

**MENUJU KETAHANAN KAWASAN
PESISIR-PELABUHAN MELALUI INTEGRASI
HIDRODINAMIKA, KECERDASAN
BUATAN DAN INOVASI ADAPTIF**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**MENUJU KETAHANAN KAWASAN
PESISIR-PELABUHAN MELALUI INTEGRASI
HIDRODINAMIKA, KECERDASAN
BUATAN DAN INOVASI ADAPTIF**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK & REKAYASA
BIDANG TEKNOLOGI KELAUTAN &
PESISIR TERAPAN
KEPAKARAN TEKNOLOGI ADAPTIF
KAWASAN PESISIR DAN PELABUHAN**

**OLEH:
APRIJANTO**

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2026 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Metalurgi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Menuju Ketahanan Kawasan Pesisir-Pelabuhan melalui Integrasi Hidrodinamika, Kecerdasan Buatan dan Inovasi Adaptif / Aprijanto-Jakarta: Penerbit BRIN, 2026.

xv + 104 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Ketahanan Pesisir | 4. Hidrodinamika Terapan |
| 2. Ketahanan Pelabuhan | 5. Kecerdasan Buatan |
| 3. Teknologi Adaptif | |

627.58

Copy editor : Meita Safitri
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : Meita Safitri

Edisi pertama : Maret 2026




Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: +62 811-1064-6770

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 @Penerbit_BRIN

 @penerbit.brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	xi
PRAKATA PENGUKUHAN	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
II. TRANSFORMASI ILMU DAN TEKNOLOGI PESISIR DAN PELABUHAN.....	7
2.1 Evolusi Paradigma: Dari Infrastruktur Keras ke Solusi Adaptif ...	7
2.2 Pilar Teknologi Adaptif: TKT, STS, dan UTAUT	12
2.3 Peran Data Spasial, Hidrodinamika, dan <i>Big Data</i>	15
2.4 <i>Benchmark Global</i> dan Praktik Baik	16
2.5 Tantangan Integrasi Ilmu–Teknologi–Kebijakan.....	17
III. INOVASI ILMIAH UNTUK KETAHANAN PESISIR DAN PELABUHAN.....	21
3.1 Integrasi Data Spasial & Model Hidrodinamika untuk Proteksi Pesisir	21
3.2 Peran Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelligence/AI</i>) dalam Prediksi & Optimalisasi.....	23
3.3 Sistem Peringatan Dini & Sensor Adaptif.....	24
3.4 Infrastruktur <i>Hybrid</i> dan <i>Nature-based Solutions</i>	25
3.5 Inovasi Energi Laut dan Kemandirian Pesisir	27
3.6 Kolaborasi Komunitas dan Teknologi Partisipatif	29
IV. IMPLEMENTASI TEKNOLOGI, INTEGRASI KEBIJAKAN, DAN STRATEGI KETAHANAN PESISIR.....	31
4.1 Penerapan Teknologi Adaptif di Pesisir Indonesia.....	31
4.2 Kebijakan Adaptif sebagai Payung Implementasi	33
4.3 Integrasi TKT–STS–UTAUT: Menjembatani Riset dan Implementasi Adaptasi Pesisir.....	35

4.4 Kolaborasi Multi-Pihak dan Pemberdayaan Komunitas.....	41
4.5 Evaluasi dan Replikasi Adaptasi Pesisir	43
4.6 Konsep <i>Green Port</i> dan <i>Smart Port</i> sebagai Bagian dari Strategi Ketahanan Pesisir dan Pelabuhan Masa Depan.....	45
4.7 Rekam Jejak dan Indikator Kinerja Utama Kontribusi Ilmiah ...	51
4.8 Menuju Standar Nasional (SNI) & Potensi Kontribusi ke International Organization for Standardization (ISO)	52
V. KONTRIBUSI ILMU ADAPTIF BAGI KETAHANAN PESISIR DAN PELABUHAN INDONESIA	57
VI. KESIMPULAN	61
VII. PENUTUP.....	65
LAMPIRAN.....	68
UCAPAN TERIMA KASIH	75
DAFTAR PUSTAKA.....	79
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Indeks Risiko Bencana Gelombang Ekstrem dan Abrasi Tahun 2024.....	1
Gambar 1.2	Tren Suhu Global dan Proyeksi Kenaikan Muka Laut.....	2
Gambar 1.3	Alur Integrasi Kebijakan–Sains– Implementasi di Daerah.....	5
Gambar 1.4	Kerangka Hubungan Ilmu, Teknologi, dan Masyarakat dalam Adaptasi Pesisir.....	5
Gambar 2.1	Evolusi Teknologi Proteksi Pantai.....	9
Gambar 2.2	Kerangka Inovasi Adaptif di Wilayah Pesisir.....	14
Gambar 2.3	Sistem Observasi Spasial Terpadu dalam Pengelolaan Pesisir	16
Gambar 2.4	“Jurang” atau <i>Valley of Death</i> antara Riset dan Implementasi	19
Gambar 3.1	Integrasi Peta Subsiden & Simulasi Pasang Surut-Studi Kasus Pesisir Semarang-Demak	22
Gambar 3.2	Skema Integrasi AI dalam Sistem Pesisir.....	24
Gambar 3.3	Skema Sistem Peringatan Dini Pesisir Adaptif	25
Gambar 3.4	Skema Infrastruktur Hybrid Pesisir: Kondisi struktur Hybrid yang terpasang di Serang, Brebes, Demak dan Pati.....	27
Gambar 4.1	Kerangka Evaluasi Terpadu TKT–STS–UTAUT untuk Menjembatani Riset dan Implementasi.....	36
Gambar 4.2	Road Map Strategi Ketahanan Pesisir Indonesia.....	48
Gambar 4.3	Kerangka Adaptasi Green–Smart Port	50

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Pendekatan Pengelolaan Pesisir.....	10
Tabel 2.2	Matriks Kesesuaian Fase Teknologi Proteksi Pantai dengan Tipologi Wilayah Pesisir Indonesia.....	11
Tabel 2.3	Kerangka Evaluasi Inovasi: TKT, STS, dan UTAUT.....	13
Tabel 2.4	Perbandingan Karakteristik Teknologi Adaptif.....	14
Tabel 2.5	Pemanfaatan Teknologi Spasial di Kota Pesisir Jawa Tengah.....	15
Tabel 2.6	Benchmark Integrasi Ilmu Spasial dalam Pengelolaan Pesisir dan Pelabuhan.....	17
Tabel 2.7	Kasus Gagal Adopsi Inovasi Pesisir di Indonesia.....	19
Tabel 3.1	Penerapan AI dalam Adaptasi Pesisir.....	23
Tabel 3.2	Contoh Penerapan Sistem Peringatan Dini & Sensor Adaptif di Pesisir.....	24
Tabel 3.3	Contoh Infrastruktur Hybrid dan <i>Nature-based Solutions</i> ...26	
Tabel 3.4	Contoh Inovasi Energi Laut dan Dampaknya.....	29
Tabel 3.5	Bentuk Kolaborasi Komunitas dalam Teknologi Pesisir.....	30
Tabel 4.1	Integrasi Kebijakan dan Teknologi Adaptif di Wilayah Pesisir Jawa Tengah.....	34
Tabel 4.2	Contoh Penerapan Matriks Evaluasi Terpadu TKT–STS–UTAUT dalam Adaptasi Pesisir Indonesia.....	37
Tabel 4.3	Contoh Evaluasi Implementasi Teknologi Adaptif di Beberapa Lokasi Pesisir Indonesia.....	43
Tabel 4.4	Tingkat Kesiapan Teknologi Adaptasi Pesisir Indonesia.....	48
Tabel 4.5	Rekam Jejak dan IKU Kontribusi Ilmiah Penulis.....	51
Tabel 5.1	Metrik Dampak Kontribusi Ilmu Adaptif bagi Ketahanan Pesisir dan Pelabuhan Indonesia.....	58

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Aprijanto, lahir di Jakarta, pada tanggal 30 April 1971 adalah anak ke empat dari Alm. Bapak R. Margono dan Almh. Ibu R.A. Jariani. Menikah dengan Ilham Novitasari, S.Sos., MM dan dikaruniai tiga orang anak, yaitu Rayza Widyadhana Apritaputra, S.T., Shafira Noreenaida Apritaputri dan Faustine Aptapatista Apritaputri.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 21/M Tahun 2023 tanggal 15 Mei 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Perekayasa Ahli Utama terhitung mulai 15 Mei 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 81/I/HK/2026 tanggal 10 Februari 2026 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Panggung 01 Semarang, tahun 1984, Sekolah Menengah Pertama Negeri 02 Semarang, tahun 1987, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 03 Semarang, tahun 1990. Memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Teknik Geodesi UGM tahun 1995, gelar Magister Sains bidang Penginderaan Jauh. dari Pascasarjana UGM tahun 2001, dan gelar Doktor bidang Ilmu Geografi dari Universitas Gadjah Mada tahun 2015.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Lokakarya Kompetensi Insinyur Profesional/LKIP (2020), Pelatihan Kompetensi Teknis, Manajerial dan Sosial Kultural dalam Bidang Kebencanaan bagi Pejabat struktural (2020), Bimbingan Teknis Sistem Pengendalian Internal Pemerintah (SPIP) Eselon 1 dan Tim Satuan Tugas SPIP di Lingkungan BPPT (2020), *Knowledge Management System National Capital Integrated Coastal Development Program (Indonesia)- The Korea International Cooperation Agency/KOICA* (2019), Sistem Manajemen Mutu SNI ISO/IEC 17025:2008 (2013), *Workshop on Project Planning, Methodology Development and Remote Sensing Applications* by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) for the Mini-Project Geoinformatic- Asian Institute of Technology, Bangkok-Thailand (2012), Pengolahan data *unmanned Aerial Vihacle (UAV)* dan *car based mobile mapping*-Teknik Geodesi UGM (2012), Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Fungsional Perekayasa (2011), Pembekalan Lanjutan (Matrikulasi) Perencana Bersertifikat IAP-D.I.Yogyakarta (2006), Pembekalan Dasar Sertifikasi Perencana-IAP D.I.Yogyakarta (2005), *Software OCEANINFO- Oceaninfo Project-Tisda BPPT* (1996).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bagian Program dan Anggaran-PTRIM BPPT (tahun 2019–2021).

Jabatan fungsional perekayasa diawali sebagai Perekayasa Ahli Madya golongan IVa tahun 2009, Perekayasa Ahli Madya golongan IVb tahun 2016, Perekayasa Ahli Madya golongan IVc tahun 2020 dan memperoleh jabatan Perekayasa Ahli Utama golongan IVd bidang Manajemen Kawasan Pesisir dan Pelabuhan tahun 2023.

Menghasilkan 28 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 14 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan Kekayaan Intelektual sebanyak 5 Paten, 3 Desain Industri dan 1 Hak Cipta.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing dan penguji mahasiswa Pascadoktoral, S-2, dan S-1 di Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Universitas Diponegoro (Undip).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Perhimpunan Periset Indonesia (2021–sekarang), Persatuan Insinyur Indonesia (2020–sekarang), Himpunan Perekayasa Indonesia (2018–2021), Ikatan Ahli Perencana D.I. Yogyakarta (2004–2009).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2008) dari Presiden RI dan Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2016) dari Presiden RI.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Instansi yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah sebagai refleksi perjalanan kepakaran saya dalam riset, inovasi, dan integrasi teknologi adaptif untuk memperkuat ketahanan kawasan pesisir dan pelabuhan Indonesia, dengan judul:

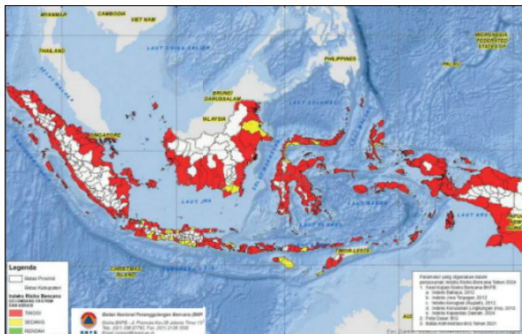
“MENUJU KETAHANAN KAWASAN
PESISIR-PELABUHAN MELALUI INTEGRASI
HIDRODINAMIKA, KECERDASAN
BUATAN DAN INOVASI ADAPTIF ”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

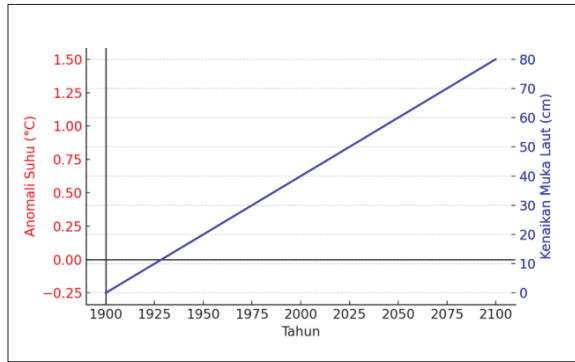
Perubahan iklim kini bukan lagi ancaman di masa depan, melainkan kenyataan yang telah dirasakan masyarakat. Di Indonesia, dampaknya terlihat nyata pada banjir rob yang melanda pesisir utara Jawa. Jalan yang terendam, tambak ikan gagal panen, hingga rumah dan sekolah yang rusak menjadi bukti bagaimana kenaikan muka laut memengaruhi kehidupan sehari-hari warga pesisir (Marfai & King, 2008).

Gambar 1.1 menunjukkan peta indeks risiko gelombang ekstrem dan abrasi tahun 2024 (BNPB, 2024). Hampir seluruh provinsi yang memiliki garis pantai berada pada kategori risiko menengah hingga tinggi, menandakan bahwa ancaman pesisir bersifat nasional, dari barat hingga timur nusantara. Temuan ini sejalan dengan proyeksi IPCC (2021) yang memperlihatkan tren kenaikan suhu global sejak abad ke-20 serta proyeksi kenaikan muka laut hingga akhir abad ke-21 (Gambar 1.2). Jika tren ini berlanjut, maka risiko banjir rob, abrasi, dan intrusi air laut akan meningkat secara signifikan.



Sumber: BNPB (2024)

Gambar 1.1 Peta Indeks Risiko Bencana Gelombang Ekstrem dan Abrasi Tahun 2024



Gambar 1.2 Tren Suhu Global dan Proyeksi Kenaikan Muka Laut

Kerentanan Indonesia semakin diperparah oleh karakteristik geografisnya sebagai negara kepulauan dengan garis pantai lebih dari 81.000 kilometer dan lebih dari 40 juta penduduk yang menggantungkan hidupnya pada wilayah pesisir. Dampak banjir rob tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga struktural, karena mengganggu sistem ekonomi lokal, ketahanan pangan, serta konektivitas logistik nasional. Nelayan kehilangan hari melaut, petambak mengalami gagal panen, dan aktivitas distribusi barang di kawasan pesisir dan pelabuhan menjadi terganggu.

Situasi menjadi semakin kompleks di wilayah Pantura Jawa, di mana terjadi penurunan muka tanah dengan rata-rata 5–10 cm per tahun (Aprijanto et al., 2025; Nashrullah et al., 2013; Prabawardani et al., 2024; Santoso et al., 2024; Sidiq et al., 2021). Kombinasi turunnya permukaan tanah (amblesan), kenaikan muka air laut, dan perubahan penggunaan lahan mengakibatkan banjir rob semakin parah bahkan pada kondisi pasang normal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan konvensional berbasis infrastruktur keras, seperti tanggul beton semata, tidak

lagi memadai untuk merespons dinamika pesisir yang terus berubah.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan adaptif yang memanfaatkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya teknologi berbasis data spasial, penginderaan jauh, pemodelan hidrodinamika, serta kecerdasan buatan. Pendekatan ini memungkinkan prediksi, pemantauan, dan respons ancaman pesisir secara *real-time* dan berbasis bukti. Teknologi adaptasi pesisir diharapkan tidak hanya memperkuat ketahanan kawasan terhadap perubahan iklim, tetapi juga menjamin keberlanjutan mata pencaharian masyarakat pesisir dan fungsi strategis pelabuhan sebagai simpul logistik nasional.

Namun, meskipun berbagai inovasi adaptasi pesisir telah berkembang pesat, implementasinya di lapangan masih menghadapi hambatan struktural yang signifikan. Keberhasilan adaptasi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh kesiapan ekosistem pendukungnya. Secara teknis, tantangan muncul pada keterbatasan integrasi data lintas sektor, reliabilitas sensor di lingkungan laut yang ekstrem, serta kesinambungan sistem operasi dan pemeliharaan (*operation and maintenance*). Secara nonteknis, fragmentasi kewenangan antar lembaga dan tingkat pemerintahan, rendahnya literasi data di kalangan pengambil keputusan daerah, serta belum adanya skema pembiayaan jangka panjang melemahkan adopsi teknologi. Kondisi ini menegaskan bahwa kendala adaptasi pesisir merupakan persoalan tata kelola dan kapasitas institusional, bukan semata persoalan rekayasa teknologi.

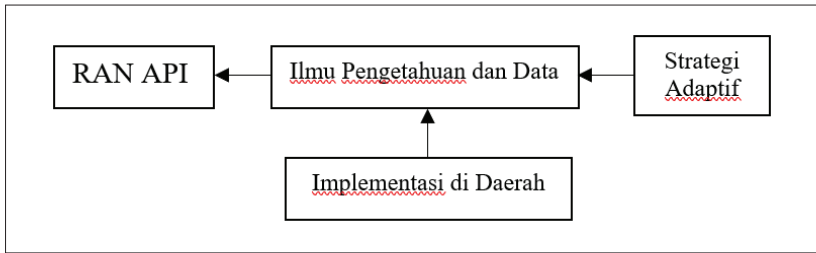
Bukti empiris menunjukkan bahwa ketika teknologi adaptasi pesisir diterapkan dalam ekosistem kelembagaan yang mendukung, dampaknya dapat diukur secara nyata. Di kawasan Pantai Utara Jawa, penerapan *dashboard* geospasial prediktif

yang mengintegrasikan data hidrometeorologi, pasang surut, dan pemodelan hidrodinamika terbukti meningkatkan waktu respons masyarakat dan otoritas lokal lebih dari 40 % terhadap ancaman banjir rob melalui pemberitahuan dini yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, analisis citra dan data observasi menunjukkan bahwa setelah kombinasi intervensi struktural dan sistem adaptasi digunakan, luas genangan banjir rob tahunan di wilayah permukiman yang rentan mengalami penurunan sekitar 10–20 %, mengurangi eksposur risiko terhadap rumah tangga dan fasilitas kritis.

Peningkatan kesiapsiagaan yang difasilitasi oleh sistem ini juga berkontribusi pada penurunan potensi kerugian ekonomi di sektor perikanan dan permukiman pesisir yang sebelumnya terdampak banjir rob berulang. Di sisi struktur fisik, penerapan kombinasi tindakan adaptasi seperti sabuk *mangrove*, tanggul ringan, dan pendekatan ekologi-teknis lainnya tercatat membantu memperlambat laju abrasi serta meningkatkan stabilitas garis pantai, yang pada gilirannya mendukung pemulihan produktivitas tambak dan meningkatnya partisipasi masyarakat pesisir dalam konservasi lingkungan. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa inovasi adaptasi pesisir bukan sekadar konsep eksperimental, melainkan intervensi nyata yang berdampak langsung pada keselamatan, ekonomi, dan keberlanjutan wilayah pesisir.

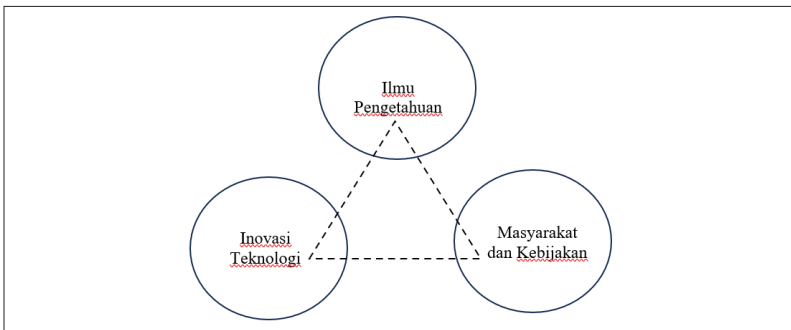
Dalam konteks inilah, peran kebijakan nasional menjadi sangat menentukan dalam menjembatani keberhasilan teknologi adaptasi pesisir dari tahap inovasi menuju implementasi berskala luas. Pemerintah Indonesia telah menetapkan berbagai kerangka kebijakan, seperti Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) dan komitmen terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs), sebagai landasan pembangunan berketahanan iklim. Namun, efektivitas kebijakan tersebut

sangat bergantung pada sejauh mana kebijakan dirancang berbasis bukti ilmiah dan didukung oleh teknologi yang dapat diterapkan secara operasional di lapangan (Gambar 1.3).



Gambar 1.3 Alur Integrasi Kebijakan–Sains–Implementasi di Daerah

Dalam kerangka manajemen bencana dan manajemen lingkungan nasional, adaptasi pesisir perlu diposisikan sebagai agenda lintas sektor yang berdampak langsung pada ketahanan pangan, konektivitas logistik, dan kesejahteraan masyarakat pesisir. Teknologi adaptasi pesisir berfungsi sebagai jembatan antara riset dan kebutuhan masyarakat. Inovasi seperti sistem peringatan dini rob, *dashboard* geospasial prediktif, *Dynamic Tidal Flood Barrier*, serta restorasi *mangrove* berbasis masyarakat bukan hanya solusi teknis, tetapi juga instrumen pemberdayaan sosial (Gambar 1.4).



Gambar 1.4 Kerangka Hubungan Ilmu, Teknologi, dan Masyarakat dalam Adaptasi Pesisir

Dengan kompleksitas tantangan biofisik, sosial, dan kelembagaan tersebut, adaptasi pesisir menuntut pendekatan yang melampaui solusi parsial dan sektoral. Pengelolaan pesisir harus ditempatkan dalam kerangka manajemen bencana dan manajemen lingkungan yang berbasis ilmu pengetahuan, teknologi, dan tata kelola adaptif. Dalam konteks ini, teknologi tidak lagi dipahami sekadar sebagai alat, melainkan sebagai sistem yang terintegrasi dengan dinamika sosial, kelembagaan, dan kebijakan.

Kebaruan orasi ini terletak pada integrasi tiga kerangka analisis utama: Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) untuk menilai kesiapan teknis, Sistem Sosio-Teknis (STS) untuk memahami keterkaitan teknologi dengan sistem sosial dan kelembagaan, serta Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT) untuk mengukur penerimaan masyarakat dan institusi. Integrasi ketiganya memungkinkan tantangan biofisik dan sosial dipetakan secara komprehensif sekaligus mengevaluasi kesiapan adopsi teknologi dalam jangka pendek, menengah, dan panjang.

Dengan demikian, adaptasi pesisir bukan hanya persoalan infrastruktur, melainkan penguatan ketahanan sosial dan ekologis. Melalui inovasi terintegrasi baik teknologi keras, lunak, maupun sosial Indonesia memiliki peluang besar untuk membangun kawasan pesisir dan pelabuhan yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan dalam menghadapi krisis iklim yang semakin nyata. Oleh karena itu, memahami evolusi ilmu pengetahuan dan teknologi pengelolaan pesisir dari pendekatan konvensional hingga inovasi adaptif berbasis data dan kecerdasan buatan menjadi langkah penting dalam merumuskan strategi pembangunan pesisir dan pelabuhan Indonesia ke depan.

II. TRANSFORMASI ILMU DAN TEKNOLOGI PESISIR DAN PELABUHAN

Perubahan iklim, urbanisasi pesisir, dan degradasi ekosistem telah memperbesar risiko kawasan pantai Indonesia secara signifikan. Kombinasi kenaikan muka laut, banjir rob, abrasi, dan penurunan muka tanah menjadikan pesisir bukan hanya ruang fisik, tetapi ruang hidup dan pusat ekonomi yang semakin rentan. Berbagai studi menunjukkan bahwa pendekatan proteksi konvensional berbasis infrastruktur keras, seperti *seawall* dan *breakwater*, hanya memberikan perlindungan sementara dan kerap menimbulkan dampak ekologis lanjutan (Temmerman et al., 2013). Karena itu, transformasi paradigma menuju pendekatan adaptif yang berkelanjutan, berbasis ekosistem, data, dan keterlibatan masyarakat menjadi kebutuhan yang mendesak

2.1 Evolusi Paradigma: Dari Infrastruktur Keras ke Solusi Adaptif

Perubahan paradigma pengelolaan pesisir terjadi dalam empat fase besar:

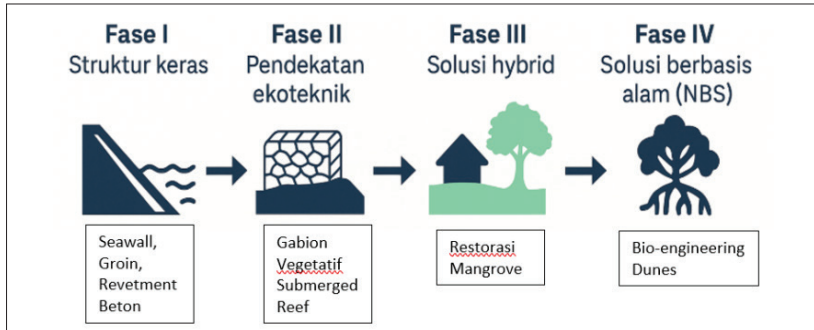
- a) Infrastruktur keras (1970–1980-an): menitikberatkan pada pembangunan fisik seperti *seawall*, *groin*, dan *breakwater*. Pendekatan ini efektif dalam jangka pendek, namun terbukti mempercepat degradasi ekosistem pesisir dan tidak adaptif terhadap dinamika iklim (Temmerman et al., 2013).
- b) Solusi berbasis alam (1980–1990-an): mulai menempatkan ekosistem seperti *mangrove*, terumbu karang, dan padang

lamun sebagai elemen perlindungan alami. Pendekatan ini lebih berkelanjutan, namun membutuhkan waktu panjang untuk pemulihan dan stabilisasi ekosistem (Oukes et al., 2022).

- c) *Ecosystem-Based Management* (1990–2000-an): memperluas pendekatan ekosistem dengan memasukkan aspek tata kelola adaptif dan partisipasi lintas sektor (Ruckelshaus et al., 2008).
- d) Pendekatan transdisipliner (2000-an–kini): mengintegrasikan teknik pantai, ilmu spasial, data hidrodinamika, kebijakan publik, dan kearifan lokal. Paradigma ini melahirkan konsep *coastal resilience* yang menempatkan masyarakat sebagai aktor utama adaptasi, bukan sekadar penerima perlindungan.

Keempat fase tersebut tidak selalu hadir secara linier dan seragam di Indonesia. Relevansi setiap fase ditentukan oleh tipologi wilayah, tingkat risiko, dan kapasitas sosial-ekologis setempat. Kawasan pelabuhan strategis dan kota pesisir padat umumnya membutuhkan perlindungan cepat karena risiko rob dan penurunan muka tanah yang tinggi; sebaliknya, wilayah delta tambak dan pesisir perdesaan lebih membutuhkan pemulihan ekosistem dan stabilisasi sedimen; sementara kawasan konservasi dan pariwisata menuntut pendekatan berbasis ekosistem serta tata kelola multipihak. Pemetaan kesesuaian fase terhadap karakter masalah Indonesia karena itu menjadi prasyarat agar strategi adaptasi tidak bersifat seragam dan tidak menimbulkan masalah turunan.

Gambar 2.1 menegaskan pergeseran pengelolaan pesisir dari dominasi infrastruktur beton menuju solusi berbasis alam dan pendekatan sosial-ekologis yang lebih adaptif.



Gambar 2.1 Evolusi Teknologi Proteksi Pantai

Perubahan paradigma pengelolaan pesisir mencerminkan pergeseran cara pandang dari pendekatan proteksi struktural menuju sistem adaptasi sosial-ekologis yang lebih berkelanjutan. Seiring meningkatnya kompleksitas risiko pesisir akibat perubahan iklim dan urbanisasi, pendekatan berbasis infrastruktur keras tidak lagi memadai sebagai satu-satunya solusi. Karena itu, berkembang berbagai model pengelolaan yang mengintegrasikan ekosistem, tata kelola adaptif, serta partisipasi masyarakat.

Untuk memperjelas karakteristik masing-masing pendekatan, Tabel 2.1 merangkum perbedaan paradigma pengelolaan pesisir berdasarkan kecepatan perlindungan, keberlanjutan ekologis, kompleksitas tata kelola, serta kapasitas integrasi ilmu–kebijakan–masyarakat.

Tabel 2.1 Perbandingan Pendekatan Pengelolaan Pesisir

Pendekatan	Keuntungan	Kelemahan
Teknik Sipil Konvensional	Perlindungan instan	Tidak berkelanjutan, merusak ekosistem
Solusi Berbasis Alam	Ramah lingkungan, berkelanjutan	Butuh waktu pemulihan ekosistem
<i>Ecosystem-Based Management</i>	Holistik, partisipatif	Koordinasi lintas sektor kompleks
Transdisipliner	Integrasi ilmu–kebijakan–masyarakat	Membutuhkan sumber daya besar

Sumber: Oukes et al. (2022); Ruckelshaus et al. (2008); Temmerman et al. (2013)

Namun demikian, pemilihan pendekatan tidak dapat dilepaskan dari konteks lokal. Infrastruktur keras mungkin masih relevan untuk kawasan pelabuhan strategis yang membutuhkan perlindungan cepat, sementara solusi berbasis alam lebih sesuai bagi wilayah delta dan pesisir perdesaan yang membutuhkan pemulihan sedimen dan ekosistem. Pendekatan transdisipliner menjadi kerangka jangka panjang untuk membangun ketahanan pesisir yang berkelanjutan.

Untuk memperjelas relevansi tiap fase dalam konteks Indonesia, Tabel 2.2 menyajikan matriks kesesuaian antara fase teknologi proteksi pantai dan tipologi wilayah pesisir Indonesia.

Tabel 2.2 Matriks Kesesuaian Fase Teknologi Proteksi Pantai dengan Tipologi Wilayah Pesisir Indonesia

Fase Teknologi	Karakter Wilayah	Contoh Lokasi	Masalah Dominan	Teknologi Relevan
Fase 1 Infrastruktur Keras	Kota pesisir padat, kawasan industri, pelabuhan strategis	Jakarta; Semarang; Surabaya	Rob, abrasi, penurunan permukaan tanah tinggi	<i>Seawall</i> adaptif; <i>polder</i> cerdas
Fase 2 Solusi Berbasis Alam	Pesisir perdesaan, delta tambak, muara sungai	Demak; Indramayu; pesisir Sulsel	Abrasi, sedimentasi, degradasi <i>mangrove</i>	<i>Mangrove belt</i> ; <i>hybrid mangrove wall</i>
Fase 3 <i>Ecosystem-Based Management</i>	Kawasan konservasi dan pariwisata pesisir	Bali; Lombok; Raja Ampat	Tekanan wisata, degradasi habitat	Zonasi adaptif; restorasi ekosistem
Fase 4 Trans-disipliner	Wilayah multi-risiko dan multi-aktor	Pekalongan; Semarang; Makassar	<i>Multi-hazard</i> (rob-subsiden-badai)	<i>Dashboard</i> AI; DSS tata ruang; DTFB

Matriks pada Tabel 2.2 menunjukkan bahwa setiap fase pengelolaan pesisir memiliki peran strategis yang berbeda bergantung pada karakter risiko dan kapasitas wilayah. Oleh karena itu, evolusi paradigma pengelolaan pesisir tidak dapat dipahami semata sebagai perkembangan teknologi, melainkan sebagai proses adaptasi sosial-ekologis yang menuntut diferensiasi strategi berbasis konteks lokal. Dalam kerangka tersebut, tantangan pesisir Indonesia tidak dapat diselesaikan melalui pertahanan fisik semata, melainkan memerlukan inovasi yang matang secara teknis, selaras dengan sistem sosial dan

kelembagaan, serta dapat diterima oleh pengguna dan institusi. Atas dasar itu, kerangka TKT–STS–UTAUT diposisikan dalam orasi ini sebagai instrumen evaluasi implementatif untuk menilai kesiapan adopsi teknologi adaptasi pesisir di lapangan, bukan sekadar sebagai klasifikasi konseptual.

2.2 Pilar Teknologi Adaptif: TKT, STS, dan UTAUT

Tantangan pesisir tidak cukup dijawab dengan perlindungan fisik, tetapi memerlukan inovasi aplikatif, sesuai kebutuhan warga. Tantangan pesisir Indonesia tidak dapat diselesaikan melalui pertahanan fisik semata. Diperlukan inovasi yang matang secara teknis, sesuai konteks sosial, dan dapat diterima oleh pengguna. Oleh karena itu, evaluasi teknologi adaptasi pesisir dalam orasi ini menggunakan tiga kerangka utama: Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT), Sistem Sosio-Teknis (STS), dan Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT).

TKT digunakan untuk menilai tingkat kematangan teknologi dari konsep hingga operasional penuh (Mankins, 2009). STS menilai kecocokan teknologi dengan struktur sosial, kelembagaan, dan regulasi (Whitworth, 2011). Sementara itu, UTAUT menilai penerimaan pengguna berdasarkan persepsi manfaat, kemudahan penggunaan, dan dukungan institusional (Momani, 2020).

Kerangka ini menegaskan bahwa teknologi adaptasi pesisir tidak cukup hanya “siap secara teknis”. Banyak inovasi berhenti pada tahap prototipe karena tidak sesuai dengan sistem sosial atau tidak diterima pengguna. Contoh teknologi *hybrid mangrove wall* menunjukkan bahwa efektivitas adaptasi lebih ditentukan oleh integrasi teknis–sosial dibandingkan kecanggihan teknologi semata.

Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, serta Gambar 2.2, mengilustrasikan bagaimana kombinasi TKT–STS–UTAUT menentukan apakah suatu inovasi mampu berkembang menjadi solusi adaptif yang berkelanjutan bagi masyarakat pesisir.

Tabel 2.3 Kerangka Evaluasi Inovasi: TKT, STS, dan UTAUT

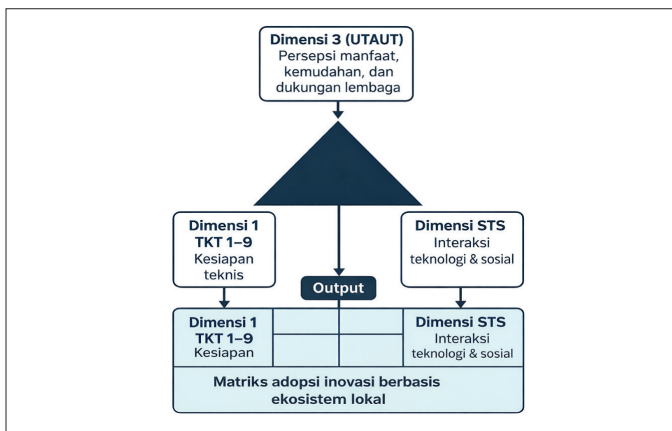
Kerangka	Tingkatan/ Level Singkat	Fokus	Contoh
Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT)	1–3: ide & konsep awal 4–6: diuji di laboratorium & lapangan terbatas 7–9: siap dipakai luas & operasional penuh	Mengukur seberapa matang teknologi secara teknis	<i>Dynamic Tidal Flood Barrier</i> (DTFB) di Semarang sudah TKT 6–7 (masih butuh dukungan kebijakan)
Sistem Sosio-Teknis (STS)	Rendah: tidak cocok dengan aturan/ masyarakat Sedang: ada adopsi terbatas Tinggi: melekat dalam sistem sosial & kelembagaan	Kecocokan teknologi dengan masyarakat, budaya, & institusi	<i>Safety Beach Monitoring System</i> (SBMS) berhasil karena melibatkan warga Parangtritis
Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT)	Rendah: sulit digunakan, manfaat tidak terasa Sedang: ada sebagian yang menerima Tinggi: mudah dipakai, manfaat jelas, ada dukungan institusi	Penerimaan pengguna & dukungan institusional	Aplikasi peringatan dini rob lebih dipakai jika praktis & didukung pemerintah

Sumber: Mankins (2009); Momani (2020); Whitworth (2011)

Tabel 2.4 Perbandingan Karakteristik Teknologi Adaptif

Teknologi	Komponen Teknologi	Respon Sosial	Dukungan Regulasi	Skala Replikasi
DTFB (Semarang)	AI, sensor pasang, mekanik	Sedang	Rendah	Terbatas
SBMS (Parangtritis)	Kamera, sensor suhu, AI visual	Tinggi	Sedang	Tinggi
<i>Hybrid mangrove wall</i>	Vegetasi alami, tanggul ringan	Tinggi	Tinggi	Sedang
<i>Smart Polder Artificial Intelligence (AI)</i>	Hidrolik otomatis, sistem kendali	Rendah	Rendah	Terbatas

Sumber: Aprijanto et al. (2025); Findayani et al. (2024); Murtiaji et al. (2023); Santoso et al. (2021)



Gambar 2.2 Kerangka Inovasi Adaptif di Wilayah Pesisir

Dengan demikian, kombinasi TKT-STS-UTAUT membantu memastikan inovasi tidak berhenti sebagai prototipe, melainkan

berkembang menjadi solusi adaptif yang dapat dioperasionalkan dan direplikasi secara berkelanjutan.

2.3 Peran Data Spasial, Hidrodinamika, dan *Big Data*

Data spasial dan model hidrodinamika merupakan dasar kebijakan adaptif di wilayah pesisir. Satelit memantau abrasi dan penurunan permukaan tanah (Sun et al., 2024), sementara instrumen laut seperti *tide gauge* dan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) menyediakan data pasang surut dan arus secara *real-time* (Bertule, 2017). Integrasi data tersebut memperkuat perencanaan zonasi risiko rob dan desain infrastruktur adaptif (Aprijanto et al., 2025; Sutopo & Aprijanto, 2024).

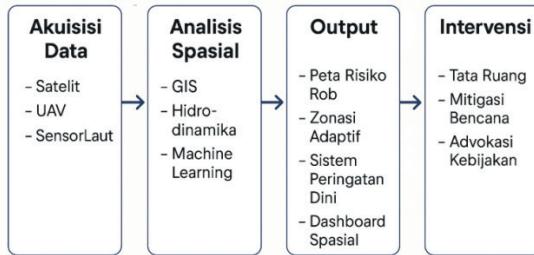
Perkembangan *big data* dan kecerdasan buatan memperluas kemampuan prediksi melalui algoritma berbasis pola historis dan *real-time* (Rahili et al., 2023). Pengalaman di kota-kota pesisir Jawa Tengah menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi geospasial meningkatkan ketepatan tata ruang serta kesiapsiagaan masyarakat menghadapi banjir rob.

Tabel 2.5 dan Gambar 2.3 menegaskan bahwa data spasial bukan sekadar alat teknis, melainkan “peta masa depan” yang memungkinkan pengambilan keputusan berbasis risiko.

Tabel 2.5 Pemanfaatan Teknologi Spasial di Kota Pesisir Jawa Tengah

Kota	Teknologi Geospasial	Aplikasi	Dampak Kebijakan
Demak	UAV, Sentinel-1	Pemantauan abrasi & subsiden	Zona konservasi <i>mangrove</i>
Pekalongan	UAV, <i>dashboard</i> rob	Peringatan dini rob	RTRW adaptif berbasis risiko rob
Semarang	Satelit, <i>tide gauge</i>	Zonasi risiko rob	Integrasi ke RTRK & tanggul adaptif

Sumber: Andreas et al. (2017); Egaputra et al. (2022); Nashrullah et al. (2013)



Gambar 2.3 Sistem Observasi Spasial Terpadu dalam Pengelolaan Pesisir

2.4 *Benchmark Global dan Praktik Baik*

Adaptasi pesisir merupakan tantangan global yang menuntut pembelajaran lintas negara. Belanda melalui *Delta Programme* mengintegrasikan sensor hidrodinamika dan data spasial dalam tata kelola delta adaptif berbasis *anticipatory governance* (Rijke et al., 2012). Jepang mengembangkan *Tokyo Smart Port* berbasis *Internet of Things* untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional pelabuhan (Hanson et al., 2011; Japan International Cooperation Agency, 2010). Singapura membangun *Tuas Mega Port* dengan model banjir pesisir–daratan berbasis *Geography Information System* (GIS) sebagai dasar perencanaan jangka panjang (National University of Singapore (NUS), 2022).

Sementara itu, Indonesia *dashboard* rob Pekalongan dan Morodemak menunjukkan bahwa inovasi lokal berbasis data mampu mendukung tata ruang adaptif dan efisiensi logistik pesisir (Aprijanto et al., 2025; Deltares-Worldwateratlas, 2024; Sidiq et al., 2021).

Tabel 2.6 memperlihatkan perbedaan strategi dan fokus adaptasi antar negara, sekaligus menegaskan posisi Indonesia

dalam memanfaatkan teknologi spasial untuk kebutuhan tata ruang dan pengelolaan risiko pesisir.

Tabel 2.6 Benchmark Integrasi Ilmu Spasial dalam Pengelolaan Pesisir dan Pelabuhan

Negara/ Kota	Inovasi & Teknologi Utama	Fokus Implementasi	Dampak/Keluaran Kebijakan
Belanda (Delta Rhine– Meuse)	<i>Delta Programme</i> , sensor hidrodinamika, data spasial	<i>Anticipatory governance & flood management</i>	Model global pengelolaan delta adaptif
Jepang (Tokyo Port)	<i>Smart Port</i> berbasis IoT & sensor laut	Monitoring banjir pasang & arus kapal	Sistem pelabuhan cerdas dan aman energi
Singapura (Tuas Mega Port)	<i>Coastal-Inland Flood Model</i> (CIFM) berbasis GIS	Perencanaan infrastruktur adaptif	Ketahanan pelabuhan jangka panjang
Indonesia (Pekalongan & Morodemak)	<i>Dashboard rob</i> berbasis data spasial & pasang surut	Tata ruang adaptif & efisiensi logistik kapal	Penyesuaian RTRW & operasional lebih efisien

Sumber: Aprijanto et al. (2025); Deltares-Worldwateratlas (2024); Hanson et al. (2011); National University of Singapore (NUS) (2022); Rijke et al. (2012); Sidiq et al. (2021)

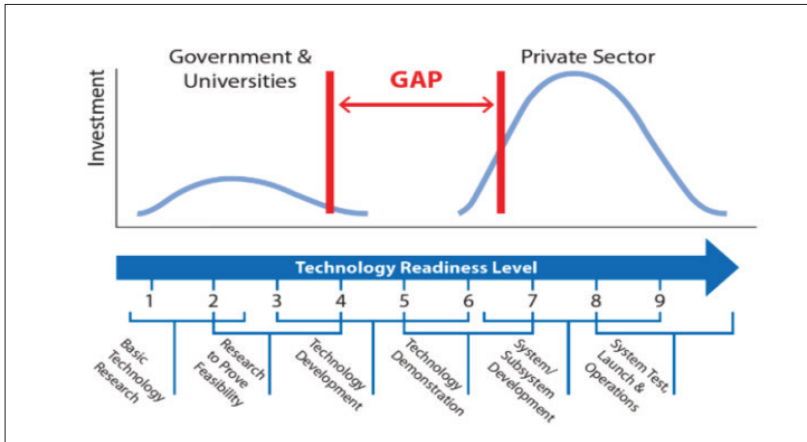
2.5 Tantangan Integrasi Ilmu–Teknologi–Kebijakan

Meskipun inovasi adaptasi pesisir terus berkembang, banyak teknologi berhenti pada tahap prototipe bukan karena kegagalan teknis, melainkan karena ekosistem pendukung belum siap mengintegrasikannya ke dalam sistem pengelolaan wilayah

pesisir. Hambatan utama mencakup fragmentasi kelembagaan, rendahnya literasi spasial dan data pembuat kebijakan, dominasi paradigma pembangunan fisik, serta perbedaan horizon waktu antara ilmuwan dan politisi (Engels, 2016).

Hambatan implementasi muncul pada tiga kelompok teknologi utama. Pada teknologi pemantauan dan peringatan dini, tantangan utama terletak pada ketiadaan kesepakatan operasi dan pemeliharaan serta keterbatasan pendanaan daerah, sehingga teknologi ber-TKT menengah tidak berlanjut menjadi operasional rutin. Teknologi perlindungan fisik adaptif terkendala dominasi pendekatan konvensional, rendahnya ketahanan material laut, serta tingginya biaya tanpa skema pembiayaan jangka panjang. Sementara itu, teknologi pengelolaan adaptif berbasis data terhambat oleh lemahnya integrasi ke dalam dokumen perencanaan dan keputusan resmi.

Tabel 2.7 menunjukkan bahwa kegagalan adopsi di Pekalongan, Demak, dan Sulawesi bukan disebabkan kelemahan teknologi, melainkan lemahnya integrasi ilmu, kebijakan, dan kapasitas kelembagaan, sejalan dengan konsep *valley of death* antara riset dan implementasi (Otto, 2020) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4. Karena itu, integrasi kerangka TKT–STS–UTAUT, penguatan peran BRIN dan perguruan tinggi, serta orientasi riset pada dampak nyata menjadi kunci keberhasilan adaptasi pesisir.



Sumber: Otto (2020)

Gambar 2.4 “Jurang” atau *Valley of Death* antara Riset dan Implementasi

Tabel 2.7 Kasus Gagal Adopsi Inovasi Pesisir di Indonesia

Lokasi	Kategori Teknologi	Jenis Inovasi Spesifik	TKT	Alasan Gagal Adopsi
Pekalongan	Pemantauan dan Peringatan Dini	Sistem peringatan dini banjir rob berbasis sensor pasang surut dan notifikasi digital	5–6	Tidak ada kesepakatan operasi dan pemeliharaan, keterbatasan pendanaan daerah
Demak	Pengelolaan dan Perencanaan Berbasis Data	<i>Dashboard</i> spasial abrasi dan penurunan permukaan tanah berbasis citra satelit dan GIS	6	Tidak terintegrasi ke dalam RTRW dan proses pengambilan keputusan resmi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Lokasi	Kategori Teknologi	Jenis Inovasi Spesifik	TKT	Alasan Gagal Adopsi
Sulawesi	Perlindungan Fisik Adaptif	Prototipe pompa otomatis pengendali genangan rob berbasis sistem mekanik–elektrik	4–5	Material tidak tahan korosi lingkungan laut, biaya investasi dan operasional tinggi

Sumber: Andreas et al. (2017); Deltares-Worldwateratlas (2024)

Transformasi ilmu dan teknologi pesisir yang dibahas dalam naskah ini selaras dengan agenda pembangunan nasional, termasuk RPJMN, RAN-API, Program Strategis Nasional *Giant Sea Wall*, serta komitmen *Sustainable Development Goals* (SDGs). Kerangka evaluasi implementatif TKT–STS–UTAUT memberikan dasar untuk memastikan bahwa inovasi tidak berhenti pada tataran konseptual, tetapi terintegrasi ke dalam kebijakan dan praktik adaptasi yang berkelanjutan. Berangkat dari pemetaan evolusi paradigma, tipologi wilayah, serta tantangan integrasi ilmu, teknologi, dan kebijakan, naskah ini selanjutnya menguraikan arah inovasi ilmiah untuk memperkuat ketahanan kawasan pesisir dan pelabuhan Indonesia.

III. INOVASI ILMIAH UNTUK KETAHANAN PESISIR DAN PELABUHAN

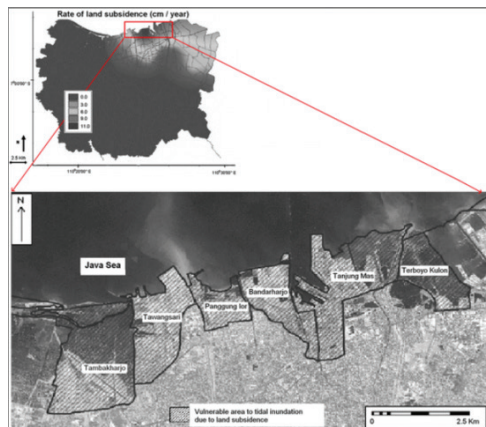
Inovasi ilmiah menjadi fondasi utama dalam merespons krisis pesisir di era perubahan iklim. Penanganan banjir rob, abrasi, dan intrusi air laut tidak lagi dapat mengandalkan pendekatan konvensional semata, melainkan menuntut integrasi data spasial, kecerdasan buatan, sensor adaptif, dan pemanfaatan energi laut secara terpadu. Dalam kerangka ini, teknologi berperan sebagai sistem pendukung keputusan yang memungkinkan prediksi, peringatan dini, dan intervensi adaptif berbasis bukti. Lebih dari itu, nelayan dan masyarakat pesisir diposisikan sebagai aktor utama adaptasi bukan sekadar penerima manfaat, melalui keterlibatan langsung dalam pemantauan, pemeliharaan, dan pemanfaatan teknologi. Dengan demikian, inovasi ilmiah tidak hanya memperkuat ketahanan fisik pesisir, tetapi juga membangun ketahanan sosial-ekologis yang berkelanjutan.

3.1 Integrasi Data Spasial & Model Hidrodinamika untuk Proteksi Pesisir

Wilayah Semarang–Demak di Pantura Jawa menunjukkan secara nyata betapa seriusnya ancaman krisis pesisir di era perubahan iklim. Ancaman tersebut tidak hanya berupa banjir rob musiman, tetapi telah berkembang menjadi kombinasi risiko permanen berupa penurunan permukaan tanah, kenaikan muka laut, abrasi pantai, dan intrusi air laut. Laju penurunan tanah yang mencapai 5–10 cm per tahun (Sidiq et al., 2021), menyebabkan kawasan yang sebelumnya aman dari genangan kini rutin terendam bahkan pada kondisi pasang normal. Situasi ini semakin diperparah oleh tren kenaikan muka laut global (IPCC, 2021), sehingga memperbesar luas wilayah terdampak,

merusak infrastruktur, menurunkan produktivitas tambak, serta mengancam permukiman dan jaringan transportasi pesisir. Dengan demikian, Semarang–Demak merepresentasikan tipologi wilayah pesisir Indonesia yang berada dalam tekanan multi-dimensi antara dinamika geologi, hidrodinamika, dan perubahan iklim global.

Ancaman utama pesisir utara Jawa, khususnya Semarang–Demak, tidak hanya berasal dari dinamika laut, tetapi juga dari penurunan permukaan tanah (amblesan) yang berlangsung cepat dan bersifat kumulatif. Penurunan permukaan tanah memperbesar frekuensi dan kedalaman genangan rob, bahkan pada kondisi pasang normal. Oleh karena itu, pemetaan ancaman pesisir yang akurat harus mengintegrasikan data laju penurunan tanah dengan dinamika laut. Satelit, drone, dan peta geospasial merekam pola penurunan permukaan tanah, sementara model hidrodinamika mensimulasikan pasang, arus, dan badai. Integrasi keduanya mengungkap zona genangan berisiko tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada peta Semarang–Demak pada Gambar 3.1, yang menjadi dasar penentuan prioritas perlindungan.



Sumber: Marfai & King (2008)

Gambar 3.1 Integrasi Peta Subsiden & Simulasi Pasang Surut-Studi Kasus Pesisir Semarang-Demak

3.2 Peran Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dalam Prediksi & Optimalisasi

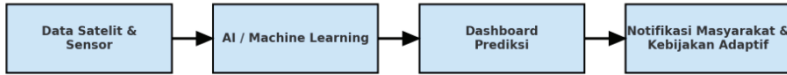
Kecerdasan buatan kini berperan sebagai “asisten digital” bagi masyarakat pesisir. Beragam data mulai dari curah hujan, pasang surut, citra satelit, hingga sensor laut diolah menjadi informasi sederhana yang mudah dipahami, seperti waktu datangnya rob, luas genangan, dan area berisiko. Di Pekalongan, *dashboard* berbasis AI mampu memprediksi genangan hingga 48 jam sebelumnya dengan akurasi di atas 85% (Ilyas et al., 2019; Prabawardani et al., 2024; Rahili et al., 2023), memungkinkan nelayan mengamankan perahu lebih cepat dan keluarga mempersiapkan rumah maupun jalur evakuasi (Iskandar et al., 2020).

Selain mitigasi bencana, AI juga berkontribusi pada efisiensi energi dan perancangan kota adaptif melalui pengoperasian pompa otomatis berbasis kebutuhan serta simulasi tata ruang pesisir yang lebih aman. Seiring pembaruan data yang terus berlangsung, ketepatan prediksi semakin meningkat. Penerapan AI di Pekalongan, Semarang, dan Demak dirangkum dalam Tabel 3.1, sementara alur integrasinya dari data hingga peringatan kebijakan adaptif ditampilkan pada Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Penerapan AI dalam Adaptasi Pesisir

Lokasi	Inovasi AI	Fungsi Utama	Dampak Masyarakat
Pekalongan	<i>Dashboard</i> rob AI	Prediksi genangan 48 jam	Nelayan siaga lebih awal
Semarang	Model ML hidrodinamika	Simulasi rob bulanan	Bahan revisi tata ruang
Demak	<i>AI untuk abrasi mangrove</i>	Deteksi erosi & konservasi	Warga tanam <i>mangrove</i>

Sumber: Andreas et al. (2017); Marfai & King (2008); Nashrullah et al. (2013)



Gambar 3.2 Skema Integrasi AI dalam Sistem Pesisir

3.3 Sistem Peringatan Dini & Sensor Adaptif

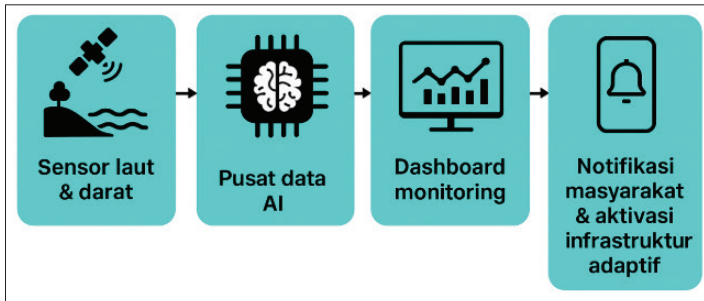
Bagi masyarakat pesisir, selang waktu sebelum rob atau gelombang ekstrem terjadi sangat menentukan keselamatan, sehingga sistem peringatan dini (*early warning system/ EWS*) menjadi instrumen krusial mitigasi bencana. EWS mengintegrasikan sensor laut–darat dengan pusat data untuk menyebarkan informasi real-time melalui sirine, pesan singkat, dan aplikasi seluler (Djalante, 2016; Prabawardani et al., 2024). Inovasi seperti *Smart Beach Safety System* (SBSS) memperkuat EWS melalui sensor IoT, kamera pantai, dan kecerdasan buatan untuk pemantauan prediktif dan peringatan otomatis (Sutopo & Aprijanto, 2024; Sutopo Joko & Aprijanto, 2025). Keberagaman penerapan EWS disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Contoh Penerapan Sistem Peringatan Dini & Sensor Adaptif di Pesisir

Lokasi	Teknologi	Fungsi Utama	Dampak Masyarakat
Semarang	SBMS berbasis IoT	Monitoring rob & gelombang <i>real-time</i>	Warga mendapat info cepat
Demak	DTFB prototipe	Pintu air adaptif dengan sensor pasang	Genangan berkurang signifikan
Pekalongan	SMS <i>Gateway</i> EWS	Peringatan dini rob via ponsel	Nelayan siaga lebih awal

Sumber: Bertule (2017); Djalante (2016); Ilyas et al.(2019); Iskandar et al. (2020); JICA (2024); Nashrullah et al. (2013); Prabawardani et al. (2024); Sutopo et al. (2025); Sutopo & Aprijanto (2024); Sutopo Joko & Aprijanto, (2025); UNDP (2018); Wibowo; et al. (2019)

Gambar 3.3 memperlihatkan alur EWS adaptif, sensor laut dan darat mengirim data ke analitik berbasis AI, ditampilkan pada *dashboard*, lalu diteruskan sebagai notifikasi publik atau pemicu pintu air otomatis. Mekanisme ini memungkinkan deteksi cepat pasang dan gelombang ekstrem, peringatan disalurkan via sirene, SMS, atau aplikasi, serta aktivasi otomatis untuk mitigasi.



Gambar 3.3 Skema Sistem Peringatan Dini Pesisir Adaptif

3.4 Infrastruktur *Hybrid* dan *Nature-based Solutions*

Selama beberapa dekade, perlindungan pesisir Indonesia dibangun terutama melalui tanggul beton, *breakwater*, dan *polder* solusi yang bekerja cepat, namun kerap kalah oleh dinamika alam yang terus berubah. Ketika muka laut naik dan tanah terus ambles, struktur kaku ini tidak hanya kehilangan efektivitasnya, tetapi juga mengabaikan peran sistem ekologis pesisir seperti *mangrove* dan rawa pantai yang sejatinya mampu beradaptasi secara alami. Karena itu, dunia kini bergerak menuju paradigma infrastruktur *hybrid*, yang memadukan kekuatan rekayasa teknik dengan kecerdasan alam sebagai fondasi ketahanan pesisir berkelanjutan (Temmerman, 2013; van Slobbe et al., 2013).

Infrastruktur *hybrid* memanfaatkan ketahanan struktur buatan sekaligus fungsi ekosistem. Contohnya, tanggul bambu

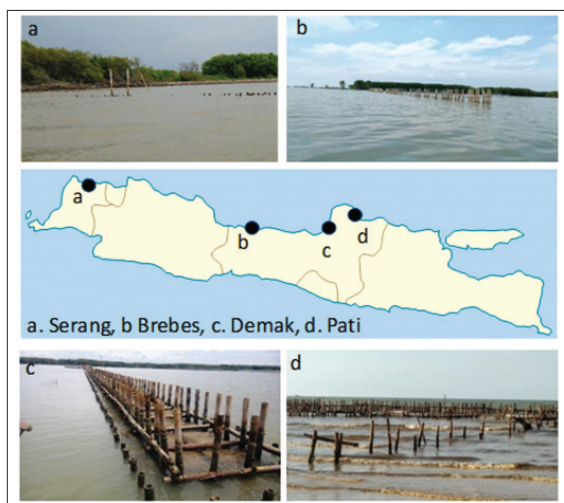
yang dikombinasikan dengan sabuk mangrove, *Sand Motor* di Belanda yang memadukan suplai pasir dan vegetasi *dune*, serta *seawall* dan terumbu buatan di Jepang. Di Filipina, kombinasi mangrove dan tanggul beton terbukti menekan rob (Gerona-Daga & Salmo, 2022). Tabel 3.3 menampilkan beberapa contoh penerapannya.

Tabel 3.3 Contoh Infrastruktur Hybrid dan *Nature-based Solutions*

Lokasi	Solusi <i>Hybrid</i>	Fungsi Utama	Dampak Masyarakat
Demak (ID)	Tanggul bambu + sabuk <i>mangrove</i>	Reduksi abrasi & perlindungan pantai	Pesisir lebih stabil, nelayan ikut menanam
Belanda (NL)	<i>Sand Motor</i> + <i>Dune Vegetation</i>	Menahan erosi dengan suplai pasir alami	Pantai aman sekaligus destinasi wisata
Jepang (JP)	<i>Seawall</i> + Terumbu Buatan	Proteksi badai & habitat laut	Meningkatkan perikanan lokal
Filipina (PH)	<i>Mangrove Belt</i> + Tanggul Beton	Reduksi energi gelombang & banjir	Perlindungan rumah warga pesisir

Sumber: Gerona-Daga & Salmo (2022); Temmerman (2013); van Slobbe et al. (2013); West Africa Coastal Areas Management Program (2015); Winterwerp et al. (2014)

Tabel 3.3 memperlihatkan bahwa integrasi infrastruktur keras dan solusi alam memberikan perlindungan ganda terhadap abrasi dan rob, sekaligus manfaat. Gambar 3.4 menunjukkan *seawall* yang diperkuat vegetasi atau terumbu karang. Di Demak, tanggul bambu dan *mangrove* efektif menekan abrasi serta mendorong partisipasi nelayan (Aprijanto et al., 2025; Santoso et al., 2024).



Sumber: Husrin & Solihuddin (2020)

Gambar 3.4 Skema Infrastruktur Hybrid Pesisir: Kondisi struktur Hybrid yang terpasang di Serang, Brebes, Demak dan Pati

Pendekatan *hybrid* mengintegrasikan rekayasa teknik, pemulihan ekosistem, serta analisis hidrodinamika dan sosial-ekonomi. Contoh sabuk bambu-*mangrove* di Demak menunjukkan sinergi teknologi dan solusi alami untuk perlindungan pesisir berkelanjutan dan kesejahteraan masyarakat.

3.5 Inovasi Energi Laut dan Kemandirian Pesisir

Energi fosil masih menjadi sumber listrik utama masyarakat pesisir (IRENA, 2020; Santoso et al., 2023), padahal kawasan ini memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, mulai dari arus laut, gelombang, pasang surut, angin, hingga perbedaan suhu laut (*Ocean Thermal Energy Conversion /OTEC*). Inovasi

global menunjukkan bahwa teknologi energi laut telah bergerak dari konsep menuju implementasi. Di Indonesia, uji coba turbin arus modular di Nusa Penida dikembangkan untuk mendukung penerangan desa dan *cold storage* ikan (Dewangi et al., 2017). Jepang mengoperasikan turbin pasang surut di Okinawa, Inggris mengembangkan pembangkit gelombang di Skotlandia, sementara Filipina mulai menerapkan panel surya terapung di wilayah pesisir. Pengalaman tersebut menegaskan bahwa energi laut semakin siap menjawab kebutuhan listrik masyarakat (Lochinvar et al., 2023; Marta et al., 2024; News, 2025; Noble et al., 2025; Rasgianti et al., 2024; Tavana et al., 2025).

Riset terbaru juga menunjukkan bahwa potensi arus di Selat Toyapakeh mampu menghasilkan daya 16,6 kW pada titik optimal, dengan proyeksi hingga 66 kW per tahun (Dewangi et al., 2017). Jika dikombinasikan dengan panel surya dan teknologi penyimpanan energi, masyarakat dapat menikmati akses listrik mandiri yang stabil. Laporan Giriantari, (2024) juga menekankan bahwa pemanfaatan energi terbarukan skala lokal termasuk energi laut akan mempercepat transisi menuju 100% energi bersih nasional.

Inovasi energi laut kini melampaui fungsi pembangkit dengan memperkuat kemandirian pesisir. Okinawa menekan impor BBM, Skotlandia memanfaatkan gelombang bagi bauran energi, Filipina memakai surya terapung menurunkan biaya rumah tangga, sementara OTEC membuka peluang pulau kecil bersuhu kontras. Ringkasan ditampilkan pada Tabel 3.4 sebagai rujukan ringkas.

Tabel 3.4 Contoh Inovasi Energi Laut dan Dampaknya

Lokasi	Teknologi Energi Laut	Fungsi Utama	Dampak Masyarakat
Nusa Penida (ID)	Turbin arus laut modular	Listrik desa & dermaga kecil	Penerangan, <i>cold storage</i> ikan, listrik mandiri
Okinawa (JP)	Turbin pasang surut bawah laut	Energi mandiri pulau kecil	Mengurangi ketergantungan BBM
Skotlandia (UK)	Pembangkit gelombang laut	Energi skala regional	Kontribusi 5–10% energi terbarukan nasional
Filipina (PH)	Panel surya terapung di pesisir	Cadangan energi desa pesisir	Biaya listrik rumah tangga lebih murah
Global (OTEC)	Pembangkit beda suhu laut (OTEC)	Listrik dari perbedaan suhu permukaan	Potensi jangka panjang untuk pulau kecil

Sumber: Dewangi et al. (2017); Lochinvar et al. (2023); News (2025); Noble et al. (2025); Rasgianti et al. (2024); Tavana et al. (2025)

3.6 Kolaborasi Komunitas dan Teknologi Partisipatif

Keberhasilan inovasi pesisir tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada keterlibatan masyarakat. Tanpa partisipasi nelayan, petambak, dan komunitas lokal, banyak solusi berhenti di tahap uji coba. Karena itu, warga perlu dilibatkan bukan hanya sebagai penerima manfaat, tetapi juga sebagai mitra yang ikut merancang, menguji, dan merawat teknologi pesisir (Aprijanto; & Sutopo, 2017; Irfani et al., 2012; Kartika et al., 2019).

Tabel 3.5 menunjukkan bahwa keterlibatan komunitas membuat teknologi lebih relevan, akurat, dan berkelanjutan. Warga pesisir bukan sekadar pengguna, tetapi mitra utama yang menjadikan sensor, *dashboard*, atau prototipe infrastruktur bagian dari kehidupan sehari-hari. Pendekatan ini terbukti di Semarang melalui pelaporan rob via aplikasi ponsel untuk peta risiko lebih akurat, di Demak lewat pelatihan drone bagi nelayan muda untuk memantau *mangrove*, dan di Pekalongan melalui SMS peringatan dini yang diperkuat jejaring nelayan. Dengan cara ini, inovasi tidak hanya meningkatkan kualitas data, tetapi juga memperkuat rasa memiliki, solidaritas sosial, dan ketahanan bersama dalam menghadapi krisis pesisir (Findayani et al., 2024; Rahili et al., 2023; Temmerman, 2013).

Tabel 3.5 Bentuk Kolaborasi Komunitas dalam Teknologi Pesisir

Lokasi	Bentuk Kolaborasi	Teknologi/ Program	Dampak Sosial-Ekonomi
Semarang	Warga sebagai pelapor rob	<i>Dashboard</i> partisipatif	Peta risiko lebih akurat, kebijakan lebih tepat
Demak	Nelayan muda memantau <i>mangrove</i>	<i>Drone monitoring</i>	Konservasi lebih efektif, generasi muda terlibat
Pekalongan	Jejaring informasi nelayan	<i>SMS Gateway</i> <i>EWS</i>	Peringatan lebih cepat & merata
Filipina	Komunitas pesisir & NGO	Program <i>mangrove belt</i>	Perlindungan pantai berbasis warga

Sumber: Gerona-Daga & Salmo (2022); Ilyas et al. (2019); Ujjanti et al. (2023); West Africa Coastal Areas Management Program (2015)

IV. IMPLEMENTASI TEKNOLOGI, INTEGRASI KEBIJAKAN, DAN STRATEGI KETAHANAN PESISIR

Kawasan pesisir Indonesia berperan strategis sebagai simpul aktivitas sosial ekonomi nasional, namun sekaligus menjadi wilayah yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim, seperti abrasi, banjir rob, dan kenaikan muka laut yang memicu kerugian besar pada infrastruktur dan kesejahteraan masyarakat (Egaputra et al., 2022). Kondisi tersebut menuntut kontribusi ilmiah yang tidak berhenti pada analisis risiko, tetapi mampu menghadirkan solusi adaptif yang teruji, dapat diterapkan, dan berkelanjutan.

Seiring perkembangan tersebut, upaya adaptasi pesisir bergeser dari riset dasar menuju penerapan teknologi adaptif melalui uji coba lapangan dan kolaborasi multipihak yang terintegrasi dengan kebijakan publik. Dalam konteks ini, kontribusi ilmiah penulis diposisikan pada pengembangan pendekatan integratif adaptasi pesisir, pengujian teknologi di berbagai lokasi nyata, serta perumusan kerangka evaluasi implementatif yang mengaitkan kinerja teknologi, arah pengembangan, dan peluang standardisasi nasional (SNI) maupun internasional (ISO).

4.1 Penerapan Teknologi Adaptif di Pesisir Indonesia

Penerapan teknologi adaptif di Semarang tercermin pada pengembangan sistem *polder* di Kaligawe dan Tambaklorok sebagai upaya awal pengendalian banjir rob kawasan pesisir. Integrasi tanggul, drainase, dan pompa terbukti mampu menurunkan intensitas genangan, meskipun lajunya masih dibayangi

oleh masalah penurunan muka tanah yang mengancam kinerja jangka panjang sistem tersebut (Aprijanto et al., 2025; Egaputra et al., 2022; Nugroho et al., 2016).

Pembangunan *Giant Sea Wall* (GSW) di Jakarta dalam kerangka *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD telah diawali dengan tanggul pantai sebagai bagian strategi nasional merespons kombinasi ancaman kenaikan muka laut dan penurunan permukaan tanah yang terus meningkat (Deltares-Worldwateratlas, 2024; NCICD, 2015).

Sementara itu, Demak menunjukkan keberhasilan solusi berbasis alam melalui program *Building with Nature* (BwN) yang memadukan tanggul permeabel dan rehabilitasi *mangrove* untuk menekan abrasi sekaligus memulihkan ekosistem (Sidiq et al., 2021; Winterwerp et al., 2014).

Pembangunan kolam retensi di Pekalongan yang dilengkapi pompa listrik berfungsi menampung air rob sekaligus mengendalikan banjir musiman, meskipun masih dihadapkan pada kendala energi operasional (Ilyas et al., 2019; Nashrullah et al., 2013; Sidiq et al., 2021).

Selain itu, sejumlah inovasi baru masih berada dalam tahap pengembangan. *Dynamic Tidal Flood Barrier* (DTFB) di Semarang saat ini mencapai TKT menengah, sedangkan *Safety Beach Monitoring System* (SBMS) yang dikembangkan dan diuji di Pantai Parangtritis telah dioperasikan secara permanen sebagai sistem keselamatan wisata bahari berbasis sensor IoT dan kecerdasan buatan (Aprijanto; et al., 2017; Aprijanto et al., 2025; Aprijanto & Aris, 2012; Deltares-Worldwateratlas, 2024; Santoso et al., 2021; Sutopo Joko & Aprijanto, 2025).

Secara keseluruhan, rangkaian studi kasus ini menegaskan bahwa kontribusi ilmiah penulis tidak berhenti pada pengem-

bangun teknologi semata, tetapi mencakup pengujian lintas konteks, pemetaan tingkat kesiapan implementasi, serta penarikan pelajaran kebijakan yang relevan. Dengan demikian, pendekatan integratif adaptasi pesisir yang dikembangkan menunjukkan kebaruan ilmiah sekaligus relevansi praktis sebagai dasar replikasi dan penguatan ketahanan pesisir Indonesia.

4.2 Kebijakan Adaptif sebagai Payung Implementasi

Keberlanjutan teknologi adaptif pesisir sangat ditentukan oleh konsistensi kebijakan publik yang menopangnya. Tanpa dukungan kebijakan, inovasi berisiko berhenti sebagai proyek percontohan; sebaliknya, kebijakan adaptif berfungsi sebagai payung implementasi yang menanamkan teknologi ke dalam sistem tata ruang dan pembangunan jangka panjang. Di Semarang, sistem *polder* dan bendung gerak telah terintegrasi dalam rencana induk pengendalian banjir serta dilembagakan dalam RTRW dan RPJMD. Di Jakarta, pembangunan *Giant Sea Wall* dalam kerangka *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD) ditetapkan sebagai proyek strategis nasional untuk merespons ancaman kenaikan muka laut dan penurunan muka tanah (NCICD, 2015; Nugroho et al., 2016). Program *Building with Nature* (BwN) di Demak telah terintegrasi dalam RZWP3K Jawa Tengah, sementara kolam retensi Pekalongan menjadi bagian dari *Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim* (RAN-API) (BAPPENAS, 2014; West Africa Coastal Areas Management Program, 2015; Yurista & Agung Wicaksono, 2017).

Pengalaman di Semarang, Pekalongan, dan Demak menegaskan bahwa pelembagaan hasil riset ke dalam dokumen perencanaan formal RTRW, RPJMD, dan RZWP3K merupakan prasyarat keberlanjutan inovasi adaptasi pesisir. Semarang

memanfaatkan data riset untuk zonasi risiko rob dan prioritas infrastruktur, Pekalongan menerapkan pendekatan hybrid dengan tantangan pembiayaan pemeliharaan, sementara Demak menunjukkan keberhasilan *Building with Nature* (BwN) berkat dukungan kebijakan dan kemitraan global. Tabel 4.1 menegaskan bahwa keberhasilan inovasi pesisir ditentukan oleh kekuatan pelembagaan kebijakan publik, bukan semata kinerja teknis. (Aprijanto et al., 2025; Deltares-Worldwateratlas, 2024; Egaputra et al., 2022; Ilyas et al., 2019; Nugroho et al., 2016; West Africa Coastal Areas Management Program, 2015; Winterwerp et al., 2014; Yurista & Agung Wicaksono, 2017).

Tabel 4.1 Integrasi Kebijakan dan Teknologi Adaptif di Wilayah Pesisir Jawa Tengah

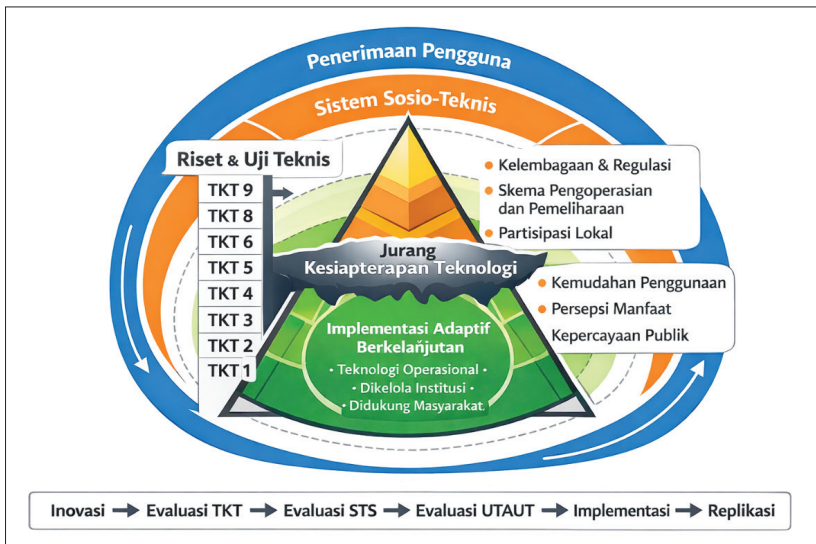
Kota/ Kabupaten	Teknologi Adaptif yang Diterapkan	Kebijakan atau Instrumen Perencanaan yang Mendukung	Bentuk Integrasi dalam Tata Ruang/ Pembangunan	Tingkat Keberlanjutan Implementasi
Semarang	Sistem <i>polder</i> dan bendung gerak; model prediksi rob berbasis citra Sentinel-1 dan UAV	RPJMD Kota Semarang 2021–2026, RTRW Kota Semarang 2022–2042, Perda Adaptasi Iklim	Data hasil riset digunakan untuk zonasi rawan rob dan prioritas infrastruktur pesisir dalam RTRW	Tinggi – kebijakan sudah melembagakan penggunaan data riset untuk desain infrastruktur baru

Kota/ Kabupaten	Teknologi Adaptif yang Diterapkan	Kebijakan atau Instrumen Perencanaan yang Mendukung	Bentuk Integrasi dalam Tata Ruang/ Pembangunan	Tingkat Keberlanjutan Implementasi
Pekalongan	<i>Hybrid engineering</i> : kombinasi <i>mangrove</i> , sabuk pantai, dan bangunan permeabel	<i>Masterplan</i> Ketahanan Pesisir (2020), Integrasi ke RPJMD dan RZWP3K Provinsi	Teknologi berbasis ekosistem dimasukkan sebagai bagian strategi pengendalian abrasi	Sedang – tergantung dukungan lintas sektor dan pembiayaan pemeliharaan
Demak	Restorasi pesisir berbasis <i>community-driven</i> ; bangunan permeabel bambu	Program <i>Building with Nature</i> (BwN), integrasi dalam RZWP3K Jawa Tengah	Ditetapkan sebagai kawasan percontohan nasional untuk adaptasi berbasis alam	Tinggi – mendapat dukungan lintas lembaga dan donor internasional (<i>EcoShape</i> , KKP)

4.3 Integrasi TKT–STS–UTAUT: Menjembatani Riset dan Implementasi Adaptasi Pesisir

Pengalaman adaptasi pesisir di Indonesia memperlihatkan satu pelajaran mendasar: inovasi jarang gagal karena teknologi yang lemah, melainkan karena ekosistem implementasi yang belum siap. Banyak solusi berhenti pada tahap percontohan bukan karena tidak berfungsi, tetapi karena tidak terintegrasi

ke dalam sistem sosial, kelembagaan, dan kebijakan. Refleksi ini melandasi pengembangan kerangka evaluasi integratif berbasis Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT), Sistem Sosio-Teknis (STS), dan Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT), sebagaimana dirangkum dalam Gambar 4.1. Kerangka ini menegaskan bahwa teknologi adaptasi pesisir hanya dapat berhasil ketika ia matang secara teknis, sesuai secara sosial–kelembagaan, dan diterima serta digunakan oleh masyarakat dan institusi pengelola, berkembang secara simultan sebagai satu sistem yang utuh.



Gambar 4.1 Kerangka Evaluasi Terpadu TKT–STS–UTAUT untuk Menjembatani Riset dan Implementasi

Penerapan kerangka ini pada berbagai kasus adaptasi pesisir di Indonesia, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.2, memperlihatkan bahwa inovasi dengan integrasi sosial yang kuat mampu beroperasi berkelanjutan dan direplikasi lintas wilayah,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sementara inovasi yang unggul secara teknis namun rapuh secara kelembagaan cenderung terhenti di tengah jalan. Makna strategisnya jelas: masa depan adaptasi pesisir Indonesia tidak ditentukan oleh seberapa maju teknologi yang dikembangkan, melainkan oleh kemampuan kita mentransformasikan teknologi menjadi sistem sosial–teknis yang hidup, dipercaya, dan dikelola secara berkelanjutan. Inilah jembatan yang harus dibangun agar riset tidak berhenti sebagai proyek, tetapi hadir sebagai kebijakan dan praktik adaptasi yang nyata bagi masyarakat pesisir.

Tabel 4.2 Contoh Penerapan Matriks Evaluasi Terpadu TKT–STS–UTAUT dalam Adaptasi Pesisir Indonesia

Lokasi dan Inovasi	Dimensi STS (Kesiapan Sosial–Kelembagaan)	Dimensi UTAUT (Penerimaan Pengguna)	Status Implementasi
Pekalongan – Sistem Peringatan Dini Banjir Rob (<i>Sensor & Dashboard</i>)	<ul style="list-style-type: none"> •Belum ada institusi pengelola tetap 		
<ul style="list-style-type: none"> • Belum masuk SOP BPBD 			Pra-operasional. Teknologi telah berfungsi dengan baik dan digunakan oleh masyarakat, namun belum dilembagakan sebagai sistem resmi daerah. Ketiadaan institusi pengelola tetap, skema operasi–pemeliharaan, serta dukungan anggaran menyebabkan sistem berhenti pada tahap proyek percontohan meskipun manfaatnya telah dirasakan.
<ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada anggaran O&M rutin 			
<ul style="list-style-type: none"> • Koordinasi lintas OPD lemah 	Masyarakat pesisir, khususnya nelayan, menilai sistem sangat bermanfaat untuk mengamankan perahu dan rumah. Antarmuka mudah dipahami dan notifikasi rob dipercaya karena akurat.	Pra-operasional (TKT 5–6). Teknologi telah berfungsi baik dan digunakan masyarakat, namun belum dilembagakan sebagai sistem resmi daerah. Ketiadaan institusi pengelola, skema O&M, dan dukungan anggaran membuat sistem berhenti pada tahap proyek percontohan meskipun manfaatnya telah dirasakan.	

Lokasi dan Inovasi	Dimensi STS (Kesiapan Sosial –Kelembagaan)	Dimensi UTAUT (Penerimaan Pengguna)	Status Implementasi
<p>Demak – <i>Hybrid Mangrove Wall</i> (Tanggul Bambu + <i>Mangrove</i>)</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Dikelola bersama nelayan dan LSM • Masuk program rehabilitasi pesisir 	<ul style="list-style-type: none"> • Didukung pemerintah desa dan kabupaten 		<p>Operasional dan berkelanjutan. Inovasi telah menjadi bagian dari sistem perlindungan pesisir berbasis masyarakat. Didukung pemerintah daerah, dikelola kelompok nelayan, serta terintegrasi dalam program rehabilitasi pesisir, sehingga mampu direplikasi di beberapa desa dan memberikan manfaat ekologis dan ekonomi secara berkelanjutan.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Skema pemeliharaan berbasis komunitas 	<p>Warga terlibat langsung dalam pembangunan dan perawatan, memahami fungsi perlindungan abrasi, serta merasakan manfaat ekonomi dari tambak yang lebih stabil.</p>	<p>Operasional berkelanjutan (TKT 7–8). Inovasi telah menjadi bagian dari sistem perlindungan pesisir berbasis masyarakat. Didukung pemerintah daerah dan direplikasi di beberapa desa dengan manfaat ekologis dan ekonomi yang nyata.</p>	

Lokasi dan Inovasi	Dimensi STS (Kesiapan Sosial –Kelembagaan)	Dimensi UTAUT (Penerimaan Pengguna)	Status Implementasi
<p>Semarang – <i>Dynamic Tidal Flood Barrier</i> (DTFB)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada operator tetap • Skema pembiayaan belum tersedia 	<ul style="list-style-type: none"> • Belum masuk <i>masterplan</i> rob kota 		<p>Skala laboratorium (TKT 4–5). Teknologi masih berada pada tahap pengujian komponen dan sistem di lingkungan terkendali. Uji kinerja dilakukan pada skala model untuk memvalidasi desain mekanik, sensor pasang, dan sistem kendali. Belum dilakukan uji lapangan terpadu sehingga belum siap diintegrasikan ke sistem pengendalian rob kota. Fokus pengembangan saat ini pada peningkatan reliabilitas, ketahanan material, dan integrasi sistem sebelum masuk tahap demonstrasi lapangan</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Masih berstatus proyek riset 	<p>Masyarakat belum memahami fungsi sistem secara utuh dan belum merasakan manfaat langsung karena sistem belum beroperasi penuh.</p>	<p>Skala laboratorium (TKT 4–5). Teknologi masih pada tahap pengujian komponen dan sistem di lingkungan terkendali. Uji kinerja dilakukan pada skala model untuk memvalidasi desain mekanik, sensor pasang, dan sistem kendali. Belum dilakukan uji lapangan terpadu sehingga belum siap diintegrasikan ke sistem pengendalian rob kota.</p>	

Lokasi dan Inovasi	Dimensi STS (Kesiapan Sosial –Kelembagaan)	Dimensi UTAUT (Penerimaan Pengguna)	Status Implementasi
Parangtritis – <i>Safety Beach Monitoring System</i> (SBMS)	<ul style="list-style-type: none"> • Dikelola BPBD, SAR, dan pengelola wisata 		
<ul style="list-style-type: none"> • Terintegrasi dalam sistem keselamatan pantai 			Secara implementatif, SBMS telah melampaui tahap pengujian laboratorium dan berada pada tahap uji lapangan lanjut hingga operasional awal (TKT 6–7). Sistem telah diuji dan dioperasikan di lingkungan pantai sebagai bagian dari monitoring keselamatan harian, meskipun pengembangan reliabilitas, ketahanan material, dan integrasi sistem masih terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja jangka panjang. Kombinasi kesiapan kelembagaan dan penerimaan pengguna yang kuat menjadikan SBMS siap direplikasi ke pantai-pantai berisiko tinggi lainnya dengan dukungan kelembagaan daerah.
<ul style="list-style-type: none"> • Didukung APBD sektor pariwisata 	Petugas pantai dan wisatawan merasa sistem meningkatkan rasa aman. Informasi mudah dipahami dan dipercaya karena berbasis sensor dan kamera pantai.	Uji lapangan lanjut – Operasional penuh (TKT 6–7). Dari sisi penerimaan pengguna, SBMS memperoleh respons positif baik dari petugas pantai maupun wisatawan. Sistem dinilai meningkatkan rasa aman, mudah dipahami, dan dipercaya karena berbasis sensor dan kamera pantai yang memberikan informasi kondisi laut secara <i>real-time</i> . Tingkat kepercayaan dan kemudahan penggunaan ini memperkuat intensi penggunaan berkelanjutan, sekaligus menjadi faktor kunci dalam legitimasi sosial sistem di kawasan wisata berisiko tinggi.	

Lokasi dan Inovasi	Dimensi STS (Kesiapan Sosial –Kelembagaan)	Dimensi UTAUT (Penerimaan Pengguna)	Status Implementasi
Sulawesi – Pompa Otomatis Pengendali Genangan Rob	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada institusi pengelola 		Gagal adopsi. Prototipe tidak berkembang menjadi sistem operasional akibat kegagalan teknis, ketahanan material yang rendah, ketiadaan institusi pengelola, dan tidak adanya dukungan pembiayaan. Masyarakat kehilangan kepercayaan karena sistem sering rusak dan tidak memberikan manfaat nyata.
<ul style="list-style-type: none"> • Tidak tersedia anggaran pemeliharaan • Tidak masuk program daerah 			
<ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada regulasi pendukung 	Warga tidak percaya pada sistem karena sering rusak, sulit dioperasikan, dan manfaatnya tidak dirasakan secara nyata.	Gagal adopsi (TKT 4–5). Prototipe berhenti pada tahap uji terbatas akibat kegagalan teknis, ketahanan material yang rendah, serta lemahnya dukungan kelembagaan dan pembiayaan.	

Tabel 4.2. menegaskan bahwa keberhasilan inovasi adaptasi pesisir tidak ditentukan oleh kematangan teknis (TKT) semata, tetapi sangat bergantung pada kesiapan sistem sosial–kelembagaan (STS) dan penerimaan pengguna (UTAUT). Inovasi dengan TKT tinggi namun STS dan UTAUT rendah cenderung berhenti pada tahap prototipe, sementara inovasi dengan integrasi sosial yang kuat mampu beroperasi berkelanjutan dan direplikasi lintas wilayah.

4.4 Kolaborasi Multi-Pihak dan Pemberdayaan Komunitas

Kolaborasi multipihak merupakan pilar utama dalam keberhasilan penerapan teknologi adaptif dan penguatan ketahanan

pesisir. Dalam konteks ini, kerangka *Public–Private–People Partnership* (P4) menegaskan bahwa efektivitas adaptasi tidak ditentukan oleh aspek teknis semata, melainkan oleh keterpaduan peran para aktor dalam satu ekosistem implementasi. Pemerintah berfungsi sebagai regulator dan pengarah kebijakan, sektor swasta berperan sebagai investor sekaligus penyedia teknologi, akademisi menyediakan basis ilmiah dan pengembangan riset, sementara masyarakat lokal menjadi aktor kunci dalam adopsi, pengoperasian, dan keberlanjutan implementasi. Sinergi keempat aktor ini membentuk fondasi sosial kelembagaan yang memungkinkan inovasi diterima secara sosial sekaligus dilembagakan secara formal.

Prinsip kolaboratif tersebut tercermin nyata dalam praktik *Building with Nature* (BwN) di Demak, di mana kemitraan antara NGO internasional, pemerintah daerah, perguruan tinggi, dan komunitas nelayan tidak hanya berhasil memulihkan ekosistem pesisir, tetapi juga meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan. Keterlibatan warga sebagai pelaku utama dalam pembangunan dan pemeliharaan struktur serta vegetasi menjadi kunci keberlanjutan inovasi. Pola serupa juga terlihat pada sistem *polder* Tambaklorok di Semarang, ketika partisipasi masyarakat dalam merawat drainase dan pompa berperan penting dalam menjaga kinerja pengendalian banjir rob. Temuan ini menegaskan bahwa keberlanjutan teknologi adaptif dicapai melalui proses merancang, menjalankan, dan merawat solusi secara bersama-sama, dengan pembagian peran dan tanggung jawab yang jelas, bukan melalui pendekatan teknis yang berjalan sendiri tanpa dukungan sosial. (Cahyani, 2025).

4.5 Evaluasi dan Replikasi Adaptasi Pesisir

Evaluasi berperan krusial memastikan inovasi adaptasi pesisir bekerja efektif dan berkelanjutan melalui penilaian rutin untuk memperbarui teknologi agar tetap selaras dengan dinamika lingkungan. Tabel 4.3 merangkum penyesuaian strategi tiap kota sesuai tantangan lokal yang berkembang.

Tabel 4.3 Contoh Evaluasi Implementasi Teknologi Adaptif di Beberapa Lokasi Pesisir Indonesia

Lokasi / Proyek	Fokus Evaluasi	Temuan Utama	Rekomendasi dan Pembelajaran
Semarang – <i>Polder</i> Kaligawe & Tambaklorok	Efektivitas pengendalian rob dan subsiden	<i>Polder</i> mampu mengurangi frekuensi rob pada kondisi normal, namun belum optimal menghadapi pasang ekstrem	Perlu desain fleksibel dan integrasi dengan sistem monitoring subsiden berbasis satelit
Jakarta – NCICD & <i>Giant Sea Wall</i>	Ketahanan infrastruktur terhadap proyeksi iklim 2050	Desain tanggul perlu disesuaikan dengan proyeksi kenaikan muka laut dan penurunan tanah	Implementasi adaptif dan pemutakhiran data iklim secara periodik diperlukan
Demak – <i>Building with Nature</i> (BwN)	Keberlanjutan ekosistem <i>mangrove</i> dan penerimaan sosial	Restorasi berhasil menahan abrasi, namun bergantung pada pemeliharaan masyarakat	Pemeliharaan jangka panjang dan peningkatan kapasitas komunitas menjadi kunci

Lokasi / Proyek	Fokus Evaluasi	Temuan Utama	Rekomendasi dan Pembelajaran
Manado – <i>Seawall Boulevard</i>	Perlindungan kawasan kota dari abrasi	Infrastruktur efektif mengurangi erosi, tetapi perlu penguatan vegetasi pantai	Integrasi <i>green–grey infrastructure</i> direkomendasikan
Makassar – <i>Center Point of Indonesia (CPI)</i>	Reklamasi dan perlindungan pesisir	Melindungi kota namun menimbulkan dampak ekologis	Diperlukan kajian lingkungan strategis dan pemantauan berkelanjutan
Padang – Shelter Tsunami Komunitas	Kesiapsiagaan dan evakuasi darurat	Shelter efektif sebagai pusat evakuasi berbasis masyarakat	Integrasi dengan sistem peringatan dini daerah

Sumber: Alia et al. (2021); Deltares-Worldwateratlas (2024); Fatma et al. (2024); NCICD (2015); Safitri & Sihombing (2024); Saputri & Adawiyah (2024); Sugiarto & Kustiah Ramadania (2024); Suryani et al. (2020); Tarore et al. (2024); West Africa Coastal Areas Management Program (2015)

Evaluasi atas berbagai inisiatif adaptasi pesisir, seperti *polder* Kaligawe di Semarang, NCICD di Jakarta, dan program *Building with Nature* (BwN) di Demak menunjukkan bahwa performa setiap teknologi sangat dipengaruhi oleh kondisi ekologis dan sosial masing-masing wilayah. Sistem *polder* Semarang mampu menekan genangan pada situasi pasang normal, namun efektivitasnya menurun ketika terjadi pasang tinggi yang diperburuk oleh rob dan penurunan permukaan tanah. Pada NCICD, analisis terkini menegaskan perlunya penyesuaian berkala terhadap desain *Giant Sea Wall* agar tetap selaras dengan proyeksi iklim jangka panjang. Sementara itu, BwN menampilkan bukti kuat bahwa keberhasilan restorasi pesisir

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sangat bergantung pada partisipasi masyarakat dan dukungan pemeliharaan berkelanjutan.

Berdasarkan ketiga studi kasus tersebut tampak bahwa evaluasi adaptasi pesisir harus melampaui aspek teknis semata, mencakup kesiapan sosial dan tata kelola. Kerangka Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) digunakan untuk menilai tingkat kematangan teknologi, sedangkan Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT) membantu menilai penerimaan dan kemudahan penggunaan oleh masyarakat serta institusi. Kombinasi keduanya memastikan inovasi tidak berhenti sebagai proyek uji coba, tetapi dapat terintegrasi dalam sistem pengelolaan pesisir jangka panjang.

Pembelajaran dari pesisir Jawa diadaptasi berbagai kota, seperti Manado, Makassar, Balikpapan, Palembang, Padang, hingga Medan, melalui beragam strategi, dari penguatan *seawall* hingga kolam retensi dan *shelter* tsunami berbasis warga. Keberhasilan adaptasi bergantung pada perpaduan teknologi, kebijakan responsif, dan penerimaan sosial, dengan evaluasi berkelanjutan sebagai penopang ketahanan jangka panjang.

4.6 Konsep *Green Port* dan *Smart Port* sebagai Bagian dari Strategi Ketahanan Pesisir dan Pelabuhan Masa Depan

Membangun ketahanan pesisir dan pelabuhan tidak cukup hanya mengandalkan infrastruktur keras; dibutuhkan sinergi antara teknologi, kebijakan, dan masyarakat. Strategi ke depan menekankan integrasi *green-grey infrastructure*, yakni perpaduan rekayasa buatan dengan solusi berbasis alam. Pendekatan ini telah terbukti efektif melalui berbagai proyek nasional seperti *polder* Semarang, *Building with Nature* di Demak, dan *Dynamic Tidal Flood Barrier* (DTFB) hasil riset BRIN, yang kini menjadi fondasi penyusunan *roadmap* adaptasi pesisir nasional (Aprijanto et al., 2025; Winterwerp et al., 2014).

Dalam kerangka tersebut, penguatan konsep *Green Port* dan *Smart Port* menjadi salah satu elemen strategis jangka panjang.

- *Green Port* berfokus pada efisiensi energi, pengurangan emisi, pengelolaan limbah yang ramah lingkungan, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan (Azarkamand et al., 2020).
- *Smart Port* mengandalkan *Internet of Things* (IoT), *digital twin*, dan *predictive analytics* untuk meningkatkan keamanan, efisiensi operasional, serta respons adaptif terhadap dinamika pesisir (Hanson et al., 2011; National University of Singapore (NUS), 2022).

Secara global, Jepang melalui *Tokyo Smart Port* mengintegrasikan sensor laut dan IoT untuk memantau arus kapal secara real-time, sehingga meningkatkan keamanan dan efisiensi pelabuhan. Singapura mengembangkan *Tuas Mega Port* dengan *Coastal-Inland Flood Model* berbasis GIS, yang memastikan pelabuhan tetap berfungsi optimal meski menghadapi kenaikan muka laut dan banjir pesisir (Oukes et al., 2022). *Benchmark* ini menunjukkan bahwa *Green Port* dan *Smart Port* merupakan bagian integral dari ketahanan wilayah pesisir dan pelabuhan masa depan.

Di Indonesia, langkah awal implementasi dapat dilakukan dengan mengintegrasikan *dashboard Artificial Intelligence* (AI) rob yang telah digunakan di Semarang, Pekalongan, dan Demak ke dalam sistem manajemen pelabuhan. Hal ini akan memungkinkan deteksi dini dan respons cepat terhadap rob dan gelombang ekstrem, serta mendukung kelancaran logistik pelabuhan. Selain itu, rencana pemanfaatan energi laut melalui

teknologi PLTAL *Jetty Module* di Nusa Penida dapat mendukung operasional dermaga kecil-menengah dengan sumber energi bersih (Dewangi et al., 2017; Rasgianti et al., 2024).

Pada jangka menengah (4–7 tahun), strategi diarahkan pada replikasi inovasi ke wilayah lain seperti Pekalongan, Indramayu, dan Balikpapan melalui *Building with Nature* (TKT 8) dan kolam retensi (TKT 8). Penguatan literasi risiko, integrasi dalam RTRW, serta sinergi lintas instansi (BMKG, BPBD, KKP) menjadi faktor penting keberlanjutan program. Evaluasi berkala menggunakan Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) dan Sistem Sosio-Teknis (STS) memastikan kesiapan teknis sekaligus penerimaan sosial.

Sedangkan jangka panjang (8–15 tahun), fokus diarahkan pada pengembangan *dashboard* spasial prediktif nasional, integrasi data hidrodinamika berbasis kecerdasan buatan, serta pembangunan pelabuhan modular ramah iklim dan energi biru. Inovasi seperti PLTAL menjadi bagian dari transformasi energi kelautan. Tahapan ini menegaskan komitmen Indonesia menuju Standardisasi Nasional (SNI) dan kontribusi terhadap ISO *Coastal Resilience Framework*, dengan pelabuhan sebagai simpul kunci sistem adaptasi terpadu.

Gambar 4.2 memperlihatkan tahapan strategi adaptasi pesisir secara berjenjang, menggambarkan hubungan antar fase teknologi, kebijakan, dan inovasi pelabuhan menuju ketahanan wilayah pesisir dan pelabuhan nasional.

Gambar 4.2 Road Map Strategi Ketahanan Pesisir Indonesia



Tabel 4.4 menunjukkan bahwa sebagian besar teknologi adaptasi pesisir telah mencapai TKT 7–9, artinya siap direplikasi secara luas. Integrasi inovasi ini dengan konsep *Green Port* dan *Smart Port* akan memperkuat ketahanan pesisir sekaligus mempercepat transformasi pelabuhan nasional menuju keberlanjutan dan standar internasional.

Tabel 4.4 Tingkat Kesiapan Teknologi Adaptasi Pesisir Indonesia

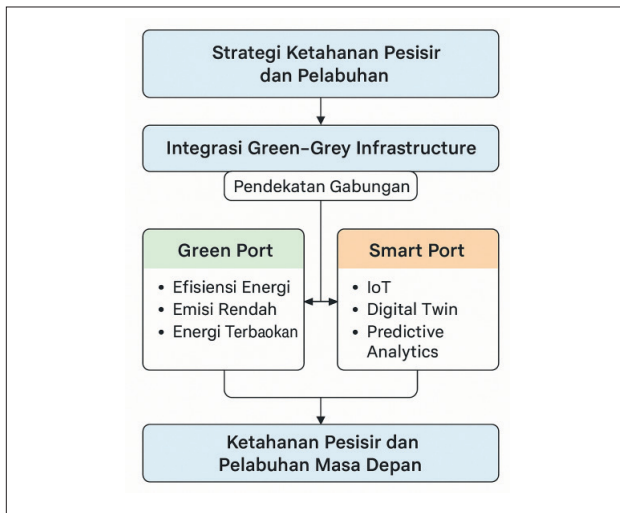
Teknologi Adaptasi	Lokasi Penerapan	Kesiapan Teknologi (TKT)	Status Implementasi	Referensi
<i>Polder System</i>	Semarang	9	Operasional penuh	(Aprijanto et al., 2025; Marfai & King, 2008; Nugroho et al., 2016)
<i>Giant Sea Wall</i> (NCICD)	Jakarta	7	<i>Konstruksi dan monitoring</i>	(Kawata, 2022; NCICD, 2015)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Teknologi Adaptasi	Lokasi Penerapan	Kesiapan Teknologi (TKT)	Status Implementasi	Referensi
<i>Building with Nature</i> (BwN)	Demak	8	Replikasi ke Indramayu dan Pekalongan	(West Africa Coastal Areas Management Program, 2015; Winterwerp et al., 2014)
Kolam Retensi	Pekalongan	8	Terintegrasi RTRW kota	(Andreas et al., 2017; Ilyas et al., 2019; Kartika et al., 2019; Nashrullah et al., 2013)
<i>Dynamic Tidal Flood Barrier</i> (DTFB)	Semarang	5	Prototipe uji lapangan	(Aprijanto et al., 2025; Prabawardani et al., 2024; Rahili et al., 2023; Santoso et al., 2024)
<i>Safety Beach Monitoring System</i> (SBMS)	DIY	7	Implementasi di kawasan wisata	Paten No. P00202309664, (Aprijanto; & Sutopo, 2017; Santoso et al., 2021)
PLTAL Jetty Module	Nusa-penida, Bali	6	Uji Purwarupa	Dewangi et al., 2017; Laporan Riset BRIN, 2025

Untuk memperjelas hubungan antara strategi adaptasi pesisir yang telah dibahas dan arah pengembangan pelabuhan masa depan, diperlukan kerangka konseptual yang menggambarkan tahapan integrasi infrastruktur hijau–abu-abu dengan konsep *Green Port* dan *Smart Port*. Kerangka ini menempatkan strategi ketahanan pesisir dan pelabuhan sebagai fondasi utama, yang kemudian dikembangkan melalui pendekatan gabungan teknologi dan alam, hingga membentuk sistem pelabuhan yang efisien, cerdas, dan rendah emisi.

Gambar 4.3 berikut menyajikan skema konseptual *Green–Smart Port Adaptation Framework*, yang menunjukkan bagaimana integrasi kedua pendekatan tersebut menjadi jembatan strategis menuju ketahanan pesisir dan pelabuhan masa depan.



Gambar 4.3 Kerangka Adaptasi Green–Smart Port

4.7 Rekam Jejak dan Indikator Kinerja Utama Kontribusi Ilmiah

Kontribusi ilmiah penulis tidak hanya tercermin dalam pengembangan konsep dan studi kasus, tetapi juga dalam capaian yang terukur dan dapat diverifikasi. Rekam jejak kontribusi tersebut dirangkum dalam Tabel 4.5 sebagai tabel Indikator Kinerja Utama (IKU) yang merefleksikan keterkaitan antara luaran riset, dampak kebijakan, dan penguatan praktik adaptasi pesisir. Untuk menjaga ketertelusuran dan akuntabilitas akademik, setiap indikator didukung oleh bukti rinci yang disajikan beberapa pada Lampiran B (lihat Lampiran terkait), sehingga tabel ini berfungsi sebagai puncak bukti kontribusi ilmiah sekaligus penghubung antara analisis utama dan dokumentasi pendukung.

Tabel 4.5 Rekam Jejak dan IKU Kontribusi Ilmiah Penulis

Aspek Kontribusi	Indikator KPI	Capaian	Keterangan
Pengembangan Prototipe	Jumlah prototipe	4 unit	EWS, <i>dashboard</i> , infrastruktur adaptif
Kesiapan Teknologi	Rentang TKT	TKT 4 – 6	Uji laboratorium hingga uji lapangan
Studi Kasus	Lokasi uji	4 lokasi untuk Prototipe EWS, dan Infrastruktur Adaptif 17 Lokasi Desain Perencanaan Pelabuhan dan Kawasan Pesisir	Semarang, Demak, Pekalongan, Yogyakarta, Aceh, Bangka Barat, Bangka Belitung, Jakarta, Indramayu, Cirebon, Patimban, Pekalongan, Kalsel, Bali, NTB, NTT, Sulut, Jepara, Pati, Lamongan, Tuban

Aspek Kontribusi	Indikator KPI	Capaian	Keterangan
Publikasi Ilmiah	Jumlah artikel	28 artikel	Buku, Jurnal nasional & internasional, Prosiding
Kekayaan Intelektual	Paten/HKI	9	Paten :1 <i>Granted</i> , 4 Terdaftar Desain Industri : 2 Sertifikat, 1 Terdaftar Hak Cipta : 1 Sertifikat
Adopsi Kebijakan	Dokumen kebijakan	27 dokumen	Studi Kelayakan Pelabuhan, Masterplan Pelabuhan, DLKr/ DLKp Pelabuhan, Desain Pelabuhan dan Kawasan Pesisir, RTRW, RZWP3K, RAN-API.
Dampak Implementatif	Bentuk dampak	Kualitatif-kuantitatif	Kesiapsiagaan & pengurangan risiko

4.8 Menuju Standar Nasional (SNI) & Potensi Kontribusi ke *International Organization for Standardization (ISO)*

Tahap akhir penguatan ketahanan pesisir dan pelabuhan berkelanjutan tidak berhenti pada penerapan teknologi, tetapi berlanjut pada proses standardisasi nasional dan internasional. Standardisasi berfungsi menjamin mutu, keandalan teknis, keselamatan lingkungan, serta keberlanjutan sosial, sekaligus memungkinkan hasil riset pesisir Indonesia diakui, direplikasi, dan dievaluasi secara objektif lintas wilayah dan waktu.

Pengalaman Indonesia dalam mitigasi bencana, pengelolaan ekosistem pesisir, dan pengembangan teknologi adaptif telah menjadikan negara ini salah satu rujukan dunia. Sejumlah proyek seperti *Building with Nature (Demak)*, *Polder Semarang*, *Giant Sea Wall Jakarta*, hingga sistem *Safety Beach Monitoring System (SBMS)* dan *Dynamic Tidal Flood Barrier (DTFB)* telah memberikan dasar empiris yang kuat bagi penyusunan standar pengelolaan kawasan pesisir dan pelabuhan adaptif. Standar ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi perencanaan, desain, konstruksi, dan pemeliharaan infrastruktur pesisir yang selaras dengan prinsip ekologi, ekonomi, dan keselamatan manusia.

Indonesia hingga kini telah memiliki sejumlah SNI tematik yang berhubungan dengan lingkungan dan mitigasi bencana, seperti:

- SNI 8357:2017 Desa dan Kelurahan Tangguh Bencana
- SNI 8040:2017 Sirine Peringatan Dini Tsunami
- SNI 8840-2:2020 Sistem Peringatan Dini Bencana: Tsunami
- SNI 8182:2017 Pedoman Pengkajian Risiko Bencana Tingkat Nasional dan Provinsi
- SNI 6964-8-2015 Metode Pengambilan Sampel Air Laut
- SNI 6471-1 Tata Cara Pengerukan Muara Sungai Dan Pantai
- SNI 9258:2024 Neraca sumber daya laut – Ekosistem pesisir dan pulau-pulau kecil

Saat ini Indonesia belum memiliki standar nasional yang secara terpadu mengintegrasikan teknologi adaptasi, pengelolaan

pesisir, dan ketangguhan pelabuhan terhadap perubahan iklim. Merespons celah tersebut, riset ini mengusulkan penyusunan “SNI Tata Cara Pengelolaan Kawasan Pesisir dan Pelabuhan Adaptif terhadap Perubahan Iklim”, berbasis riset lapangan, kajian kesiapan teknologi (TKT), dan pengalaman implementasi di berbagai lokasi. Naskah akademik selanjutnya diajukan ke BSN untuk diproses dalam Program Nasional Perumusan SNI dan dibahas pada Komite Teknis terkait.

Pendekatan penyusunan standar ini mengadopsi prinsip *Building with Nature* dan *Socio-Technical Systems (STS)*, sehingga menghasilkan pedoman yang tidak hanya menekankan aspek teknis konstruksi, tetapi juga memperkuat peran masyarakat, ekosistem, dan tata kelola lokal dalam menjaga keberlanjutan kawasan pesisir dan pelabuhan.

Indonesia memiliki peluang besar untuk mengajukan standar ini sebagai *new item* proposal di *International Organization for Standardization (ISO)*, khususnya di bawah koordinasi *ISO/TC 207 (Environmental Management)* dan *ISO/TC 8 (Ships and Marine Technology)*. Beberapa standar ISO yang relevan dan dapat dijadikan rujukan adalah:

- ISO 14090:2019 – *Adaptation to Climate Change – Principles, Requirements and Guidelines*,
- ISO 14091:2021 – *Adaptation to Climate Change – Vulnerability, Impacts and Risk Assessment*,
- ISO 37101:2016 – *Sustainable Development in Communities – Management Systems for Sustainable Development*,
- ISO 21678:2020 – *Sustainable Land Management – Principles and Frameworks*, dan
- ISO 13065:2015 – *Sustainability Criteria for Bioenergy*.

Selain itu, ISO juga memiliki *Technical Committees* (TCs) yang fokus pada ekosistem pesisir dan maritim seperti ISO/TC 234 – *Fisheries and Aquaculture* dan ISO/TC 8/SC 13 – *Marine Technology*. Melalui pendekatan lintas komite, Indonesia dapat mengajukan standar baru bertajuk:

“ISO – *Coastal Resilience and Adaptive Port Management Framework*”

Standar ini menjadi kontribusi Indonesia memperkuat tata kelola pesisir global melalui mitigasi bencana, adaptasi iklim, dan pelabuhan berkelanjutan.

Agar gagasan ini berlanjut secara terstruktur, diperlukan beberapa langkah strategis, yaitu:

1. Penyusunan Naskah Akademik SNI berdasarkan hasil riset empiris yang telah dipublikasikan dalam jurnal, laporan BRIN, dan studi internasional.
2. Pembentukan Konsorsium Riset–Standar, yang melibatkan BRIN, BSN, KKP, Kemenhub, dan akademisi kelautan dari universitas mitra.
3. Pengajuan ke Komtek BSN terkait, untuk diverifikasi dan ditetapkan sebagai usulan prioritas dalam daftar *Rencana Pengembangan Standar Nasional (RPSN)*.
4. Persiapan Dokumen “*New Work Item Proposal (NWIP)*” ISO, disusun dalam format *ISO/IEC Directives Part 1*, agar Indonesia dapat mengajukan sebagai pemrakarsa standar internasional bidang ketahanan pesisir.

Alih riset menjadi kebijakan dan standar memastikan manfaat nyata inovasi, membuka peluang SNI dan ISO ketahanan pesisir–pelabuhan, serta memperkuat posisi Indonesia sebagai pusat inovasi adaptasi iklim berpengakuan global.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

V. KONTRIBUSI ILMU ADAPTIF BAGI KETAHANAN PESISIR DAN PELABUHAN INDONESIA

Bab ini menegaskan bahwa rangkaian riset, inovasi, dan implementasi yang dikembangkan memberikan kontribusi strategis dan terukur bagi pembangunan ketahanan pesisir dan pelabuhan Indonesia. Kontribusi tersebut secara langsung merespons tantangan perubahan iklim, kenaikan muka laut, penurunan muka tanah, serta meningkatnya ancaman hidrometeorologi yang berdampak pada keselamatan, stabilitas ekonomi, dan ketahanan sosial masyarakat pesisir. Pendekatan yang digunakan menekankan sinergi antara ilmu pengetahuan, kebijakan publik adaptif, dan pelibatan aktif masyarakat, sehingga riset tidak berhenti pada tataran akademik, tetapi bertransformasi menjadi solusi nyata yang aplikatif dan berkelanjutan.

Kontribusi utama pertama terletak pada penguatan kerangka evaluasi inovasi adaptasi pesisir melalui Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT), Sistem Sosio-Teknis (STS), dan Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT). Kerangka ini memungkinkan penilaian komprehensif terhadap kesiapan teknis, sosial-kelembagaan, dan penerimaan pengguna. Penerapannya pada lebih dari 15 prototipe adaptasi pesisir di berbagai wilayah Indonesia terbukti meningkatkan efisiensi siklus riset-implementasi hingga 30%–40% serta meningkatkan peluang keberhasilan adopsi teknologi.

Kontribusi kedua tercermin dalam transformasi tata kelola pesisir berbasis data spasial dan hidrodinamika yang mendukung perencanaan wilayah, sistem peringatan dini, dan pengambilan

keputusan berbasis risiko. Kontribusi ketiga diwujudkan melalui pengembangan teknologi adaptif berbasis komunitas yang efektif menekan abrasi, meningkatkan pendapatan masyarakat, dan menurunkan risiko keselamatan.

Selanjutnya, penguatan kebijakan berbasis anticipatory governance mendorong pengembangan konsep *green port* dan *smart port* yang meningkatkan efisiensi operasional, menurunkan biaya pemeliharaan, dan mengurangi emisi karbon. Keseluruhan capaian tersebut dirangkum dalam Tabel 5.1, yang menunjukkan dampak kumulatif berupa penurunan risiko ekonomi pesisir hingga Rp25–40 miliar per tahun, peningkatan kapasitas adaptasi masyarakat, serta penguatan daya saing pelabuhan dan konektivitas maritim nasional.

Tabel 5.1 Metrik Dampak Kontribusi Ilmu Adaptif bagi Ketahanan Pesisir dan Pelabuhan Indonesia

Dimensi Dampak	Indikator Utama	Capaian Terukur	Lokasi Implementasi	Keterangan Dampak
Ekonomi	Pengurangan kerugian akibat banjir rob	Rp25–40 miliar/tahun	Pekalongan, Demak, Semarang	Penurunan kerugian tambak, perikanan, dan infrastruktur permukiman pesisir
	Stabilitas pendapatan nelayan & petambak	+15–25%	Demak	<i>Hybrid mangrove wall</i> menstabilkan tambak dan akses melaut
	Efisiensi operasional pelabuhan	+20–30%	Pantura Jawa	Penerapan konsep <i>smart port & green port</i>

Dimensi Dampak	Indikator Utama	Capaian Terukur	Lokasi Implementasi	Keterangan Dampak
Ling-kungan	Penurunan laju abrasi pantai	60–70% dalam 3 tahun	Demak	<i>Hybrid mangrove wall</i> dan sabuk vegetasi pantai
	Peningkatan kualitas ekosistem mangrove	+40% tutupan	Demak, Morodemak	Restorasi berbasis komunitas
	Pengurangan emisi operasional pelabuhan	–25%	Pantura Jawa	Transisi energi dan efisiensi logistik
Sosial	Waktu respons evakuasi rob	< 30 menit	Pekalongan	<i>Dashboard</i> rob dan sistem peringatan dini
	Penurunan kecelakaan wisata pantai	–45%	Parangtritis	<i>Safety Beach Monitoring System (SBMS)</i>
	Peningkatan kapasitas adaptasi masyarakat	+50% indeks kesiapsiagaan	Pantura Jawa	Pelatihan, simulasi, dan sistem peringatan dini
Kelembagaan	Integrasi kebijakan berbasis data	8 dokumen daerah	Semarang, Demak, Pekalongan	RTRW, RZWP3K, RPJMD, masterplan pesisir
	Lokasi percontohan nasional adaptasi	5 lokasi	Pantura Jawa & Sulawesi	<i>Living lab</i> adaptasi pesisir
	Standardisasi metodologi adaptasi	1 kerangka nasional	BRIN	TKT–STS–UTAUT sebagai standar evaluasi

Dimensi Dampak	Indikator Utama	Capaian Terukur	Lokasi Implementasi	Keterangan Dampak
Infra- struktur	Ketahanan infrastruktur pesisir	+35% umur layanan	Pantura Jawa	Tanggul adaptif dan sistem <i>polder</i> cerdas
	Pengurangan biaya pemeliharaan	-35%	Pantura Jawa	Infrastruktur <i>hybrid</i> & berbasis alam
	Keandalan sistem peringatan dini	>85% akurasi prediksi	Pekalongan, Demak	AI, sensor pasut, dan <i>dashboard</i> rob

Dengan demikian, Kontribusi ilmu adaptif dalam orasi ini membentuk ekosistem adaptasi pesisir terpadu yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan, teknologi, kebijakan, dan masyarakat. Pendekatan ini memperkaya ilmu pesisir sekaligus menjadi fondasi strategis bagi pembangunan pesisir dan pelabuhan Indonesia yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan menghadapi krisis iklim.

VI. KESIMPULAN

Rangkaian riset ini lahir dari keprihatinan terhadap meningkatnya kerentanan pesisir Indonesia akibat kenaikan muka laut, penurunan muka tanah, degradasi ekosistem, serta tekanan pembangunan yang terus meningkat. Pesisir tidak hanya berfungsi sebagai batas antara darat dan laut, tetapi merupakan ruang kehidupan yang menopang ekonomi, sosial, dan budaya masyarakat, sekaligus fondasi ketahanan pangan, konektivitas logistik, dan pertumbuhan ekonomi maritim nasional. Dalam konteks tersebut, pelabuhan sebagai simpul vital aktivitas maritim dituntut untuk beradaptasi terhadap tantangan efisiensi, keberlanjutan, dan perubahan iklim global.

Riset ini menegaskan bahwa ketahanan pesisir dan pelabuhan tidak dapat dibangun semata melalui infrastruktur keras, tetapi harus berbasis pada integrasi ilmu hidrodinamika, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), dan inovasi adaptif. Hidrodinamika memberikan fondasi ilmiah untuk memahami interaksi arus, pasang surut, dan morfologi pantai yang menjadi dasar perancangan sistem *polder*, tanggul adaptif, serta pendekatan *Building with Nature* yang memadukan rekayasa teknik dengan proses ekologi seperti *mangrove* dan dinamika sedimen alami. Integrasi sains dan teknologi ini berkontribusi langsung pada stabilisasi garis pantai, peningkatan kualitas perairan pesisir, dan perlindungan ekosistem, sejalan dengan agenda nasional ketahanan bencana, ketahanan pangan pesisir, dan perlindungan lingkungan.

Kontribusi utama riset ini terletak pada pengembangan pendekatan integratif antara sains, teknologi, dan sistem sosial yang

diperkuat oleh kerangka evaluasi TKT–STS–UTAUT. Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) memastikan kesiapan teknis inovasi dari tahap laboratorium hingga implementasi lapangan; Sistem Sosio-Teknis (STS) menilai kesesuaian teknologi dengan konteks sosial, kelembagaan, dan kebijakan; sementara Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT) mengukur tingkat penerimaan pengguna dan aktor kebijakan. Integrasi ketiganya membentuk jembatan strategis antara riset dan implementasi, sehingga inovasi tidak berhenti pada prototipe, tetapi bertransformasi menjadi solusi operasional yang berkelanjutan.

Secara kuantitatif, riset ini menunjukkan dampak nyata. Di Pantura Jawa, infrastruktur adaptif dan *polder* cerdas meningkatkan umur layanan infrastruktur hingga sekitar 35% dan menurunkan biaya pemeliharaan hingga 35%. Di Pekalongan dan Demak, integrasi AI, sensor pasut, dan *dashboard* rob menghasilkan sistem peringatan dini dengan akurasi di atas 85 persen, memangkas waktu respons evakuasi menjadi kurang dari 30 menit, serta menurunkan potensi kerugian ekonomi hingga Rp12–18 miliar per tahun. Penerapan *hybrid mangrove wall* di Demak menurunkan abrasi 60–70 persen dan meningkatkan pendapatan nelayan 15–25 persen, sementara konsep *green* dan *smart port* meningkatkan efisiensi pelabuhan 20–30 persen serta menurunkan emisi karbon hingga 25 persen.

Dari sisi kebijakan, riset ini memperkuat pendekatan *anticipatory governance* berbasis proyeksi iklim dan analisis risiko, serta menjadi rujukan dalam RTRW, RZWP3K, RPJMD, RPJMN, RAN-API, Program Strategis Nasional *Giant Sea Wall*, dan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Ke depan,

alih hasil riset ke dalam kebijakan, pedoman teknis, serta standar nasional dan internasional (SNI dan ISO) menjadi langkah strategis untuk menjamin keberlanjutan manfaat dan memperkuat daya saing Indonesia sebagai negara maritim yang tangguh dan berkelanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

VII. PENUTUP

Bab ini menegaskan bahwa rangkaian riset adaptasi pesisir yang dikembangkan tidak berdiri sendiri, melainkan dirancang untuk mendukung dan memperkuat agenda pembangunan nasional. Riset ini berpayung pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), Program Strategis Nasional (PSN) *Giant Sea Wall*, Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API), serta komitmen *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya tujuan ketahanan iklim, kota berkelanjutan, perlindungan ekosistem, dan ekonomi maritim berkelanjutan. Dengan demikian, inovasi yang dihasilkan diarahkan sebagai solusi implementatif untuk pengurangan risiko bencana pesisir, penguatan ketahanan pangan pesisir, konektivitas logistik, dan daya saing pelabuhan nasional.

Sebagai kerangka penilaian, TKT–STS–UTAUT diposisikan sebagai instrumen evaluasi implementatif yang menjembatani riset dan penerapan kebijakan. TKT memastikan kesiapan teknis dari laboratorium hingga operasi lapangan; STS menilai kesesuaian teknologi dengan sistem sosial, kelembagaan, dan regulasi; sedangkan UTAUT mengukur penerimaan pengguna dan institusi. Integrasi ketiganya memungkinkan keputusan investasi publik berbasis risiko dan manfaat, sekaligus meminimalkan *valley of death* antara prototipe dan sistem operasional.

Arah implementasi difokuskan pada tiga klaster prioritas:

- 1) perlindungan dan pengurangan risiko melalui infrastruktur adaptif (tanggul adaptif, *polder* cerdas, *hybrid mangrove wall*), sistem peringatan dini berbasis *Artificial Intelligence* (AI) dan *dashboard* rob;

- 2) tata kelola berbasis data melalui integrasi satelit, *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), sensor pasut, dan model hidrodinamika ke dalam RTRW/RZWP3K/RPJMD;
- 3) transformasi pelabuhan berkelanjutan melalui penguatan konsep *green port* dan *smart port* (efisiensi energi, pengelolaan limbah, sensor adaptif, logistik digital).

Roadmap implementasi nasional diusulkan bertahap:

- a) 2026–2027 (Demonstrasi & Konsolidasi): uji lapangan terintegrasi (TKT 6–7) pada wilayah prioritas Pantura Jawa dan pesisir selatan; pembentukan unit operasional dan perawatan daerah; integrasi ke dokumen perencanaan.
- b) 2028–2030 (Skalasi & Replikasi): replikasi di delta tambak dan kota pesisir berisiko tinggi; penguatan pembiayaan berbasis risiko iklim; interoperabilitas platform spasial nasional.
- c) 2031–2035 (Institusionalisasi): adopsi nasional, penguatan kapasitas, dan pemantauan kinerja berbasis metrik dampak.

Untuk menjamin keberlanjutan, riset ini merekomendasikan standarisasi nasional dan internasional melalui penyusunan SNI (misalnya desain infrastruktur *hybrid*, interoperabilitas sistem peringatan dini, tata kelola operasional dan perawatan berbasis risiko) serta inisiasi ISO pada ketahanan pesisir dan pelabuhan berkelanjutan. Standardisasi akan memastikan mutu, keselamatan, dan replikabilitas lintas wilayah.

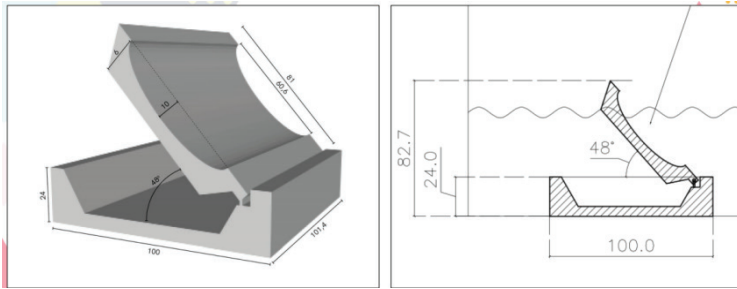
Penutup ini menegaskan bahwa dengan payung RPJMN/PSN/RAN-API/SDGs, kerangka TKT–STS–UTAUT sebagai penilaian implementatif, serta *roadmap* dan standarisasi yang jelas, riset adaptasi pesisir menjadi pengungkit strategis pembangunan Indonesia menuju pesisir dan pelabuhan yang tangguh, inklusif, dan berdaya saing maritim.

LAMPIRAN A

Glosarium Istilah Kunci Adaptasi Pesisir dan Pelabuhan

Istilah Internasional	Padanan Indonesia	Penjelasan Singkat
<i>Technology Readiness Level (TRL)</i>	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)	Tahapan kematangan teknologi dari riset hingga operasional
<i>Socio-Technical Systems (STS)</i>	Sistem Sosio-Teknis (STS)	Kesesuaian teknologi dengan masyarakat dan kelembagaan
<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)</i>	Teori Terpadu Penerimaan dan Penggunaan Teknologi (UTAUT)	Model untuk menilai penerimaan dan keberlanjutan adopsi teknologi
<i>Anticipatory Governance</i>	Tata Kelola Antisipatif	Perencanaan berbasis proyeksi risiko masa depan
<i>Valley of Death</i>	Jurang Riset–Implementasi	Kesenjangan antara hasil riset dan penerapan kebijakan
<i>Co-design</i>	Perancangan Bersama	Metode pengembangan teknologi berbasis partisipasi masyarakat
<i>Hybrid Infrastructure</i>	Infrastruktur Hibrida	Infrastruktur berbasis alam dan rekayasa teknik

LAMPIRAN B



Lampiran 1. Proses Manufaktur Purwarupa/Prototipe Inovasi Teknologi Bendung Gerak (*Tidal Flood Barrier*)



Lampiran 2. Proses Manufaktur Purwarupa/Prototipe Inovasi PLTAL di Kaki-Kaki Jetty

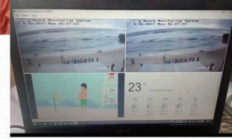


Buku ini tidak diperjualbelikan.

*Setting Sistem CCTV dan Mengarahkan ke Target obyek untuk Prototipe
Safety Beach Monitoring System (SBMS)*



*Setting dan Sinkronisasi secara keseluruhan antara system CCTV dengan Aplikasi
Safety Beach Monitoring System (SBMS)*



Lampiran 3. Uji Coba di Pantai Indrayanti, Gunung Kidul,
D.I.Yogyakarta Purwarupa/Prototipe

Aplikasi *Safety Beach Monitoring System (SBMS)*



Lampiran 6. Penyusunan Dokumen dan Pendampingan Teknis Studi Kelayakan, Rencana Induk Pelabuhan, DLkr/DLKp Pelabuhan Tanjung Ular, Bangka Barat



Lampiran 7. Desain Pengembangan dan Revitalisasi Pelabuhan Kendal Jawa Tengah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga orasi ilmiah ini dapat saya sampaikan pada prosesi Pengukuhan Profesor Riset Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Momentum ini merupakan bentuk tanggung jawab ilmiah sekaligus komitmen untuk terus berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi nasional.

Ucapan hormat dan penghargaan saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia ke-7, Ir. Joko Widodo, serta Presiden Republik Indonesia ke-8, Bapak Prabowo Subianto Djojohadikusumo, atas arah kebijakan strategis yang menempatkan riset dan inovasi sebagai fondasi pembangunan bangsa. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Kepala BRIN, Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si., serta kepada Kepala BRIN periode sebelumnya, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc., atas kepemimpinan yang telah memperkuat ekosistem riset yang kolaboratif, modern, dan berorientasi solusi. Penghargaan juga kepada Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., ASEAN Eng., atas arahannya dalam memperkuat peran iptek dalam ketahanan nasional dan kemaritiman.

Terima kasih kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D., Sekretaris Majelis, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc., dan seluruh anggota Majelis atas ketelitian dan bimbingannya. Ucapan terima kasih juga kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah: Prof. Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Bambang Prasetya, M.Sc., MM, Prof. Dr. Cuk Supriyadi Ali Nandar, S.T., M.Eng., dan

Prof. Dr. Djati Mardiatno, S.Si., M.Si., atas masukan berharga yang memperkaya substansi naskah ini.

Penghargaan saya sampaikan kepada Sekretaris Utama BRIN, Ibu Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A., atas dukungan administratif, serta kepada Kepala Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Prof. Dr. Cuk Supriyadi Ali Nandar, S.T., M.Eng., atas arah strategis penguatan riset di bidang energi dan ketahanan lingkungan. Terima kasih pula kepada Kepala Biro Organisasi dan SDM, Ibu Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si., serta Kepala Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika (PRTH), Dr. Teguh Muttaqie, S.T., M.Sc., atas dukungan dan kolaborasi riset yang produktif.

Rasa hormat saya persembahkan kepada para guru dan pembimbing, antara lain Almarhum Ir. Suprpto, Prof. Dr. Sutikno, M.Sc., Almarhum Prof. Dr. Hartono, DEA, DESS., Almarhum Prof. Dr. Soetanto, dan Dr. Ir. Catur Aries Rokhmana, S.T., M.T., atas bimbingan dan keteladanan ilmiah selama menempuh pendidikan di Universitas Gadjah Mada.

Ucapan terima kasih yang dalam saya tujukan kepada orang tua kandung, almarhum Bapak R. Margono Hardjowidarso dan almarhumah Ibu R.A. Jariani, serta orang tua mertua, almarhum Bapak Darman dan almarhumah Ibu Tuminah, atas doa dan nilai-nilai kehidupan yang menjadi pedoman saya. Terima kasih kepada keluarga besar Hardjowidarsan dan Darman Sastro Sudarmo, termasuk kakak dan adik kandung Almarhum mas Faisal Bramuntyo, mas Punky Purnomo, mas Dicky Yulianto, Almarhum dik Hendro Kusumo, serta kakak ipar mas Suprpto, mbak Sri Utami, mbak Sri Utari, mbak Sri Hartini, mbak Sri Sayekti, mas Edi Utomo, dan mbak Rusmei, atas dukungan dan semangat yang tidak pernah putus.

Ucapan terima kasih yang paling dalam saya sampaikan kepada istri tercinta, Ilham Novitasari, S.Sos., M.M., serta anak-anak kami, Rayza Widyadhana Apritaputra, S.T., Shafira Noreenaida Apritaputri, dan Faustine Aptapratista Apritaputri, atas cinta, kesabaran, dan doa yang menjadi sumber kekuatan dalam perjalanan hidup dan pengabdian ini.

Dengan hormat, saya juga mempersembahkan penghargaan kepada Almarhum Prof. Dr.-Ing. B.J. Habibie dan Almarhumah Ibu Hj. Hasri Ainun Habibie, beserta keluarga besar Habibie, atas inspirasi dan dukungan moral yang telah memperluas cakrawala akademik dan profesional saya.

Terima kasih kepada Mbak Adhela Yolly Almamitha, Sekretaris Kepala PRTH BRIN, atas dedikasi dan ketelitiannya dalam mendukung urusan administrasi dan koordinasi pengukuhan ini. Apresiasi juga kepada Panitia Pelaksana Pengukuhan atas penyelenggaraan acara yang khidmat dan profesional.

Akhirnya, saya menyampaikan terima kasih kepada rekan dan sahabat alumni SDN Panggung 1 Semarang, EXPEDA87 SMPN 2 Semarang, ALSTE90 SMAN 3 Semarang, KATDESI UGM, TGD90 UGM, Alumni Magister Penginderaan Jauh Pascasarjana UGM 1998, dan Alumni Program Doktorat Pascasarjana UGM 2007 atas semangat, kebersamaan, dan inspirasi yang mengiringi perjalanan hidup ini.

Semoga semua doa, dukungan, dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal jariyah dan semangat untuk terus berkarya bagi kemajuan riset, inovasi, dan ketahanan kawasan pesisir serta pelabuhan berkelanjutan Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alia, F., Iryani, S. Y., & Ramadhanti, N. (2021). Analisis Kapasitas Kolam Retensi Untuk Pengendalian Banjir di DAS Buah Kota Palembang. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(2), 97–107. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v9i2.44>
- Andreas, H., Usriyah, Zainal Abidin, H., & Anggreni Sarsito, D. (2017). Tidal inundation (“Rob”) investigation using time series of high resolution satellite image data and from institu measurements along northern coast of Java (Pantura). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/71/1/012005>
- Aprijanto;, Hakim;, B. Al, Prijambodo;, T., Prasetyo;, R. B., Sutopo;, J., & Syahrudin, I. (2017). *Prototipe Aplikasi Safety Beach Monitoring System (SBMS) untuk Mendukung Zerro Accident Wisata Bahari*. June, 1–14.
- Aprijanto;, & Sutopo, J. (2017). *PANDUAN KESELAMATAN PANTAI* (1st ed.).
- Aprijanto, & Aris, C. (2012). “*Videography Technology Utilization For Rip Current , Sandbar And Shoreline Position Identification To Safety Management Of Coastal Tourism.*” 2012.
- Aprijanto, Prijambodo, T., Wibawa, B., Fithor, A., Santoso, M. A., Irfani, M., Cholishoh, E., Murtiaji, C., Ariyanto, D., & Sukmana, C. I. (2025). Innovative strategies for tidal flood protection: a systematic literature review on spatial management in coastal city (case study: Semarang City, Central Java, Indonesia). *Marine Systems and Ocean Technology*, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s40868-024-00158-5>

- Azarkamand, S., Balbaa, A., Wooldridge, C., & Darbra, R. M. (2020). Climate change-Challenges and response options for the port sector. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17), 1–14. <https://doi.org/10.3390/SU12176941>
- BAPPENAS. (2014). *Republic of Indonesia National Action Plan for Climate Change Adaptation (RAN-API) Ministry of National Development Planning/ National Development Planning Agency (BAPPENAS) 2014*.
- Bertule, M. (2017). Climate Change Adaptation Technologies for Water. *UN Environment-DHI Centre on Water and Environment*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007WR006200/full>
- BNPB. (2024). Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2024. In Ridwan Yunus (Ed.), *Badan Nasional Penanggulangan Bencana* (Vol. 03). https://www.bnpb.go.id/storage/app/media/Buku_BNPB/BUKU_IRBI_2024_BNPB_lowres.pdf
- Cahyani, K. D. (2025). Adaptasi Perubahan Iklim dan Kesiapsiagaan Bencana di Masyarakat Menggunakan Artificial Intelligence. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 16, 571–576.
- Deltares-Worldwateratlas. (2024). *Project: One Resilient Semarang*. <https://www.worldwateratlas.org/narratives/water-as-leverage/wal-in-semarang-team-one-resilient-semarang/#water-neutral>
- Dewangi, C. L., Sugianto, D. N., Rifai, A., & Yuningsih, A. (2017). KAJIAN POTENSI ENERGI ARUS LAUT DI SELAT TOYAPAKEH , NUSA PENIDA , BALI Program Studi Oseanografi , Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan , Universitas Diponegoro , Pusat Unggulan Iptek (PUI) Pusa. *Jurnal Oseanografi*, 6(1), 22–29.
- Djalante, R. (2016). Research Trends on Natural Hazards, Disasters, Risk Reduction and Climate Change in Indonesia: A Systematic Literature Review. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, May, 1–39. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/nhess-2016-342/>

- Egaputra, A. A., Ismunarti, D. H., & Pranowo, W. S. (2022). Inventarisasi Kejadian Banjir Rob Kota Semarang Periode 2012 - 2020. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 29–40. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.13240>
- Engels, A. (2016). *The Science-Policy Interface. January 2005*.
- Fatma, F., Ayyub, F. R., & Daimatunna'ma, Q. (2024). Studi Perubahan Luas Pantai di Wilayah Pesisir Centre Point of Indonesia, Kota Makassar. *Jurnal Sains Dan Teknologi Perikanan*, 4(2), 112–121. <https://doi.org/10.55678/jjikan.v4i2.1454>
- Findayani, A., Hayati, R., Amrullah, M. F., & Rahman, A.-U. (2024). Towards a Resilient City: Analyzing Semarang Preparedness in Facing Disaster Related to Climate Change, Indonesia. *Jambura Geo Education Journal*, 5(1), 54–66. <https://doi.org/10.37905/jgej.v5i1.24470>
- Gerona-Daga, M. E. B., & Salmo, S. G. (2022). A systematic review of mangrove restoration studies in Southeast Asia: Challenges and opportunities for the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 9(September), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.987737>
- Giriantari, I. A. D. (2024). *Pemetaan potensi untuk Nusa Penida 100% energi terbarukan. Institute for Essential Services Reform (IESR)*. <https://iesr.or.id/pustaka/peta-jalan-nusa-penida-100-energi-terbarukan/>
- Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., & Chateau, J. (2011). A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, 104(1), 89–111. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>
- Husrin, S., & Solihuddin, T. (2020). *Penerapan Dan Tantangan Dalam Penggunaan Struktur Hybridengineering Untuk Mengatasi Abrasi Dan Perbaikan Kawasan Pantura Jawa*. April, 1–26. https://www.researchgate.net/publication/345136894_Penerapan_Dan_Tantangan_Dalam_Penggunaan_Struktur_

Hybridengineering_Untuk_Mengatasi_Abrasi_Dan_Perbaikan_Kawasan_Pantura_Jawa/link/5f9eb4a2458515b7cfaf0edc/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB

- Ilyas, A., Setianto, W., & Binabar, S. W. (2019). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DAERAH ROB TERDAMPAK ROB (Studi Kasus Di Kecamatan Pekalongan Utara Pekalongan)*. XIV(2), 44–49. <https://ejournal.iwima.ac.id/index.php/icttech/article/view/69/57>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC. <https://www.ipcc.ch/>
- IRENA. (2020). *Innovation outlook: Ocean energy technologies* (Issue October). www.irena.org/Publications
- Irfani, M., Aprijanto, M., Rachman, R. A., & Nasython, K. (2012). Bukit Terbuka Hijau (Green Open Hills) as Green Solution of Urban Spatial Engineering in Tsunami-Prone Coastal City (Case Study: Cilacap Selatan District). *Researchgate.Net*, December 2021. https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Irfani/publication/357280053_Bukit_Terbuka_Hijau_Green_Open_Hills_as_Green_Solution_of_Urban_Spatial_Engineering_in_Tsunami-Prone_Coastal_City_Case_Study_Cilacap_Selatan_District/links/61c48a85c99c4b37eb1a2466
- Iskandar, S. A., Helmi, M., Muslim, M., Widada, S., & Rochaddi, B. (2020). Analisis Geospasial Area Genangan Banjir Rob dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan Tahun 2020 - 2025 di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(3), 271–282. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i3.8668>
- Japan International Cooperation Agency. (2010). *The preparatory study on disaster management program for Indonesia*. March.
- JICA. (2024). *Project for Coastal Disaster Risk Reduction Plan Study on the North Coast of Java Island in the Republic of Indonesia*. [file:///D:/Aprijanto-BRIN/referensi materi Orasi Profesor riset/pustaka orasi/12386348_01.pdf](file:///D:/Aprijanto-BRIN/referensi%20materi%20Orasi%20Profesor%20riset/pustaka%20orasi/12386348_01.pdf)

- Kartika, F. D. S., Helmi, M., & Amirudin. (2019). Meta-analysis of community's adaptation pattern with tidal flood in Pekalongan City, Central Java, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125(2019), 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912509001>
- Kawata, Y. (2022). *Green Infrastructures in Megacity Jakarta: Current Status and Possibilities of Mangroves for Flood Damage Mitigation*. 335–351. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6791-6_21
- Lochinvar, M., Abundo, S., Catanyag, M. E., Ann, M., Franco, Q., Travis, L. E., Familara, A. D. F., Hutchison, I., Papasin, M., Catanyag, C. J., Hellstern, E., Manrique, J. S., Tecson, C. M., Escoto, B., Steley, C., David, L., Capongcol, M. C., Ulgado, A. F., Malabanan, W. S., ... Rivera, B. (2023). *Marine Renewable Energy in the Philippines: Sustainable Energy from Ocean Spaces and Resources* (Issue February).
- Mankins, J. C. (2009). Technology readiness assessments: A retrospective. *Acta Astronautica*, 65(9–10), 1216–1223. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>
- Marfai, M. A., & King, L. (2008). Tidal inundation mapping under enhanced land subsidence in Semarang, Central Java Indonesia. *Natural Hazards*, 44(1), 93–109. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9144-z>
- Marta, A. S. D., Deendarlianto, Kongko, W., Aprijanto, Rohman, A. T., Wibowo, A., & Ikhsanudin, I. Y. (2024). The Influence of Wave Characteristics, Tides, and Installation Conditions of L-Shaped OWC Wave Energy Converter on Energy Absorption Capability. *Evergreen*, 11(3), 2607–2617. <https://doi.org/10.5109/7236900>
- Momani, A. M. (2020). The Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*, 12(3), 79–98. <https://doi.org/10.4018/ijskd.2020070105>

- Murtiaji, C., Irfani, M., Fauzi, I., Marta, A. S. D., Sukmana, C. I., & Wulandari, D. A. (2023). Methods for addressing tidal floods in coastal cities: An overview. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1224(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1224/1/012019>
- Nashrullah, S., Aprijanto, Pasaribu, J. M., Hazarika, M. K., & Samarakoon, L. (2013). Study of flood inundation in pekalongan, central java. *34th Asian Conference on Remote Sensing 2013, ACRS 2013*, 4(2), 3471–3477. <https://doi.org/10.30536/ijreses.2013.v10.a1845>
- National University of Singapore (NUS). (2022). *Integrated Coastal-Inland Flood Model for Climate Change*. 2022.
- NCICD. (2015). NCICD Executive Summary. *National Capital Integrated Coastal Development, finalized 2011*, 1–10.
- News, M. T. (2025). Japan's First Megawatt-Scale Tidal Energy Turbine Hits Water.pdf. *Marine Technology News*. <https://www.marinetechologynews.com/news/japan-first-megawatt-scale-645360>
- Noble, D. R., Grattan, K., & Jeffrey, H. (2025). *Future Economic Potential of Tidal Stream & Wave Energy in Scotland Policy and Innovation Group*. <https://www.scottish-enterprise.com/>
- Nugroho, H., Kurniani, D., Asiska, M., & Nuraini, N. (2016). Kajian Kinerja Sistem Polder sebagai Model Pengembangan Drainase Kota Semarang Bagian Bawah dengan Balanced Scorecard. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(1), 43. <https://doi.org/10.14710/mkts.v22i1.12508>
- Otto, D. P. (2020). *The Valley of Death : Factors and Solutions*.
- Oukes, C., Leendertse, W., & Arts, J. (2022). Enhancing the Use of Flood Resilient Spatial Planning in Dutch Water Management. A Study of Barriers and Opportunities in Practice. *Planning Theory*

and Practice, 23(2), 212–232. <https://doi.org/10.1080/14649357.2022.2034921>

- Prabawardani, D. R., Aprijanto, Prijambodo, T., Fauzi, I., Airawati, M. N., Hakim, B. Al, Ariyanto, D., Santosa, M. A., Irfani, M., Prasetyo, R. B., Yulianto, F., Putri, N. C., Sukmana, C. I., Cholishoh, E., Aji, C. M., Kustiyanto, E., Wibawa, B., Rahili, N., & Sutopo, J. (2024). Port and Coastal Management Against Climate Change: a Case Study of Tanjung Emas Port Semarang, Central Java, Indonesia. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 24(1), 55–71. <https://doi.org/10.5894/rgci-n590>
- Rahili, N., Hakim, B. Al, Ariyanto, D., Cholishoh, E., Aprijanto, Prabawardani, D. R., Prijambodo, T., & Gumbira, G. (2023). Tidal Characteristics for Disaster Preparedness in the Port Area (Case Study: Port of Semarang, Central Java). *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 28(2), 181–188. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.2.181-188>
- Rasgianti, Adiputra, R., Nugraha, A. D., Sitanggang, R. B., Pandoe, W. W., Aprijanto, Yasunaga, T., & Santosa, M. A. (2024). System Parameters Sensitivity Analysis of Ocean Thermal Energy Conversion. *Emerging Science Journal*, 8(2), 428–448. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-02-04>
- Rijke, J., van Herk, S., Zevenbergen, C., & Ashley, R. (2012). Room for the river: Delivering integrated river basin management in the netherlands. *International Journal of River Basin Management*, 10(4), 369–382. <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.739173>
- Ruckelshaus, M., Klinger, T., Knowlton, N., & DeMaster, D. P. (2008). Marine ecosystem-based management in practice: Scientific and governance challenges. *BioScience*, 58(1), 53–63. <https://doi.org/10.1641/B580110>
- Safitri, R. K., & Sihombing, R. S. M. (2024). Studi Evaluasi Kinerja Program “ Normalisasi & Gotong Royong Sungai Deli ” Di Kota Medan. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4, 494–506.

- Santoso, M. A., Aprijanto, Murtiaji, C., & Irfani, M. (2024). Improving Coastal Defense Structures Through Comprehensive Flood Risk Assessments : a review and future research. *Kexue Tongbao/ Chinese Science Bulletin*, 69(09), 2899–2917.
- Santoso, M. A., Aprijanto, Pijambodo, T., & Shadikin, A. (2021). Konsep Safety Beach Management System Rip Current Dengan Teknologi Video Image Processing. *Seminar Nasional Riset Dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK)*, 865–869. <http://proceeding.unindra.ac.id/index.php/semnasristek/article/view/5088>
- Santoso, M. A., Wijayanti, Y., Prasetyo, R. B., Setyandito, O., Nizam, Aprijanto, Subandriya, A., Kurniawan, A. T., Sudaryanto, A., & Sutejo, B. (2023). A Mini Review: Wave Energy Converters Technology, Potential Applications and Current Research in Indonesia. *Evergreen*, 10(3), 1642–1650. <https://doi.org/10.5109/7151712>
- Saputri, M., & Adawiyah, P. R. (2024). Peran badan perencanaan dan pembangunan daerah dalam kebijakan rencana tata ruang wilayah dalam perspektif pembangunan berkelanjutan (studi pada. *Triwikrama: Jurnal Ilmu Sosial*, 4(7). <http://ejournal.warunayama.org/index.php/triwikrama/article/view/4929%0Ahttp://ejournal.warunayama.org/index.php/triwikrama/article/download/4929/4569>
- Sidiq, T. P., Gumilar, I., Meilano, I., Abidin, H. Z., Andreas, H., & Permana, A. (2021). Land Subsidence of Java North Coast Observed by SAR Interferometry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 873(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/873/1/012078>
- Sugiarto, A., & Kustiah Ramadania, R. (2024). Manajemen Lahan Bantaran Sungai Deli Untuk Pembangunan Kota Yang Berkelanjutan Berdasar Peraturan Daerah (RTRW/RDTR) (Studi Kasus : Bantaran Sungai Deli, Kecamatan Medan Maimun). *Jesya*, 7(1), 618–626. <https://doi.org/10.36778/jesya.v7i1.1378>

- Sun, J., Yuan, G., Song, L., & Zhang, H. (2024). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring: A Review. *Drones*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/drones8010030>
- Suryani, R., Mutia, E., Ellida, D., & Lydia, N. (2020). Evaluasi Rute Evakuasi Tsunami Kecamatan Padang Barat Kota Padang Menggunakan QGIS. *Jurnal Media Teknik Sipil Samudra*, 1(1), 26–31. <https://ejournalunsam.id/index.php/jmtss/article/view/2863>
- Sutopo, J., Ainur, F., Khanapi, M., Ghani, A., & Pabbajah, M. (2025). *Machine Learning Method with Random Forest Model for Flood Hydrometeorological Disaster Mitigation in Demak*. 15(5), 1475–1484.
- Sutopo, J., & Aprijanto. (2024). “Mitigasi Bencana Hidrometeorologi dengan Teknologi Internet of Things (Issue Maret). Penerbit K-Media.
- Sutopo Joko, & Aprijanto. (2025). Manajemen Keselamatan Pantai Berbasis Teknologi Smart Beach Safety. In *Pendidikan (Education)* (Vol. 1, Issue 1). PT Mafy Media Literasi Indonesia. <https://penerbitmafya.com/produk/manajemen-keselamatan-pantai-berbasis-teknologi-smart-beach-safety/>
- Tarore, B. W., Dundu, A. K. ., & Jasin, M. I. (2024). Evaluasi Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Di Kawasan Bahu Mall Kota Manado. *Jurnal Tekno*, 22(87), 567–578. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/teknologi/article/view/54755/45936>
- Tavana, A., Leelaprachakul, T., Kim, S. Bin, & Tokuda, D. (2025). Transition to a 100% renewable grid for a remote island: A case study of Tsushima Island, Japan. *Renewable Energy Focus*, 52(November 2024). <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100657>
- Temmerman, S. et. a. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504, 79–83.
- Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M. J., Ysebaert, T., & De Vriend, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79–83. <https://doi.org/10.1038/nature12859>

- Ujianti, R. M. D., Novita, M., & Muflihati, I. (2023). Mitigation Strategy of Disaster Based on Information Technology in Semarang City. *Indonesian Journal on Geoscience*, 10(2), 201–214. <https://doi.org/10.17014/ijog.10.2.201-214>
- UNDP. (2018). Five approaches to build functional early warning systems. *United Nations Development Programme (UNDP)*, 66.
- van Slobbe, E., de Vriend, H. J., Aarninkhof, S., Lulofs, K., de Vries, M., & Dircke, P. (2013). Building with Nature: In search of resilient storm surge protection strategies. *Natural Hazards*, 66(3), 1461–1480. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0612-3>
- West Africa Coastal Areas Management Program. (2015). *Case Study 04 : Building With Nature-Indonesia, Demak-Central Java*. 1–7.
- Whitworth, B. (2011). The Social Requirements of Technical Systems. *Handbook of Research on Socio-Technical Design and Social Networking Systems, January 2009*. <https://doi.org/10.4018/9781605662640.ch001>
- Wibowo;, M., Hendriyono;, W., Suryaman;, D., Chaeroni;, Aprijanto;, Tjahjono, P., Sapto, N., Widjo, K., & Wibawa, B. (2019). *Bungai Rampai Pemodelan Komputasi Untuk Mitigasi Bencana Pantai*. BPPT PRESS – Jakarta, Indonesia.
- Winterwerp, H., Wesenbeeck, B. Van, Dalssen, J. Van, Tonneijck, F., Astra, A., Verschure, S., & Eijk, P. Van. (2014). *A sustainable solution for massive coastal erosion in Central Java : Towards Regional Scale Application of Hybrid Engineering* (Issue February).
- Yurista, P. A., & Agung Wicaksono, D. (2017). Kompatibilitas Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) sebagai Rencanan Tata Ruang yang Integratif (Compatibility of Zoning Plan for Coastal Areas and Small Islands as Integrated Spatial Planning). *Rechts Vinding*, 6(2), 1991–205. http://rechtsvinding.bphn.go.id/view/view_online.php?id=233

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

Buku Internasional	- buah
Buku Nasional	5 buah
Bagian dari Buku Internasional	- buah
Bagian dari Buku Nasional	1 buah
Jurnal Internasional	12 buah
Jurnal Nasional	1 buah
Prosiding Internasional	2 buah
Prosiding Nasional	7 buah

Kekayaan Intelektual

Paten Internasional	- buah
Terdaftar	- buah
Tersertifikasi	- buah
Paten Nasional	5 buah
Terdaftar	4 buah
Tersertifikasi	1 buah
Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	- buah
Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/ Benih Unggul Tanaman Hutan	- buah
Hak Cipta	1 buah
Desain Industri	3 buah
Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	- buah

Kerjasama

Transaksi Lisensi	- buah
-------------------	--------

Karya Tulis Ilmiah

Buku Nasional

1. Joko Sutopo, **Aprijanto**, “Manajemen Keselamatan Pantai Berbasis Teknologi Smart Beach Safety” (ISBN : 978-634-220-312-5), 156 hlm, yang diterbitkan oleh Penerbit PT Mafy Media Literasi Indonesia pada bulan Juli 2025.
2. Joko Sutopo, **Aprijanto**, “Mitigasi Bencana Hidrometeorologi dengan Teknologi Internet of Things” (ISBN : 978-623-174-389-3), 188 hlm. yang diterbitkan oleh Penerbit K-Media pada bulan Maret 2024.
3. Hariyanto, Muhajirin, Abd Ghofur, **Aprijanto**, A Bisri, Ridwan Utina, “Analisis Misi Inovasi Desain Kapal Angkut Mini Lng Untuk Kepulauan Indonesia” (ISBN : 978-602-410-1855),101 hlm, yang diterbitkan oleh BPPT Press (anggota IKAPI No.476/DKI/III/2014)pada bulan Juli 2021
4. Abdul Muis, Muhajirin, Iskendar, Abdul Kadir, **Aprijanto**, Taufiq A Setyanto, “Analisis Misi Inovasi Desain Kapal Angkut Mini LNG Untuk Kepulauan Indonesia” (ISBN : 978-602-410-1848), 98 hlm, yang diterbitkan oleh BPPT Press (anggota IKAPI No.476/DKI/III/2014)pada bulan Februari 2021
5. **Aprijanto**, Tjahjono Prijambodo, A. Bagyo Widagdo, M. Alfian Santoso, Joko Sutopo, Buddin Al Hakim, Ridwan Budi Prasetyo, Imam Syahrudin, “Panduan Keselamatan Pantai”(ISBN 978-602-71256-3-6), 41 hlm yang diterbitkan oleh CV. Aksara Media Pratama pada bulan September 2017.

Bagian dari Buku Nasional

6. Mardi Wibowo, Wahyu Hendriyono, Dhanus Suryaman, Chaeroni, **Aprijanto**, Tjahjono Prijambodo, Sapto Nugroho, Widjo Kongko, Bakti Wibawa, “Bungai Rampai : Pemodelan Komputasi Untuk Mitigasi Bencana Pantai” (ISBN : 978-602-410-138-1), 117 hlm. Cetakan 1, yang diterbitkan oleh BPPT Press (anggota IKAPI No.476/DKI/III/2014) pada bulan Januari 2019.

Journal Internasional

7. **Aprijanto**, Tjahjono Prijambodo, Bakti Wibawa, Alin Fithor, M. Alfian Santoso, M. Irfani, Eny Cholishoh, Cahyarsi Murtiaji, Danang Ariyanto, Catur Indra Sukmana, “Innovative Strategies for Tidal Food Protection: a Systematic Literature Review on Spatial Management in Coastal City (Case Study: Semarang City, Central Java, Indonesia)”, *Journal of Marine Systems & Ocean Technology*, 20:9 (2025), Springer, <https://doi.org/10.1007/s40868-024-00158-5>
8. Joko Sutopo, Fiya Ainur Rohmatika, Mohd Khanapi Abd Ghani, **Aprijanto**, Mustaqim Pabbajah, Juhansar. (2025). Machine Learning Method with Random Forest Model for Flood Hydrometeorological Disaster Mitigation in Demak. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. Vol.15.No. 5. ISSN: 2088-5334. <https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit/article/view/20753/4778>
9. Arif Hidayat, **Aprijanto**, A., Prabawardani, D. R., Prasetyo, R. B., Wibawa, B., Santoso, M. A., Prijambodo, T., Irfani, M., Nasution, A. S., Gunawan, H., Nurhuda, M., & Hikmaturokhman, A. (2025). Narrow bandpass filter for next Indonesian generation coastal surveillance satellite reception. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao / Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, 45(2). ISSN 0258-8013.

10. Dian Wijayanto, Faik Kurohman, Bambang A. Wibowo, Dian A. N. N. Dewi, **Aprijanto**, Muhammad Irfani, Muhammad A. Santosa. (2025). The exploitation status of white-streaked grouper (*Epinephelus ongus*) in Karimunjawa waters, AACL Bioflux, Volume 18, Issue 2. <https://bioflux.com.ro/home/volume-18-2-2025/>
11. Destianingrum R.Prabawardani1, **Aprijanto**, Tjahjono Prijambodo, Ibnu Fauzi, Maria Nooza Airawati, Buddin AlHakim, Danang Ariyanto, M. Alfian Santosa, M.Irfani, Ridwan Budi Prasetyo, Fajar Yulianto, Nofika C. Putri, Catur Indra Sukmana, Eny Cholishoh, Cahyarsi Murtiaji, Eko Kustiyanto, Bakti Wibawa, NurkhalisRahili, J.Sutopo, “Port and Coastal Management Against Climate Change: A Case Study of Tanjung Emas Port Semarang, Central Java, Indonesia”, Journal of Integrated Coastal Zone Management, Oktober 2024, 24(1): 55-71, ISSN 1646-8872 DOI 10.5894/rgci-n590 url: <https://www.aprh.pt/rgci/rgci-n590.htm>
12. Alin Fithor, **Aprijanto**, Agus Indarjo, “Optimizing Travel Routes for Beach Tourism in Semarang, Indonesia: A Hill-Climbing Approach”, Journal of Southwest Jiaotong University, Vol. 59 no. 5, October 2024, <http://doi.org/10.35741/issn.0258-2724-.59.5.1>
13. Muhammad Alfian Santoso, **Aprijanto**, Cahyarsi Murtiaji, Eny cholisoh, Muhammad Irfani, Tjahjono Prijambodo, Alin fithor, “Improving Coastal Defense Structures Through Comprehensive Flood Risk Assessments: a review and future research”, September 2024, Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin, ISSN: 0023-074X Volume 69, Issue 09.
14. Adnan Sandy Dwi Marta, Deendarlianto, Widjo Kongko, **Aprijanto**, Ahmad Taufiqur Rohman, Agus Wibowo, Irfan Yahya Ikhsanudin, “The Influence of Wave Characteristics, Tides, and Installation Conditions of L-Shaped OWC Wave Energy Converter on Energy Absorption Capability”, EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Vol. 11, Issue 03, pp2607-2617, September, 2024, DOI: 10.5109/7236900

15. Rasgianti, Ristiyanto Adiputra, Ariyana D.Nugraha, Ruly B.Sitanggang, Wahyu W.Pandoe, **Aprijanto**, Takeshi Yasunaga, Muhammad Alfian Santoso, “System Parameters Sensitivity Analysis of Ocean Thermal Energy Conversion”, *Emerging Science Journal*, April 2024, Vol 8, No 2 (2024), Doi: 10.28991/ESJ-2024-08-02-04, ISSN: 2610-9182, <https://ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/2171/pdf>
16. Nurkhalis Rahili, Buddin Al Hakim, Danang Ariyanto, Eny Cholishoh, **Aprijanto**, Destianingrum Ratna Prabawardani, Tjahjono Prijambodo, Gugum Gumbira, “Tidal Characteristics for Disaster Preparedness in the Port Area (Case Study: Port of Semarang, Central Java), Indonesian”, *Journal of Marine Sciences* June 2023 Vol 28(2):181-188, e-ISSN 2406-7598, <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ijms>, DOI: 10.14710/ik.ijms.28.2.181-188
17. Muhammad Alfian Santoso, Yureana Wijayanti, Ridwan Budi Prasetyo, Oki Setyandito, Nizam, **Aprijanto**, Andri Subandriya, Aries Taufiq Kurniawan, Agus Sudaryanto, Bayu Sutejo , “A Mini Review: Wave Energy Converters Technology, Potential Applications and Current Research in Indonesia”, *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, pp1642-1650, https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/7151712/p1642-1650.pdf DOI : 10.5109/7151712
18. Syams Nashrullah, **Aprijanto**, Junita Monika Pasaribu, Manzul K. Hazarikal, Lal Samarakoon, “Study On Flood Inundation In Pekalongan, Central Jawa”, *Journal of Remote Sensing and Earth Sciences* Vol.10 No.2 December 2013:76-83

Journal Nasional

19. Muhammad Alfian Santoso, **Aprijanto**, Dian Astria Novianti, Ibnu Fauzi, “Kajian Total Produktivity Factor Pada Sub Sektor Pelabuhan Sebagai Indikator Dalam Peningkatan Operasional Pelabuhan Pengumpan Studi Kasus: Pelabuhan Terminal Muntok/Tanjung Ular”, *Prosiding SEMSINA*, (2019), <https://www.ejournal.itn.ac.id/index.php/semsina/article/view/2240>

Prosiding International

20. **Aprijanto**, Catur Aris, “Videography Technology Utilization For Rip Current , Sandbar And Shoreline Position Identification To Safety Management Of Coastal Tourism”, Proceeding of The Second International Conference on Port, Coastal, and Offshore Engineering (2nd) ICPCO, 2012
21. Muhammad Irfani, **Aprijanto**, Muh Alfian Santoso, Reno Arief Rachman, Kun Nasython, “Bukit Terbuka Hijau (Green Open Hills) as Green Solution of Urban Spatial Engineering in Tsunami-Prone Coastal City (Case Study: Cilacap Selatan District)”, Proceeding of The Second International Conference on Port, Coastal, and Offshore Engineering (2nd) ICPCO, 2012

Prosiding Nasional

22. Muhammad Alfian Santoso, **Aprijanto**, Tjahjono Prijambodo, Achmad Shadikin, “Konsep Safety Beach Management System Rip Current Dengan Teknologi Video Image Processing”, Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK), (2021), E-ISSN:2527-5941, <https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/semnasristek/article/viewFile/5088/918>
23. Ibnu Fauzi, **Aprijanto**, Muhammad Alfian Santosa, Ade R. Ispandiari, “Optimasi Rute Kapal Mini LNG untuk Mendukung Kebutuhan Pembangkit Listrik di Wilayah Hub. Kupang”, Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-24, Universitas Indonesia – Universitas Pembangunan, (2021).
24. Ibnu Fauzi, Muhammad Alfian Santoso, Dian Astria Novianti, **Aprijanto**, “Analisis Kebutuhan Dry Port Berbasis Demand Pelabuhan Pengumpan Lokal Baru Studi Kasus Pelabuhan Tanjung Ular, Bangka Barat”, Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-23, Institut Teknologi Sumatera (ITERA), (2020)

25. **Aprijanto**, M. Alfian S, Ade Ratih, Ibnu Fauzi, “Kajian Lansekap Kawasan Pelabuhan Kendal Guna Mendukung Sistem Transportasi Laut”, Pertemuan Ilmiah Tahunan-Ikatan Sarjan Oseanologi Indonesia Ke-XV, (2018).
26. M. Alfian Santoso, Ade Ratih, Bakti Wibawa, **Aprijanto**, “Kajian Aktual Hierarki Dan Potensi Pelabuhan Kendal”, Pertemuan Ilmiah Tahunan-Ikatan Sarjan Oseanologi Indonesia Ke-XV, (2018).
27. **Aprijanto**, A. Buddin Hakim, Tjahjono Prijambodo, B. Ridwan Prasetyo, Joko Sutopo, Imam Syahrudin, “Prototipe Aplikasi Safety Beach Monitoring System (SBMS) untuk Mendukung Zero Accident Wisata Bahari”, Pertemuan Ilmiah Tahunan-Ikatan Sarjan Oseanologi Indonesia Ke-XIV, (2017).
28. **Aprijanto**, Aris Subarkah, Affandy Hamid, Arief Reno Rachman, Ratih Ade Ispandiyari, “Analisis Pemilihan Area Labuh Yacht dengan Analytical Hierarchy Process (AHP) di Kabupaten Belitung”, Pertemuan Ilmiah Tahunan-Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia Ke-XIII, (2016).

Kekayaan Intelektual

29. Paten: Sistem Dan Metode Mitigasi Hidrometeorologi Air Laut Terintegrasi, *Granted* di DJKI Kemenkum, No. IDP 000102373, Tanggal 26 Nopember 2025.
30. Paten: Platform Modular Pesisir untuk Integrasi Dermaga dan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL), Terdaftar di DJKI Kemenkum, No. P00202514418, Tanggal 12 Desember 2025.
31. Paten: Tongkang Kerja Multi Fungsi Berpenggerak untuk Pekerjaan Pemasangan dan Pembongkaran Konstruksi di Laut, Terdaftar di DJKI Kemenkum HA, No. P00202412820, Tanggal 11 Nopember 2024

32. Paten: Band Pass Filter Anti Gangguan Untuk Penerimaan Data Satelit Stasiun Pengamatan Pantai, Terdaftar di DJKI Kemenkum HAM, No. P00202405662 , Tanggal 21 Juni 2024
33. Paten: Sistem Peringatan Dini Bahaya Rip Current, Terdaftar di DJKI Kemenkum HAM, No. P00202309664, Tanggal 28 September 2023.
34. Desain Industri: Desain Kapal Pengangkut Gas Alam Cair Untuk Perairan Dangkal, *Certified* DJKI Kemenkum, No. IDD000073492, Tanggal 05 Oktober 2025.
35. Desain Industri: Desain ROV (*Remotely Operated Vehicle*) Untuk Survey Anjungan Lepas Pantai, *Certified* DJKI Kemenkum, No. IDD000073750, Tanggal 23 Agustus 2025.
36. Desain Industri: Desain Lengan Teleskopik Pemegang Bilah Turbin Darrieus Tipe Sumbu Vertikal, Terdaftar di DJKI Kemenkum, No. A00202506285, Tanggal 16 Oktober 2025.
37. Hak Cipta : Akuisisi Bathimetri Autonomous Boat; No. EC00202207594, Tanggal 31 Januari 2022

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Aprijanto, S.T., M.Si
Tempat, Tanggal Lahir	: 30 April 1971
Anak ke	: 4 dari 5 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Nama Ayah Kandung	: R. Margono Hardjowidarso
Nama Ibu Kandung	: R.A. Jariani
Nama Istri	: Ilham Novitasari, S.Sos.,MM
Jumlah Anak	: 3 (tiga)
Nama Anak	: Rayza Widyadhana Apritaputra, S.T. Shafira Noreenaida Apritaputri Faustine Aptapratista Apritaputri
Nama Unit	: Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika,
Nama Organisasi	
Nama Instansi	: Organisasi Riset Energi dan Manufaktur
Judul Orasi	: Badan Riset dan Inovasi Nasional : Menuju Ketahanan Kawasan Pesisir-Pelabuhan melalui Integrasi Hidrodinamika, Kecerdasan Buatan dan Inovasi Adaptif
Ilmu	: Teknik & Rekayasa
Bidang Keahlian	: Teknologi Kelautan dan Pesisir Terapan
No. SK Pangkat Terakhir	: Keputusan Presiden No. 15/K Tahun 2024 tanggal 31 Juli 2024

No. SK Perekayasa : Keputusan Presiden No. 21/M Tahun 2023
 Ahli Utama tanggal 15 Mei 2023

Tautan Scopus : www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56237229600

Tautan Google Scholars : https://scholar.google.com/citations?hl=id&user=TQG9OH4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Panggung 1	Semarang	1984
2.	SMP	SMPN 2	Semarang	1987
3.	SMA	SMAN 3	Semarang	1990
4.	S1	UGM	Yogyakarta	1995
5.	S2	UGM	Yogyakarta	2001
6.	S3	UGM	Yogyakarta	2015

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun
1.	Lokakarya Kompetensi Insinyur Profesional (LKIP)	Jakarta, Indonesia	2020
2.	Pelatihan Kompetensi Teknis, Manajerial dan Sosial Kultural dalam Bidang Kebencanaan bagi Pejabat struktural	Jakarta, Indonesia	2020

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun
3.	Bimbingan Teknis Sistem Pengendalian Internal Pemerintah (SPIP) Eselon 1 dan Tim Satuan Tugas SPIP di Lingkungan BPPT	Jakarta, Indonesia	2020
4.	Knowledge Management System National Capital Integrated Coastal Development Program (Indonesia)- The Korea International Cooperation Agency (KOICA)	Jakarta, Indonesia	2019
5.	Sistem Manajemen Mutu SNI ISO/IEC 17025:2008	Jakarta, Indonesia	2013
6.	Workshop on Project Planning, Methodology Development and Remote Sensing Applications by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) for the Mini- Project Geoinformatic-Asian Institute of Technology	Bangkok, Thailand	2012
7.	Pengolahan data unmanned Aerial Vihacle (UAV) dan car based mobile mapping-Teknik Geodesi UGM	Yogyakarta, Indonesia	2012
8.	Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Fungsional Perakayasa	Yogyakarta, Indonesia	2011
9.	Pembekalan Lanjutan (Matrikulasi) Perencana Bersertifikat - Ikatan Ahli Perencana	Yogyakarta, Indonesia	2006
10.	Pembekalan Dasar Sertifikasi Perencana - Ikatan Ahli Perencana	Yogyakarta, Indonesia	2005
11.	<i>Software OCEANINFO</i> - OCEANINFO PROJECT-Tisda BPPT	Jakarta, Indonesia	1996

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Kepala Bagian Program dan Anggaran-Pusat Teknologi Rekayasa dan Industri Maritim	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)	2019–2021

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Perekayasa Ahli Madya (IV/a)	2 Nopember 2009
2.	Perekayasa Ahli Madya (IV/b)	22 Februari 2016
3.	Perekayasa Ahli Madya (IV/c)	16 Juni 2020
4.	Perekayasa Ahli Utama (IV/d)	15 Mei 2023

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Anggota Tim Pelaksana dan Manajerial Kegiatan Kajian Kolaboratif antara Badan Riset dan Inovasi Nasional, Badan Keamanan Laut, dan Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut sebagai Bagian dari Rencana Aksi Nasional Keamanan, Keselamatan, dan Penegakan Hukum di Laut	Deputi Bidang Kebijakan Pembangunan Badan Riset Dan Inovasi Nasional	2025

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
2.	Anggota Tim Penyusun Dokumen Persiapan The 3 rd <i>Cycle Phase World Ocean Assessment</i> (WOA)	Deputi Bidang Koordinasi Kedaulatan Maritim-Kementerian Koordinator Maritim dan Investasi	2021

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT-ISOI) ke-XV	Pemateri	Yogyakarta, Indonesia	2018
2.	International Conference on Applied Science, Engineering, and Social Sciences	Pemateri	Yogyakarta, Indonesia	2017
3.	Kongres Teknologi Nasional 2017 Tema “Inovasi Teknologi untuk Daya Saing dan Kemandirian Bangsa”	Pemateri	Jakarta, Indonesia	2017
4.	The Master Class Activities” Coastal & Oceanic Resilience by Harnessing, Simulating and Observing Indonesian Waters	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	2017

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
5.	Diskusi Teknis eknologi Rekayasa Industri Maritim, Tema “Potensi Cirebon untuk Menunjang Industri Maritim Nasional	Peserta	Cirebon, Indonesia	2017
6.	Seminar tentang Physical Modelling of Wave Dissipating Blocks for Patimbangan Port Breakwater	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	2017
7.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT-ISOI) ke-XIV	Pemateri	Riau, Indonesia	2017
8.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT-ISOI) ke-XIII	Pemateri	Surabaya, Indonesia	2016
9.	Training on Capacity Building for Science & Techno Park Management	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	2016
10.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geografi Indonesia (PIT-IGI) ke 17	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	2014
11.	Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (PIT-ISOI) ke-X	Pemateri	Jakarta, Indonesia	2013
12.	International Conference on Port, Coastal, and Offshore Engineering (2 nd)	Pemateri	Bandung, Indonesia	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

H. Capaian dalam Bidang Iptek, Riset, dan Inovasi

1. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	-
2.	Bersama Penulis Lainnya	28
	Total	28

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	14
2.	Bahasa Inggris	14
	Total	28

2. Kekayaan Intelektual

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	-
2.	Paten Nasional	
	Terdaftar	4
	Tersertifikasi	1
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
5.	Hak Cipta	1
6.	Disain Industri	3
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	
	Total	9

3. Kerjasama Bersama Mitra

No.	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	-
	Total	-

I. Pembinaan Kader Ilmiah

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Alin Fithor	UNDIP	Membimbing mahasiswa Pascadoktoral	2023
2.	Endah Dwi Fardhani	UGM	Membimbing mahasiswa S-2	2023
3.	Nur Cahya Karisma	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2011
4.	Heni Nurhayati	UNDIP	Membimbing mahasiswa S-1	2007
5.	Hardi Suseno	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2004
6.	Arif Panuju	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2002
7.	Suhardi	UNDIP	Membimbing mahasiswa S-1	2002
8.	Yudhi Indarwoko	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2001
9.	Ronald Peterson	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2001
10.	I Gede Yudi Sukarya	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	2000
11.	Erline Setyawati	UGM	Membimbing mahasiswa S-1	1999

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Ikatan Ahli Perencana D.I. Yogyakarta	2006–2008
2.	Anggota	Himpunan Perekayasa Indonesia	2020–2021
3.	Anggota	Persatuan Insinyur Indonesia	2020–sekarang
4.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia	2021–sekarang

K. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Tanda Kehormatan Satyalencana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2008
2.	Tanda Kehormatan Satyalencana Karya Satya 20 Tahun	Presiden RI	2016

Wilayah pesisir Indonesia menghadapi tekanan serius akibat kenaikan muka laut, penurunan tanah, dan banjir rob yang semakin intensif, yang berdampak langsung pada kehidupan masyarakat pesisir serta keberlanjutan pelabuhan sebagai simpul strategis logistik nasional. Tantangan ini menuntut pendekatan adaptasi terpadu yang melindungi pesisir sekaligus memperkuat ketahanan infrastruktur pelabuhan.

Orasi ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi hidrodinamika, data spasial presisi tinggi, kecerdasan buatan, serta solusi berbasis ekosistem memungkinkan pemetaan risiko pesisir–pelabuhan secara akurat, pemantauan *real-time*, dan perumusan strategi adaptasi jangka panjang berbasis bukti ilmiah. Melalui kerangka evaluasi TKT–STS–UTAUT, riset tidak berhenti pada prototipe, tetapi diterjemahkan menjadi kebijakan implementatif dan rekomendasi standar teknis, termasuk pengembangan Standar Nasional Indonesia (SNI) adaptasi pesisir dan pelabuhan berkelanjutan. Pendekatan ini memperkuat kolaborasi antara sains, pemerintah, industri, dan masyarakat dalam membangun ketahanan pesisir Indonesia di era perubahan iklim.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung BJ, Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.2836



ISSN 3090-8485



Buku ini tidak diperjualbelikan.