

## **Integrasi *Technopreneurship* pada Rumusan Program Adaptif untuk Resiliensi Sumberdaya Air dan Lahan pada Kawasan Jatim Selatan**

W. Nugroho <sup>1\*</sup>, F. Nasruddin <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro 62119

<sup>2</sup> Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur, Surabaya 60235

\*[nugroho.riset@gmail.com](mailto:nugroho.riset@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Jawa Timur bagian selatan menghadapi kerentanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi dan geologis akibat topografi kompleks, degradasi lingkungan, dan perubahan iklim. Program ini bertujuan meningkatkan resiliensi sumber daya air dan lahan melalui rehabilitasi infrastruktur kritis, penerapan teknologi pemantauan, restorasi daerah aliran sungai, serta kebijakan zonasi berbasis risiko. Kerangka *Theory of Change* menghubungkan intervensi teknis dengan peningkatan kapasitas adaptif, tata kelola berbasis data, dan penguatan ekonomi lokal melalui *technopreneurship*. Hasil yang diharapkan adalah penurunan risiko kerusakan infrastruktur, peningkatan keandalan pasokan air, pengelolaan lahan berkelanjutan, dan pertumbuhan ekonomi hijau berbasis teknologi di wilayah rawan bencana.

Keywords: sumber daya air dan lahan, perubahan iklim, bencana, *technopreneurship*

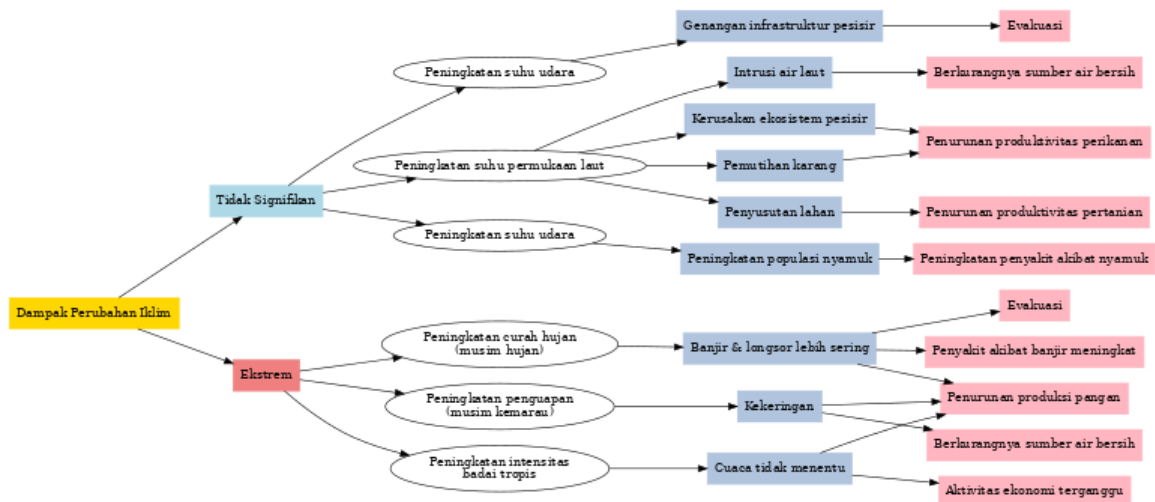
### **ABSTRACT**

*Southern East Java faces high vulnerability to hydrometeorological and geological disasters due to complex topography, environmental degradation, and climate change. This project aims to enhance land and water resources resilience through the rehabilitation of critical infrastructure, the application of monitoring technology, watershed restoration, and risk-based zoning policies. The Theory of Change framework links technical interventions with improved adaptive capacity, data-driven governance, and local economic empowerment through technopreneurship. Expected outcomes include reduced infrastructure damage risks, increased water supply reliability, sustainable land management, and the growth of a technology-based green economy in disaster-prone areas.*

Kata kunci: *land and water resources, climate change, disaster, technopreneurship*

### 1. LATAR BELAKANG

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi maupun geologis. Hampir setiap tahun wilayah ini dilanda banjir, tanah longsor, kekeringan, serta angin kencang yang berdampak langsung pada kehidupan masyarakat dan aktivitas ekonomi. Tren kejadian bencana juga menunjukkan kecenderungan meningkat dalam dua dekade terakhir, dengan dominasi bencana yang berkaitan erat dengan perubahan iklim. Kondisi ini mempertegas pentingnya memahami hubungan antara perubahan iklim dan potensi bencana di tingkat regional sebagai dasar perencanaan adaptasi dan mitigasi yang lebih efektif. Karnaji dkk (2025) menyajikan skema pada gambar 1, yang menggambarkan rantai dampak perubahan iklim di Jawa Timur yang terbagi ke dalam dua kategori utama, yaitu dampak yang bersifat insignifikan (perubahan bertahap) dan dampak yang bersifat ekstrim (kejadian intens dan destruktif). Setiap kategori perubahan iklim memicu berbagai dampak langsung pada lingkungan fisik dan ekosistem, yang kemudian berkembang menjadi dampak turunan (*hereditary impact*) yang memengaruhi kehidupan sosial, ekonomi, dan kesehatan masyarakat (Karnaji dkk., 2025). Perubahan yang relatif kecil seperti peningkatan suhu udara dan suhu permukaan laut berakibat pada kerusakan ekosistem pesisir, intrusi air laut, pemutihan karang, hingga peningkatan populasi nyamuk. Sementara itu, perubahan ekstrim berupa peningkatan curah hujan, peningkatan penguapan di musim kemarau, serta intensitas badai tropis menimbulkan bencana yang lebih nyata, seperti banjir, longsor, kekeringan, hingga cuaca yang tidak menentu. Rangkaian dampak ini secara berlapis menyebabkan gangguan besar pada sistem kehidupan penduduk di wilayah yang terkena dampak .

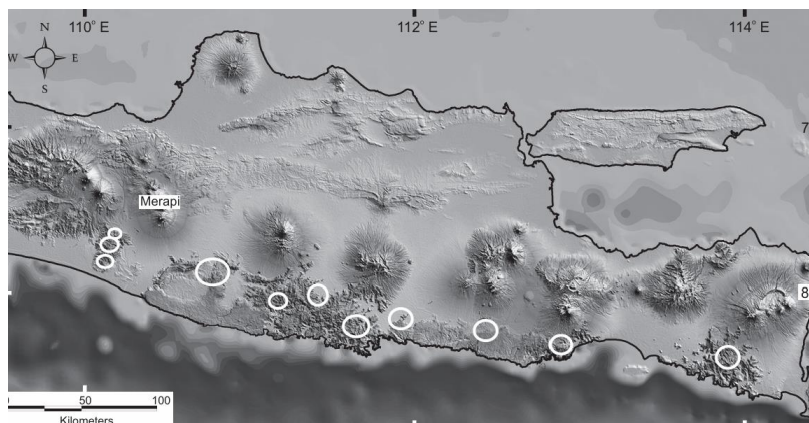


Gambar 1. Dampak Perubahan Iklim di Jawa Timur

Sumber: Karnaji dkk., (2025)

Jawa Timur bagian selatan merupakan wilayah yang memiliki karakteristik topografi dan hidrologi yang unik. Wilayah ini didominasi oleh formasi geologi yang dinamis, kontur lahan yang bergelombang, lereng yang curam, serta struktur tanah bawah permukaan yang kompleks (Bachri dkk., 2021). Karakteristik lingkungan tersebut membuat lahan dan

sumber daya air di kawasan ini sangat rentan terhadap degradasi. Jawa Timur bagian selatan memiliki *Southern Mountain Arc*, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2, suatu formasi geologi penting yang berperan besar dalam membentuk topografi, hidrologi, dan profil risiko bencana di kawasan ini (Smyth dkk., 2008). Lengkungan pegunungan ini tersusun atas formasi vulkanik dan batu gamping yang terangkat, yang mempengaruhi pola sungai, aliran air tanah, dan kestabilan lereng. Faktor-faktor tersebut erat kaitannya dengan kerentanan banjir dan longsor. Kawasan ini berada di antara dua lempeng tektonik pada zona subduksi, menjadikannya sangat aktif secara tektonik (Supari dkk., 2012). Proses dinamis ini telah menyebabkan deformasi geologi signifikan di bagian selatan pulau. Keberadaan struktur sesar teridentifikasi pada kedalaman 500–8.000 meter di wilayah Pacitan–Trenggalek, serta 100–500 meter di wilayah Lumajang (Lestari dkk., 2019).



**Gambar 2.** *Southern Mountain Arc di Jawa Timur*

Sumber: Smyth dkk., (2008)

Faktor iklim seperti suhu dan intensitas hujan yang tinggi meningkatkan kerentanan terhadap pergerakan massa tanah. Hujan deras, ditambah getaran akibat gempa bumi, dapat memicu pelepasan lapisan terluar bumi seperti batuan lapuk dan tanah dari gunung atau perbukitan. Ancaman hidrometeorologi semakin memperumit kondisi tersebut. Jawa Timur bagian selatan, yang didominasi wilayah pegunungan, mengalami frekuensi dan intensitas hujan ekstrim yang tinggi (Supari dkk., 2012).

Dampak perubahan iklim di Jawa Timur terlihat dalam bentuk perubahan pola hujan, meningkatnya frekuensi cuaca ekstrim, dan kenaikan suhu (Prayoga dkk., 2023). Berdasarkan proyeksi curah hujan untuk periode 2030–2040, terdapat kecenderungan peningkatan intensitas hujan di sebagian besar wilayah Jawa Timur, terutama di wilayah selatan yang berciri topografi pegunungan, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3. Peningkatan intensitas hujan ini diperkirakan akan meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor, khususnya di wilayah dengan curah hujan tahunan sangat tinggi (>1.400 mm/tahun). Sementara itu, wilayah dengan curah hujan rendah secara historis, seperti pesisir utara dan sebagian wilayah timur, diproyeksikan tetap relatif kering atau hanya mengalami peningkatan kecil curah hujan. Wilayah-wilayah ini kemungkinan masih menghadapi risiko kekeringan musiman, terutama selama musim kemarau yang panjang atau tidak menentu (USAID, 2018).



bangunan pengambilan tidak lagi selaras dengan pola aliran yang berubah, menyebabkan kehilangan air yang besar dan menurunkan kapasitas layanan. Keberlanjutan jangka panjang memerlukan integrasi strategi pengelolaan lahan dengan perencanaan infrastruktur air. Tata kelola ruang kolaboratif antara masyarakat lokal dan otoritas pengatur sangat penting untuk menyelaraskan proses alih fungsi lahan dengan perlindungan aset hidrologi (Simarmata dkk., 2024).



**Gambar 4.** Peta Kerawanan Bencana Longsor Jawa Timur

Sumber: USAID (2018)

Dalam perspektif pembangunan adaptif, *technopreneurship* dipahami sebagai pendekatan yang memadukan inovasi teknologi dengan dinamika kewirausahaan untuk menjawab tantangan lingkungan dan bencana. Integrasi *technopreneurship* dalam program adaptif memberikan kerangka baru dalam pengelolaan sumber daya air dan lahan, karena mampu mengarahkan transformasi dari pola pengelolaan yang reaktif menjadi lebih proaktif, kolaboratif, dan berbasis pengetahuan (Khanna dkk., 2022). Pendekatan ini menekankan pentingnya kemandirian masyarakat dalam menghasilkan solusi inovatif yang berakar pada kebutuhan lokal, sekaligus membuka peluang untuk memperkuat daya saing ekonomi di wilayah yang rentan terhadap bencana. Lebih jauh, *technopreneurship* dapat berfungsi sebagai instrumen konseptual yang menjembatani dimensi teknis, sosial, ekonomi, dan tata kelola. Di satu sisi, ia mendukung penciptaan sistem adaptasi yang efisien dan terukur, sementara di sisi lain memperkuat kapasitas kelembagaan dan partisipasi masyarakat dalam proses pengambilan keputusan (Maduwanthi dan Roca, 2022). Dengan mengintegrasikan prinsip *technopreneurship* dalam kebijakan dan program adaptif, respon terhadap risiko bencana tidak hanya berfokus pada pengendalian kerusakan fisik, tetapi juga diarahkan pada penguatan kapasitas manusia dan kelembagaan untuk beradaptasi secara berkelanjutan.

Dari uraian di atas, dapat diketahui bahwa wilayah Jawa Timur bagian selatan memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi dan degradasi lahan akibat faktor

geologi, topografi, iklim, serta aktivitas manusia. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan tentang pendekatan pengelolaan yang tepat dalam meningkatkan resiliensi dan mengurangi risiko akibat bencana. Selain itu, perlu dikaji penggunaan kerangka kerja yang dapat digunakan sebagai alat perencanaan strategis dalam penyusunan program adaptif. Di sisi lain, muncul pula permasalahan mengenai bagaimana peran *technopreneurship* dalam menghubungkan inovasi teknologi dengan peluang usaha lokal untuk mendorong terbentuknya ekosistem ekonomi hijau. Pada akhirnya, perlu pula dirumuskan sejauh mana integrasi *technopreneurship* pada rumusan program adaptif dapat menghasilkan dampak peningkatan resiliensi.

## 2. METODE STUDI

Studi ini mengusulkan kerangka kerja *Theory of Change* (ToC) untuk merancang, memetakan, dan menganalisis strategi adaptif dalam membangun resiliensi terhadap bencana dan perubahan iklim di Jawa Timur bagian selatan. Pendekatan ini dipilih karena ToC teruji dalam studi terdahulu dengan menghubungkan secara logis dan terukur antara kondisi awal, intervensi, *output*, hasil, dan dampak jangka panjang, serta memfasilitasi partisipasi multi-pemangku kepentingan dalam proses perencanaan (Mayne, 2017). Studi ini difokuskan pada wilayah rawan bencana di Jawa Timur bagian selatan yang memiliki kerentanan tinggi terhadap banjir, tanah longsor, kekeringan, dan degradasi lahan. Lokasi studi dipilih secara *purposive* berdasarkan data risiko bencana dari Badan Perencanaan Bencana Daerah (BPBD) Jawa Timur, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta dinas terkait di Pemerintah Provinsi Jawa Timur.

Data studi ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pejabat pemerintah daerah terkait, pelaku usaha, kelompok masyarakat, akademisi, dan *Non-Governmental Organization* (NGO). Selain itu, dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) untuk pemetaan kebutuhan adaptasi dan mengidentifikasi peluang pengembangan *technopreneurship* di wilayah studi. Observasi lapangan dilakukan untuk menilai kondisi infrastruktur sumber daya air, lahan kritis, serta kegiatan ekonomi dan lingkungan berbasis teknologi. Data sekunder diperoleh dari sumber resmi, termasuk data spasial dan statistik risiko bencana dari BPBD Jatim, BIG, BMKG dan BNPB. Data hidrologi dan klimatologi dikumpulkan dari instansi teknis terkait, sedangkan dokumen kebijakan daerah, rencana tata ruang, dan laporan proyek adaptasi iklim ditelaah untuk memberikan konteks kebijakan dan memperkuat analisis strategi adaptasi serta peran *technopreneurship*.

Tahapan studi dalam kerangka ToC dimulai dengan identifikasi kondisi awal (*baseline*), yang mencakup analisis kerentanan bencana dan kapasitas adaptif masyarakat, disertai inventarisasi potensi teknologi dan peluang *technopreneurship* di wilayah studi. Tahap berikutnya adalah penetapan dampak jangka panjang, yaitu peningkatan resiliensi terhadap iklim dan bencana di Jawa Timur bagian selatan melalui inovasi teknologi dan penguatan ekonomi lokal. Selanjutnya dirumuskan *outcome*, yang mencakup penguatan tata kelola berbasis data, peningkatan kapasitas adaptif masyarakat, serta pengembangan ekosistem bisnis berbasis teknologi hijau (Monasterolo dkk., 2024). Dari *outcome* ini diidentifikasi *output* yang diharapkan. Tahap akhir melibatkan validasi dan umpan balik

melalui lokakarya multi-pemangku kepentingan untuk memastikan strategi yang dirumuskan sesuai dengan konteks lokal dan dapat diimplementasikan secara efektif (Karnaji dkk., 2025). Analisis dilakukan dengan memetakan hubungan sebab-akibat antar komponen ToC menggunakan diagram alur logis. Data kualitatif dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi hambatan dan peluang, sementara data kuantitatif digunakan untuk mengukur indikator kinerja pada setiap tingkat analisis.



**Gambar 5.** Tahap Analisis Studi

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### KERANGKA KERJA *THEORY OF CHANGE*

##### IDENTIFIKASI TUJUAN PROGRAM

Program ini bertujuan membangun sistem sumber daya air dan lahan yang tangguh terhadap perubahan iklim melalui pendekatan adaptif, berbasis risiko, dan kolaboratif. Intinya adalah mengintegrasikan proyeksi iklim, data, dan penilaian risiko ke dalam perencanaan serta memastikan koordinasi lintas sektor dan partisipasi masyarakat.

Hasil yang diharapkan adalah terciptanya tata kelola air dan lahan yang proaktif, terintegrasi, dan berkelanjutan, sehingga mendukung resiliensi sektor pangan, kesehatan, ekonomi, dan konservasi lingkungan, sekaligus menggeser paradigma dari sistem yang reaktif menjadi tangguh menghadapi ketidakpastian iklim dan aktivitas manusia.

**Tabel 1.** Identifikasi Permasalahan dan Pernyataan Tujuan

Komponen	Deskripsi
Permasalahan	Sumberdaya air dan lahan di Jawa Timur bagian selatan mengalami deteriorasi akibat bencana

Komponen	Deskripsi
Tujuan	Meningkatkan resiliensi sumberdaya air dan lahan melalui pendekatan adaptif, berbasis risiko, dan kolaboratif yang mendorong pembangunan berkelanjutan

Sumber : Hasil Analisis

## IDENTIFIKASI BASELINE

*Baseline* (kondisi awal) wilayah terdampak bencana merupakan hal yang penting dalam perumusan program adaptif. Salah satunya adalah mengenai jumlah penduduk yang terpapar. Tabel berikut menyajikan rekapitulasi jumlah penduduk yang terpapar berbagai jenis bencana di wilayah Jawa Timur bagian selatan. Banjir mempengaruhi total 187.137 jiwa, dengan Tulungagung sebagai wilayah paling terdampak (36.918 jiwa) dan Pacitan paling sedikit (5.622 jiwa). Cuaca ekstrim menjadi bencana dengan jumlah penduduk terpapar terbesar, yakni 1.130.589 jiwa, di mana Malang tercatat sebagai wilayah paling terdampak (261.390 jiwa) dan Bondowoso relatif rendah (48.336 jiwa). Kebakaran hutan dan lahan mencatat total paparan 650.143 jiwa, dengan Malang menempati angka tertinggi (154.854 jiwa) dan Bondowoso terendah (29.775 jiwa). Longsor berdampak pada 683.261 jiwa, dengan Malang kembali menjadi wilayah paling terdampak (103.229 jiwa) dan Bondowoso paling sedikit (41.022 jiwa). Secara keseluruhan, total penduduk yang terpapar keempat jenis bencana ini mencapai 2.651.130 jiwa, dengan rata-rata 294.570 jiwa per wilayah, di mana Malang memiliki angka tertinggi (536.854 jiwa) dan Bondowoso terendah (131.977 jiwa).

**Tabel 2.** Jenis Bencana dan Jumlah Penduduk Terpapar

Jenis Bencana	Penduduk terpapar (orang)	Rata-rata / Wilayah	Tertinggi	Terendah
Banjir	187.137	20.793	Tulungagung (36.918)	Pacitan (5.622)
Cuaca Ekstrim	1.130.589	125.621	Malang (261.390)	Bondowoso (48.336)
Kebakaran Hutan/Lahan	650.143	72.238	Malang (154.854)	Bondowoso (29.775)
Longsor	683.261	75.918	Malang (103.229)	Bondowoso (41.022)
<b>TOTAL</b>	<b>2.651.130</b>	<b>294.570</b>	<b>Malang (536.854)</b>	<b>Bondowoso (131.977)</b>

Sumber : Hasil Analisis

Selain jumlah penduduk yang terpapar, hubungan antarfaktor bencana juga menunjukkan pola signifikan. Korelasi antara banjir dan longsor cukup kuat ( $R = 0,71$ ), yang menegaskan bahwa wilayah berlereng curam sangat rentan mengalami kedua bencana tersebut secara bersamaan. Hubungan antara cuaca ekstrim dan kebakaran hutan/lahan ( $r = 0,64$ ) menunjukkan bahwa angin kencang dan kondisi ekstrim mempercepat penyebaran api. Korelasi antara kebakaran hutan/lahan dan longsor ( $r = 0,72$ ) menekankan peran vegetasi sebagai penahan tanah, sehingga hilangnya vegetasi akibat kebakaran meningkatkan risiko longsor. Hubungan cuaca ekstrim dan banjir ( $r = 0,76$ ) merupakan korelasi tertinggi,

menandakan bahwa hujan ekstrim dapat menjadi pemicu banjir. Sementara itu, korelasi antara penduduk terpapar dan luas wilayah ( $r = 0,68$ ) menunjukkan bahwa wilayah yang lebih luas, seperti Malang dan Banyuwangi, cenderung memiliki jumlah penduduk terdampak bencana lebih tinggi.

**Tabel 3.** Analisis Korelasi Kejadian Bencana

Korelasi Faktor	Korelasi (r)	Interpretasi
Banjir dan Longsor	0,71	Pada topografi berlereng curam rentan terjadi banjir dan longsor
Cuaca Ekstrim dan Kebakaran Hutan/Lahan	0,64	Kecepatan angin ekstrim mempengaruhi kebakaran
Kebakaran Hutan/Lahan dan Longsor	0,72	Hilangnya vegetasi mempengaruhi longsor
Cuaca Ekstrim dan Banjir	0,76	Intensitas hujan ekstrim memicu banjir
Penduduk terpapar dan luas wilayah	0,68	Wilayah yang lebih luas cenderung memiliki angka penduduk terpapar yang lebih tinggi

Sumber : Hasil Analisis

Secara keseluruhan, temuan ini memperlihatkan bahwa bencana di wilayah ini tidak terjadi secara terpisah, melainkan saling terkait. Faktor cuaca ekstrim, topografi, dan kondisi ekologi berperan penting dalam meningkatkan risiko, sehingga upaya mitigasi bencana perlu mempertimbangkan keterkaitan antarjenis bencana serta karakteristik wilayah dan kepadatan penduduk.

#### PERANCANGAN ALUR PERUBAHAN

Program ini menghubungkan *output* nyata, *outcome* terukur, dan dampak jangka panjang. Upaya yang dilakukan mencakup rehabilitasi infrastruktur untuk memperkuat resiliensi terhadap bencana dan menjaga keberlanjutan layanan air, penerapan teknologi pemantauan *real-time* mendukung tata kelola berbasis data dan perencanaan tata ruang yang lebih akurat, peningkatan kapasitas lokal melalui pelatihan teknis, manual rekayasa adaptif, serta restorasi ekologis berbasis masyarakat guna memperkuat pengelolaan infrastruktur dan menjaga keseimbangan hidrologi, serta penerapan kebijakan zonasi berbasis risiko untuk mencegah kerusakan akibat penggunaan lahan yang tidak terkendali. Secara keseluruhan, kombinasi intervensi ini diharapkan memperkuat infrastruktur, tata kelola, dan ekosistem, sehingga mendorong transformasi menuju sistem pengelolaan sumber daya air yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan berkeadilan, sebagaimana tertera pada tabel 4.

**Tabel 4.** Rancangan Alur Perubahan

<b>Output</b>	<b>Outcome</b>	<b>Dampak Program</b>
Rehabilitasi dan perkuatan sistem sumberdaya air dan lahan melalui konservasi tanah dan air, serta pengendalian perubahan dan degradasi DAS	Sistem sumberdaya air dan lahan menjadi lebih resilien terhadap bencana dan degradasi lingkungan	Resiliensi regional meningkat
Pemasangan sistem pemantauan hidrologi <i>real-time</i> dan sistem prediksi dengan memanfaatkan IoT dan GIS	Tata kelola sumber daya air yang berbasis data dan responsif dapat diwujudkan	Sistem sumberdaya air dan lahan menjadi lebih adaptif
Integrasi LiDAR, citra satelit, dan pemetaan topografi 3D dalam zonasi dan perencanaan	Perencanaan tata guna lahan menjadi berbasis risiko dan selaras dengan perlindungan daerah aliran sungai	Kerentanan terhadap bencana berkurang
Perkuatan melalui penerapan dan pelatihan mengenai rekayasa adaptif serta <i>bioengineering</i>	Kapasitas teknis lokal untuk perancangan dan pemeliharaan yang tangguh meningkat	Keberlanjutan sumberdaya air dan lahan dalam jangka panjang
Program restorasi dan konservasi daerah aliran sungai berbasis masyarakat	Stabilitas ekologi dan hidrologi di daerah aliran sungai meningkat	Daerah aliran sungai terlindungi
Implementasi kebijakan zonasi di wilayah yang rentan terhadap penurunan, erosi, dan tanah longsor	Penggunaan lahan menjadi terkelola dan peka terhadap risiko	Kerusakan lahan akibat alih fungsi yang tidak teratur dapat diminimalkan

Sumber : Hasil Analisis

### **ANALISIS RISIKO DAN STRATEGI MITIGASI**

Keberhasilan program tidak hanya ditentukan oleh akuratnya perancangan dan analisis, tetapi juga oleh sejumlah asumsi kunci yang menjadi prasyarat eksternal. Dalam perancangan program ini terdapat beberapa asumsi penting yang mempengaruhi keberhasilan. Pertama, dukungan pemerintah pusat dan daerah sangat penting dalam bentuk pendanaan, kebijakan, dan koordinasi lintas sektor. Kedua, ketersediaan serta akses terhadap data hidrologi, geoteknik, dan spasial menjadi dasar perencanaan berbasis risiko. Ketiga, keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan, restorasi, dan pemantauan dibutuhkan untuk menjamin penerimaan sosial dan keberlanjutan program. Keempat, koordinasi antar lembaga teknis harus berjalan efektif untuk menyelaraskan standar, berbagi data, dan menghindari duplikasi kerja.

Selain itu, program juga menghadapi berbagai risiko politik, teknis, lingkungan, dan sosial-ekonomi yang berada di luar kendali langsung. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi dan manajemen risiko adaptif agar implementasi tetap fleksibel, responsif, dan berkelanjutan, sebagaimana tertera pada tabel 5.

**Tabel 5.** Risiko dan Strategi Mitigasi

Risiko	Strategi Mitigasi
Resistensi terhadap regulasi zonasi baru dan pembatasan tata guna lahan	Menggunakan perencanaan spasial partisipatif dan dialog multi-pemangku kepentingan
Kapasitas teknis yang terbatas di tingkat lokal untuk mengelola sistem cerdas	Memberikan pelatihan dan melibatkan mitra akademik/teknis
Tingkat ekstrim iklim melebihi standar desain infrastruktur saat ini	Menerapkan desain modular, fleksibel, dan tinjau secara berkala berdasarkan data <i>real-time</i>
Kepentingan yang bertentangan antara sektor pertanian, industri, dan domestik	Memfasilitasi perencanaan lintas sektor dan membentuk forum koordinasi

Sumber : Hasil Analisis

### ANALISIS KETERLIBATAN PEMANGKU KEPENTINGAN

Keterlibatan pemangku kepentingan program ini dianalisis untuk mendorong proses yang inklusif, transparan, dan partisipatif sepanjang pelaksanaan program. Analisis ini memprioritaskan prinsip *Free, Prior, and Informed Consent* (FPIC), khususnya bagi masyarakat adat, guna memastikan hak-hak budaya, pengetahuan tradisional, dan klaim atas tanah mereka dihormati. Keterlibatan semua kelompok pemangku kepentingan secara bermakna akan meningkatkan legitimasi program, mendorong rasa kepemilikan lokal, dan mendukung keberlanjutan jangka panjang. Strategi ini juga berupaya menyeimbangkan dinamika kekuasaan dengan memberikan ruang bagi kelompok yang biasanya kurang terwakili, seperti perempuan, pemuda, dan petani skala kecil, sebagaimana tertera pada tabel 6.

**Tabel 6.** Keterlibatan Pemangku Kepentingan

Kelompok Pemangku Kepentingan	Peran/Kepentingan	Pendekatan Keterlibatan
Masyarakat Adat	Hak budaya, akses lahan	Persetujuan Atas Dasar Informasi Awal Tanpa Paksaan (prinsip FPIC) dengan para pemimpin adat
Petani/Pengguna Air	Pengguna akhir infrastruktur	Forum desa, FGD ( <i>Focus Group Discussion</i> )
Kelompok Perempuan dan Pemuda	Sering terpinggirkan tetapi terdampak	Diskusi dengan kelompok perempuan dan kelompok pemuda
Pemerintah Daerah	Kebijakan, perizinan	Sesi perencanaan bersama
LSM/Organisasi Berbasis Komunitas	Fasilitasi, pemantauan	Pelatihan dan fasilitasi
Institusi Akademik	Penelitian, masukan teknis	Lokakarya, diskusi panel

Sumber : Hasil Analisis

### ANALISIS LOGFRAME

Gambaran menyeluruh mengenai hubungan hierarkis antara tujuan program, *outcome* yang diharapkan, *output* kegiatan, serta indikator pencapaian yang dapat diverifikasi dalam bentuk Kerangka Logis (*logframe*). *Logframe* sebagaimana tertera pada tabel 7 berikut ini menjadi alat perencanaan, *monitoring*, dan evaluasi yang membantu memastikan bahwa setiap *output* secara konsisten berkontribusi pada pencapaian hasil, dan selanjutnya pada dampak yang diinginkan. Dalam *logframe* ini, indikator disusun agar kemajuan dapat diukur secara obyektif. Sumber atau cara verifikasi dijelaskan untuk memastikan keterukuran hasil, sementara asumsi dicantumkan sebagai kondisi eksternal yang harus terpenuhi agar hubungan sebab-akibat antar level tujuan dapat berlangsung secara efektif.

**Tabel 7.** *Logframe* Program

Hirarki Tujuan	Indikator	Cara Verifikasi	Asumsi
<u>DAMPAK PROGRAM</u> Meningkatkan resiliensi dan keberlanjutan sumber daya air dan lahan di Jawa Timur bagian selatan	Persentase penurunan kejadian bencana saat cuaca ekstrem	Laporan tahunan resiliensi iklim	Dukungan pemerintah berkelanjutan
	Persentase peningkatan keandalan distribusi air ke wilayah rentan	Data layanan air dari otoritas daerah	Penegakan regulasi lahan/zona berjalan efektif
	Penurunan konflik antarwilayah terkait sumber daya air	Catatan sengketa dari kantor kabupaten	
<u>OUTCOME 1</u> Infrastruktur air tangguh terhadap bahaya iklim dan geologi	Jumlah aset infrastruktur kritis yang direhabilitasi	Laporan audit teknik	Ketersediaan kontraktor terampil
	Persentase peningkatan skor kinerja struktur pasca-upgrade	Catatan pemeliharaan	Kondisi iklim ekstrem tetap dalam ambang batas desain
<u>OUTCOME 2</u> Tata kelola berbasis data dan adaptif	Sistem hidrologi <i>real-time</i> beroperasi di >80% lokasi target	Dasbor IoT/GIS	Sistem data interoperabel antar lembaga
	Frekuensi keputusan berbasis data	Notulen rapat, memo perencanaan	Akses internet dan listrik andal di lokasi pemantauan
<u>OUTCOME 3</u> Perencanaan tata guna lahan berbasis risiko dan selaras dengan DAS	Jumlah rencana zonasi baru berbasis LiDAR dan peta bahaya	Regulasi zonasi	Dukungan pemangku kepentingan
	Persentase penurunan pembangunan di zona berisiko tinggi	Data izin lahan dan konstruksi	Kepatuhan masyarakat terhadap peraturan zonasi

Hirarki Tujuan	Indikator	Cara Verifikasi	Asumsi
<u>OUTCOME 4</u> Komunitas dan institusi memiliki kapasitas untuk menerapkan praktik tangguh	Jumlah orang dilatih dalam metode adaptif/ <i>bioengineering</i>	Daftar hadir pelatihan	- Ketersediaan masyarakat untuk berpartisipasi
	Jumlah proyek restorasi berbasis masyarakat yang selesai	Laporan penyelesaian proyek	- Materi teknis sesuai konteks lokal
<u>OUTPUT 1</u> Infrastruktur kritis direhabilitasi	Jumlah infrastruktur kritis direhabilitasi	Laporan konstruksi dan Inspeksi rehabilitasi	- Proses pengadaan tepat waktu dan transparan - Tidak ada keterlambatan signifikan akibat cuaca/akses lahan - Komunitas lokal mendukung kegiatan konstruksi
<u>OUTPUT 2</u> Sistem pemantauan <i>real-time</i> terinstalasi	Jumlah sensor/stasiun operasional	Log data IoT dan dasbor pemantauan	- Infrastruktur digital (internet, listrik) tersedia
	Persentase waktu operasional ( <i>uptime</i> )		- Staf teknis terlatih dan bertahan - Peralatan tidak dirusak atau dicuri
<u>OUTPUT 3</u> LiDAR dan peta risiko terintegrasi dalam perencanaan	Jumlah peta topografi/peta risiko terbaru yang dipublikasikan	Laporan lembaga/tim perencanaan	- Lembaga menggunakan dan mempercayai data - Dukungan teknis tersedia untuk interpretasi - Tidak ada keterlambatan akuisisi/pemrosesan data satelit
OUTPUT 4 Manual pelatihan dan sesi pelatihan dilaksanakan	Jumlah manual didistribusikan	Catatan pelatihan	- Peserta sesuai target hadir dan aktif
	Jumlah peserta pelatihan		- Materi sesuai budaya dan bahasa lokal - Pelatih kompeten dan dipercaya komunitas
OUTPUT 5 Program restorasi DAS dilaksanakan	Hektar lahan direboisasi Jumlah titik kritis tertangani	Laporan <i>monitoring</i> lapangan dan citra satelit	- Komunitas mau berpartisipasi dan merawat area - Seluruh bibit dan material tersedia

Sumber : Hasil Analisis

## **INTEGRASI *TECHNOPREUNERSHIP***

Resiliensi sumber daya air dan lahan di Jawa Timur bagian Selatan merupakan tantangan multidimensi yang tidak hanya berkaitan dengan rehabilitasi infrastruktur fisik dan konservasi lingkungan, tetapi juga menuntut adanya model pengelolaan inovatif yang dapat memastikan keberlanjutan jangka panjang. Salah satu pendekatan strategis untuk mewujudkan hal tersebut adalah mengintegrasikan *technopreneurship* sebagai bagian integral dari desain program. Dalam kerangka ini, *technopreneurship* dimaknai sebagai kewirausahaan berbasis teknologi yang bertujuan menciptakan, mengembangkan, dan mengkomersialisasikan solusi inovatif untuk mengatasi persoalan nyata yang dihadapi masyarakat, khususnya yang terkait dengan perubahan iklim, degradasi ekosistem, dan keterbatasan infrastruktur air. Pendekatan ini tidak hanya berorientasi pada penciptaan teknologi, tetapi juga memastikan teknologi tersebut dapat diadopsi, dipelihara, dan dikembangkan oleh masyarakat setempat dalam bentuk usaha yang memberikan keuntungan ekonomi, sosial, dan lingkungan secara simultan. Dengan demikian, *technopreneurship* menjadi penghubung antara upaya adaptasi iklim berbasis sains dengan pemberdayaan ekonomi masyarakat, menciptakan siklus keberlanjutan yang saling menguatkan.

Ruang lingkup *technopreneurship* dalam program ini dirancang untuk membangun keterkaitan antara teknologi, lingkungan, tata kelola, dan pemberdayaan masyarakat. Tahap awal dimulai dengan inovasi teknologi pemantauan, di mana pemanfaatan IoT, GIS, LiDAR, dan citra satelit menjadi dasar penyediaan data dan layanan analitik. Data ini tidak hanya berfungsi untuk pemantauan hidrologi *real-time*, analisis risiko bencana, dan prediksi musim tanam adaptif, tetapi juga menjadi aset ekonomi yang menopang model bisnis berkelanjutan berbasis langganan maupun paket layanan (Rohmah dkk., 2024). Pemanfaatan data tersebut kemudian mendukung lahirnya solusi *bioengineering* ramah lingkungan. Informasi spasial dan hidrologi yang akurat memungkinkan penerapan teknik konservasi seperti vegetasi penahan longsor dengan lebih tepat sasaran. Dari sini, peluang usaha lokal dapat berkembang melalui produksi material *bioengineering*, penyediaan jasa konsultasi, dan pengembangan solusi modular, sehingga transfer teknologi konservasi benar-benar sampai ke tingkat komunitas (Cao dkk., 2023). Selanjutnya, keberadaan data dan solusi teknis tersebut diintegrasikan dalam platform digital tata kelola air. Sistem ini menyatukan informasi iklim, ketersediaan, dan distribusi air untuk memfasilitasi koordinasi lintas wilayah, meningkatkan transparansi, serta memperkuat sistem peringatan dini berbasis komunitas. Tidak hanya itu, platform ini juga berperan sebagai *marketplace* yang mempertemukan penyedia teknologi dan jasa ramah lingkungan dengan pihak yang membutuhkan, baik sektor publik maupun swasta. Akhirnya, seluruh pondasi teknologi, konservasi, dan tata kelola tersebut bermuara pada ekosistem usaha berbasis komunitas (Monasterolo dkk., 2024). Melalui inkubator desa hasil pengembangan kapasitas, masyarakat didorong untuk mengolah peluang menjadi produk nyata, seperti peralatan panen air hujan, sistem irigasi hemat air, bibit tanaman, pupuk organik, hingga paket wisata edukasi lingkungan. Dengan dukungan akademisi dan fasilitator bisnis, ekosistem ini berkembang menjadi kluster ekonomi hijau yang berakar pada inovasi lokal sekaligus memperkuat keberlanjutan program secara menyeluruh.

Integrasi *technopreneurship* dalam program ini menghadirkan dampak ganda di tiga dimensi utama. Dari sisi ekonomi, ia menciptakan lapangan kerja baru, memperkuat UMKM, dan membuka pasar bagi produk serta layanan berbasis inovasi hijau. Dari sisi sosial, pendekatan ini meningkatkan keterampilan masyarakat, memperkuat kemandirian ekonomi, serta memberdayakan kelompok rentan seperti perempuan dan pemuda. Dari sisi lingkungan, *technopreneurship* mendorong adopsi teknologi yang menjaga fungsi ekologis, mengurangi kerusakan, dan mendukung adaptasi berbasis ekosistem sesuai target pembangunan rendah emisi. Untuk mewujudkan dampak tersebut, disusun strategi implementasi yang terintegrasi, meliputi pengembangan modul kewirausahaan teknologi dalam pelatihan, pembentukan kemitraan dengan perguruan tinggi, inkubator bisnis, dan investor sosial, serta fasilitasi HKI, sertifikasi produk, dan skema pembiayaan inovatif. Dukungan insentif daerah dan *business matching* turut mempercepat adopsi teknologi serta membuka akses pasar yang lebih luas. Dalam kerangka ToC, *technopreneurship* berfungsi sebagai katalis yang menghubungkan setiap tahap perubahan. Pada level *output*, teknologi dan kegiatan konservasi tidak hanya menghasilkan infrastruktur atau sistem baru, tetapi juga peluang usaha berkelanjutan. Pada level *outcome*, masyarakat tidak sekadar menerima teknologi, melainkan membangun kapasitas adaptif dan pola pikir kewirausahaan yang mendukung keberlanjutan finansial. Pada level dampak program, pendekatan ini memperkuat resiliensi iklim dan pengelolaan sumber daya air sekaligus membangun ekosistem ekonomi hijau yang tangguh. Dengan demikian, *technopreneurship* menjadi jembatan antara inovasi teknologi, penguatan kapasitas lokal, dan keberlanjutan jangka panjang. Alur ini memastikan bahwa dampak positif program tidak berhenti pada tahap implementasi, tetapi terus berkembang melalui mekanisme pasar, kolaborasi multi pihak, dapat direplikasi di wilayah lain, sejalan dengan prinsip transformasi sistemik yang inklusif dan berkelanjutan, sebagaimana tertera pada tabel 8.

**Tabel 8.** Model Strategi Terintegrasi *Technopreneurship*

Pilar Strategis	Peran <i>Technopreneur</i>	Contoh Inisiatif / Produk	Dampak Utama
<b>1. Infrastruktur dan Teknologi Adaptif</b>	Mengembangkan, memproduksi, dan mengkomersialisasikan teknologi yang memperkuat resiliensi infrastruktur terhadap perubahan iklim	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem pemantauan hidrologi <i>real-time</i> berbasis IoT</li> <li>- Platform GIS dan LiDAR untuk peta risiko</li> <li>- Teknologi <i>bioengineering</i> (penahan longsor, material konservasi)</li> <li>- Sistem irigasi hemat air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infrastruktur lebih tangguh dan adaptif</li> <li>- Teknologi menjadi sumber pendapatan lokal</li> <li>- Pengurangan risiko bencana hidrometeorologi</li> </ul>
	<b>2. Tata Kelola dan Data-Driven Governance</b>	Menyediakan layanan berbasis data dan platform digital untuk mendukung perencanaan, pengambilan keputusan, dan koordinasi antarwilayah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platform digital tata kelola air</li> <li>- Aplikasi <i>early warning system</i> berbasis komunitas</li> <li>- Jasa analisis data spasial untuk tata ruang dan konservasi</li> </ul>

Pilar Strategis	Peran <i>Technopreneur</i>	Contoh Inisiatif / Produk	Dampak Utama
<b>3. Pemberdayaan Ekonomi dan Ekosistem Lokal</b>	Menciptakan peluang usaha berbasis teknologi dan konservasi yang dikelola oleh komunitas lokal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inkubator usaha desa untuk teknologi air dan konservasi</li> <li>- Produk turunan restorasi (bibit, pupuk organik, jasa wisata edukasi)</li> <li>- Model bisnis berbasis jasa konservasi untuk sektor swasta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peningkatan pendapatan dan lapangan kerja</li> <li>- Pemberdayaan kelompok rentan (perempuan, pemuda)</li> <li>- Penguatan fungsi ekologis wilayah</li> </ul>

Sumber : Hasil Analisis

## INTERVENSI DAN MODEL BISNIS *TECHNOPRENEURSHIP*

Intervensi *technopreneurship* dalam pembangunan berkelanjutan tidak hanya berorientasi pada penciptaan teknologi, tetapi juga pada bagaimana teknologi tersebut dapat dikonversi menjadi layanan, produk, dan model bisnis yang memberikan nilai nyata bagi masyarakat serta lingkungan. Setiap intervensi membawa rantai logis mulai dari *output* yang terukur, hasil yang mendukung tata kelola dan kapasitas lokal, hingga dampak jangka panjang berupa sistem sosial-ekologis yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim.

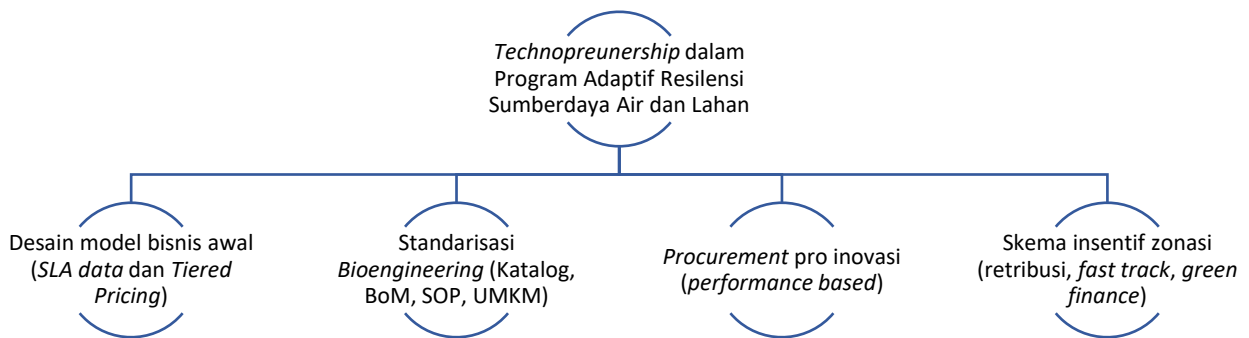
Kerangka berikut pada tabel 9 menggambarkan keterkaitan antara intervensi *technopreneurship*, *output* yang dihasilkan, hasil yang dicapai, hingga dampak luas yang diharapkan, lengkap dengan indikator kinerja untuk memastikan proses dapat dimonitor secara obyektif. Tabel berikut ini memberikan gambaran konkret bagaimana *technopreneur* dapat menjadi motor penggerak transformasi menuju resiliensi iklim dan pertumbuhan ekonomi hijau di tingkat lokal maupun regional.

**Tabel 9.** Intervensi *Technopreneurship* pada Program Adaptif

Intervensi <i>Technopreneurship</i>	Output	Outcome	Dampak Program	Indikator
Layanan data IoT/GIS/LiDAR berlangganan	Sistem pemantauan <i>real-time</i> terpasang	Tata kelola berbasis data dan responsif	Sistem air-lahan lebih adaptif	<i>Uptime</i> , <i>alert lead time</i> , keputusan berbasis data/kuartal
Produksi lokal material <i>bioengineering</i>	Manual dan pelatihan; proyek komunitas	Infrastruktur tahan iklim; kapasitas lokal	Keberlanjutan jangka panjang	Laju erosi, beban sedimen, biaya OdanM per km
<i>Marketplace</i> hijau dan EWS komunitas	Peta risiko terintegrasi; <i>platform</i> digital	Zonasi berbasis risiko; koordinasi lintas wilayah	Penurunan kerentanan bencana	Persentase izin di zona rendah risiko; kepatuhan zonasi
Inkubator desa dan model bisnis konservasi	Inkubasi dan kemitraan	Pemberdayaan dan pekerjaan hijau	Pertumbuhan ekonomi hijau	UMKM aktif, pendapatan usaha, tenaga kerja terserap

Sumber : Hasil Analisis

Sejak tahap awal perancangan, model bisnis *technopreneurship*, sebagaimana dipaparkan pada gambar 5, perlu menempatkan keberlanjutan finansial dan operasional sebagai dasar. Salah satu langkah penting adalah penetapan *Service Level Agreement (SLA)*, misalnya *uptime* minimal 99,5% dan *latency* di bawah satu detik untuk sistem pemantauan bencana (Jain, 2024). SLA ini berfungsi sebagai kontrak kepercayaan dengan pengguna, misalnya pemerintah setempat (tingkat kecamatan atau desa), BUMD pengelola air, maupun Dinas Pertanian Kabupaten. Untuk mendukung keberlanjutan ekosistem, diterapkan skema harga bertingkat (*tiered pricing*). pemerintah setempat, misalnya, berlangganan untuk fungsi pemantauan risiko kawasan, pihak BUMD pengelola air membayar layanan optimasi sumber air baku, sementara Dinas Pertanian memanfaatkan prediksi debit irigasi. Dengan skema ini, data tidak lagi dipandang sebagai *cost center*, melainkan menjadi sumber nilai ekonomi yang mendukung pengambilan keputusan berbasis informasi. Selain itu, konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) melalui *bioengineering* dapat dikembangkan sebagai lini usaha baru bagi UMKM lokal jika diformulasikan sebagai produk standar. Untuk itu, diperlukan katalog desain sesuai kondisi lereng dan jenis tanah, dilengkapi dengan *bill of materials (BoM)*, gambar kerja, serta SOP pemeliharaan. Standarisasi ini memungkinkan *bioengineering* tidak hanya menjadi proyek *ad hoc*, tetapi dapat diproduksi massal, dipasarkan, dan diadopsi lintas wilayah. Dengan demikian, tercipta peluang pasar baru bagi UMKM yang bergerak di bidang material ramah lingkungan maupun jasa konservasi (Al Shafian & Hu, 2024). Dari sisi tata kelola, pengadaan pemerintah sering kali menjadi hambatan adopsi inovasi karena masih berorientasi pada harga terendah. Oleh sebab itu, diperlukan *procurement* berbasis kinerja (*performance-based procurement*), di mana indikator seperti efektivitas konservasi, penurunan risiko banjir atau longsor, serta keberlanjutan sistem menjadi dasar evaluasi. Skema ini memberikan ruang bagi *technopreneur* lokal untuk menawarkan solusi kreatif, baik berupa sensor IoT, aplikasi prediksi, maupun *bioengineering* modular, tanpa terhambat spesifikasi teknis yang kaku. Akhirnya, keberlanjutan model bisnis ini dapat diperkuat melalui skema insentif zonasi yang dirancang pemerintah daerah. Proyek yang mematuhi peta risiko resmi serta menggunakan solusi konservasi bersertifikat lokal dapat memperoleh potongan retribusi, jalur cepat perizinan (*fast-track permit*), atau akses pada pendanaan hijau (*green financing*). Insentif semacam ini akan menciptakan *market pull* yang mendorong pelaku usaha untuk mengadopsi solusi lokal yang selaras dengan konservasi dan resiliensi. Dengan demikian, *technopreneurship* tidak hanya berfungsi sebagai motor penggerak ekonomi, tetapi juga sebagai pondasi resiliensi sumber daya air dan lahan di tengah laju perubahan iklim.



**Gambar 6.** Model Bisnis *Technopreneurship* dalam Program Adaptif Resilensi Sumberdaya Air dan Lahan

Sumber: Hasil Analisis

#### 4. KESIMPULAN

Jawa Timur bagian selatan merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap bencana hidrometeorologi dan degradasi lahan akibat kombinasi faktor geologi, topografi, iklim, dan aktivitas manusia. Infrastruktur sumber daya air yang ada sering mengalami kegagalan ketika menghadapi hujan ekstrem, longsor, atau sedimentasi, sehingga menimbulkan risiko terhadap pasokan air, keamanan lingkungan, dan kesejahteraan masyarakat. Kondisi ini menuntut pendekatan pengelolaan yang sistematis dan adaptif, yang tidak hanya fokus pada perbaikan fisik, tetapi juga pada penguatan kapasitas institusi dan masyarakat serta tata kelola berbasis data.

Untuk menjawab tantangan tersebut, studi ini menerapkan kerangka *Theory of Change* (ToC) sebagai alat perencanaan strategis. Proses dimulai dengan pemetaan kondisi awal, termasuk identifikasi kerentanan, kapasitas adaptif, dan potensi inovasi teknologi. Intervensi yang dilakukan meliputi rehabilitasi dan penguatan infrastruktur, pemasangan sistem pemantauan *real-time* berbasis IoT dan GIS, integrasi pemetaan risiko menggunakan LiDAR dan citra satelit, restorasi ekologi berbasis masyarakat, serta perencanaan ruang kolaboratif yang memperhatikan perlindungan daerah aliran sungai. Pendekatan ini dilengkapi dengan pengembangan *technopreneurship*, yang menghubungkan inovasi teknologi dengan peluang usaha lokal dan ekonomi hijau, sehingga keberlanjutan program dapat terjamin.

Hasil yang diharapkan dari proses ini mencakup peningkatan daya tahan infrastruktur air dan lahan terhadap variabilitas iklim, tata kelola berbasis data yang lebih responsif dan terkoordinasi, serta peningkatan kapasitas teknis dan adaptif masyarakat lokal. Perencanaan tata guna lahan menjadi lebih selaras dengan konservasi ekosistem, sementara inovasi berbasis *technopreneurship* mendorong terciptanya ekosistem

ekonomi hijau yang memberdayakan masyarakat, membuka lapangan kerja, dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Pendekatan yang sistematis melalui ToC dan integrasi *technopreneurship* diharapkan menghasilkan dampak jangka panjang berupa resiliensi iklim yang lebih baik, berkurangnya kegagalan infrastruktur, meningkatnya keandalan distribusi air, serta berkurangnya konflik antar wilayah terkait sumber daya air. Transformasi ini membawa wilayah rawan bencana dari paradigma reaktif menjadi sistem pengelolaan sumber daya air yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan, sekaligus menjadi model yang dapat direplikasi di wilayah lain.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Al Shafian, S., & Hu, D. (2024). Integrating Machine Learning and Remote Sensing in Disaster Management: A Decadal Review of Post-Disaster Building Damage Assessment. In *Buildings* (Vol. 14, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/buildings14082344>
- Bachri, S., Shrestha, R. P., Yulianto, F., Sumarmi, S., Utomo, K. S., & Aldianto, Y. E. (2021). Mapping Landform and Landslide Susceptibility Using Remote Sensing, GIS and Field Observation in the Southern Cross Road, Malang Regency, East Java, Indonesia. In *Geosciences* (Vol. 11, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/geosciences11010004>
- Cao, Y., Xu, C., Aziz, N. M., & Kamaruzzaman, S. N. (2023). BIM–GIS Integrated Utilization in Urban Disaster Management: The Contributions, Challenges, and Future Directions. In *Remote Sensing* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/rs15051331>
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Junun, S., Gomez, C., & Daryono. (2017). Spatio-Temporal Distribution of Landslides in Java and the Triggering Factors. *Forum Geografi*, 31, DOI: 10.23917/forgeo.v31i1.3790. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v31i1.3790>
- Jain, H. (2024). Leveraging geo-computational innovations for sustainable disaster management to enhance flood resilience. *Discover Geoscience*, 2(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s44288-024-00042-0>
- Karnaji, K., Emy, S., Septi, A., & Muhammad, S. (2025). Social impacts and post-disaster management in disaster-prone areas of East Java, Indonesia. *Jamba : Journal of Disaster Risk Studies*, 16(1), 1747. <https://doi.org/10.4102/jamba.v16i1.1747>
- Khanna, M., Gusmerotti, N. M., & Frey, M. (2022). The Relevance of the Circular Economy for Climate Change: An Exploration through the Theory of Change Approach. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/su14073991>
- Lestari, W., Widodo, A., Warnana, D. D., & Syaifuddin, F. (2019). Earthquake Risk Reduction Study with Mapping an Active Fault at the Southern of East Java. *Journal of Physics: Conference Series*, 1373(1), 12031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1373/1/012031>
- Maduwanthi, D., & Roca, T. (2022). *The Emergence of Technopreneurship for Sustainable and Ethical Economic Growth: Theory, Research and Practice* (pp. 467–535). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97877-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97877-8_13)
- Mayne, J. (2017). *Theory of Change Analysis: Building Robust Theories of Change*.

*Canadian Journal of Program Evaluation*, 32(2), 155–173.

<https://doi.org/10.3138/cjpe.31122>

Monasterolo, I., Mandel, A., Battiston, S., Mazzocchetti, A., Oppermann, K., Coony, J., Stretton, S., Stewart, F., & Dunz, N. (2024). The role of green financial sector initiatives in the low-carbon transition: A theory of change. *Global Environmental Change*, 89, 102915.

Prayoga, T., Arifianto, F., & Arno, G. (2023). PROYEKSI TREN SUHU UDARA DI JAWA TIMUR BERDASARKAN SKENARIO RCP 4.5. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 20, 103–117. <https://doi.org/10.59100/jakk.2023.20.2.103-117>

Rohmah, L., Mushfiroh, A., & Gamal, A. (2024). Trend of LiDAR utilization in disaster resilience: A literature review. *AIP Conference Proceedings*, 3215(1), 30002. <https://doi.org/10.1063/5.0235586>

Simarmata, D. P., Khurun'in, I., & Yudilastiantoro, C. (2024). Community-led Initiatives for Water Resource Management in Sumenep Regency, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 14(4 SE-Articles), 675. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.4.675>

Smyth, H., Hall, R., & Nichols, G. (2008). Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. In *Special Paper of the Geological Society of America* (Vol. 436, pp. 199–222). [https://doi.org/10.1130/2008.2436\(10\)](https://doi.org/10.1130/2008.2436(10))

Supari, S., Sudibyakto, Ettema, J., & Aldrian, E. (2012). SPATIOTEMPORAL CHARACTERISTICS OF EXTREME RAINFALL EVENTS OVER JAVA ISLAND, INDONESIA. *The Indonesian Journal of Geography*, 44, 62–86. <https://doi.org/10.22146/indo.j.geog,2391>

USAID. (2018). Laporan Kajian Kerentanan dan Resiko Iklim Provinsi Jawa Timur. In *Usaid* (Issue Mei). [https://weadapt.org/wp-content/uploads/2023/05/laporan\\_kajian\\_kerentanan\\_provinsi\\_jawa\\_timur\\_final.pdf](https://weadapt.org/wp-content/uploads/2023/05/laporan_kajian_kerentanan_provinsi_jawa_timur_final.pdf)