersifat Eksploratif, Interpretif, Interaktif dan Konstruktif Alfabetika*.
- Tri Prasetya, B., Kurniawan, E., & Arto, A. B. (2013). *Bank Air Sebagai Solusi Mengatasi Kelangkaan Air Bersih Saat Banjir Melanda Jakarta*.
- Unesco., & World Water Assessment Programme (United Nations). (2006). *Water : a shared responsibility*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Wibowo, A., Sugihardjo, & Lestari, E. (2021). Synergy between myth and local wisdom in ecology balance of climate change in Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 724(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012110>
- Widyarani, Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T., & Sintawardani, N. (2022). Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 29, Issue 22, pp. 32397–32414). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19057-6>
- Wirata, G., Handayani, M. M., & Geriadi, M. A. D. (2023). Kebijakan pengembangan ecowisata berbasis komunitas di Indonesia: sebuah pendekatan quadruple helix. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 9(4), 16–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.29210/020232239>
- Zhang, Y., Chen, H., Lu, J., & Zhang, G. (2017). Detecting and predicting the topic change of Knowledge-based Systems: A topic-based bibliometric analysis from 1991 to 2016. *Knowledge-Based Systems*, 133, 255–268. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.07.011>
- Zubaedi. (2013). *Pengembangan Masyarakat: Wacana dan Praktik* (1st ed.). Kencana Prenada Media Grup.