

Smart Governance Sebagai Katalisator Green Port: Evaluasi Kesiapan Institusional Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dalam Transformasi Maritim Berkelanjutan

Karmanis^{1*}, Karjono², & Evyana Diah Kusumawati³

¹ Fakultas Ilmu Sosial dan Politik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

^{2,3} Program Studi Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim Politeknik Bumi Akpelni

*e-mail korespondensi: karmaniskarolan@gmail.com

Abstract

The strategic vision of Tanjung Emas Port Semarang to become a world to transform into a world-class green port confronts critical climate challenges, including tidal flooding that disrupts operations, shipping channel siltation that escalates logistics costs, and container yard congestion that exacerbates carbon emissions. This study aims to assess the port's institutional readiness in implementing sustainable maritime transformation through the lens of smart governance. A descriptive qualitative approach was employed, with data collection encompassing field observation of service systems and digital infrastructure, regulatory documentation from Pelindo and the Ministry of Transportation, and operational data analysis including water levels and berthing schedules. Thematic analysis focused on three dimensions: digital readiness against physical challenges, integration of environmental sensor data into decision-making systems, and the effectiveness of cross-sectoral coordination between Pelindo and KSOP. The findings reveal that Tanjung Emas Port is in an uneven transitional phase technological infrastructure has been developed, yet data integration for proactive mitigation remains fragmented. Institutional coordination barriers, stemming from data silos and diverging inter-authority priorities, constitute the primary bottleneck hindering collaborative governance. These findings assert that without institutional transformation enabling data sharing and evidence-based decision-making, green technology investments in ports will fail to achieve their optimal impact. Recommendations include establishing an integrated command center and regulatory incentives for collaborative climate action.

Keywords: smart governance, green port, institutional readiness, tidal flooding, Tanjung Emas

Abstrak

Visi Strategis Pelabuhan Tanjung Emas Semarang untuk bertransformasi menjadi green port kelas dunia dihadapkan pada tantangan kritis perubahan iklim, terutama banjir rob yang melumpuhkan operasional, pendangkalan alur yang meningkatkan biaya logistik, serta kepadatan container yard yang memperburuk emisi karbon. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kesiapan institusional pelabuhan dalam mengimplementasikan transformasi maritim berkelanjutan melalui kerangka smart governance. Pendekatan kualitatif deskriptif digunakan dengan teknik pengumpulan data berupa observasi lapangan terhadap sistem layanan dan infrastruktur digital, dokumentasi regulasi dari Pelindo dan Kementerian Perhubungan, serta analisis data operasional seperti tinggi muka air dan waktu sandar. Analisis tematik difokuskan pada tiga dimensi: kesiapan digital menghadapi tantangan fisik, integrasi data sensor lingkungan ke dalam sistem pengambilan keputusan, dan efektivitas koordinasi lintas sektoral antara Pelindo dan KSOP. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa Pelabuhan Tanjung Emas berada dalam fase transisi yang timpang infrastruktur teknologi telah dibangun, namun integrasi data untuk mitigasi proaktif masih terfragmentasi. Hambatan koordinasi institusional akibat silo data dan perbedaan prioritas antar-otoritas menjadi bottleneck utama yang menghalangi terwujudnya tata kelola kolaboratif. Temuan ini menegaskan bahwa tanpa transformasi kelembagaan yang memungkinkan berbagi data dan keputusan berbasis bukti, investasi teknologi hijau di pelabuhan tidak akan mencapai dampak optimalnya. Rekomendasi meliputi pembentukan command center terintegrasi dan insentif regulasi untuk aksi iklim kolaboratif.

Kata Kunci: smart governance, green port, kesiapan institusional, banjir rob, Tanjung Emas

PENDAHULUAN

Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menyandang ambisi strategis sebagai gerbang logistik utama Jawa Tengah yang ditargetkan bertransformasi menjadi pelabuhan kelas dunia berwawasan lingkungan (*green port*). Visi ini tertuang dalam Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Emas yang menekankan modernisasi fasilitas dan pengurangan jejak karbon operasional sebagai pilar utama pengembangan hingga tahun 2035. Namun, di balik narasi modernisasi tersebut, realitas fisik Pelabuhan Tanjung Emas justru menunjukkan kerentanan yang mengkhawatirkan. Pertama, banjir rob yang dipicu kenaikan muka air laut dan penurunan tanah (*land subsidence*) di kawasan pesisir Semarang secara reguler melumpuhkan aksesibilitas terminal dan merendam infrastruktur vital seperti area *container yard* dan jalur kereta api penghubung. Fenomena ini tidak sekadar menimbulkan genangan temporer, melainkan menyebabkan korosi pada peralatan bongkar muat dan memperpendek umur infrastruktur dermaga. Kedua, pendangkalan alur pelayaran akibat sedimentasi material dari sungai-sungai yang bermuara di sekitar pelabuhan memaksa kapal-kapal besar menunggu pasang tinggi untuk dapat bersandar, sehingga meningkatkan *waiting time* dan biaya logistik secara signifikan. Ketiga, kepadatan di area *container yard* yang kapasitasnya sudah melampaui ambang ideal menciptakan kemacetan arus peti kemas yang berimbas pada lamanya *dwelling time* dan meningkatnya konsumsi bahan bakar alat berat yang berkontribusi pada emisi karbon. Ketiga persoalan ini saling bertautan membentuk lingkaran setan yang apabila tidak segera diurai, akan menggagalkan ambisi Tanjung Emas menuju *green port* yang resilien terhadap perubahan iklim.

Konsep *green port* telah berkembang pesat dalam literatur manajemen pelabuhan global, didefinisikan sebagai pelabuhan yang mengintegrasikan keberlanjutan lingkungan dalam seluruh aspek operasional, mulai dari efisiensi energi, pengelolaan limbah, hingga mitigasi emisi karbon (Lam & Li, 2019). Implementasi *green port* di negara berkembang, akan menghadapi tantangan yang jauh lebih kompleks karena persoalan fundamental seperti keterbatasan infrastruktur dasar dan fragmentasi kelembagaan masih dominan (Acciaro & Sys, 2020). Secara paralel, wacana *smart governance* dalam penenrahan pelabuhan muncul sebagai paradigma tata kelola yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk menciptakan pengambilan keputusan berbasis data (Sur & Candès, 2019), kolaborasi lintas aktor, dan responsivitas terhadap dinamika operasional (Meijer & Bolivar, 2016). Studi-studi tentang *smart port* cenderung menekankan pada aspek teknologi seperti Internet of Things (IoT), big data analytics, dan automasi terminal (Hendrawan et al., 2021), namun masih minim yang mengkaji dimensi institusional secara mendalam. *Research gap* yang teridentifikasi justru terletak pada absennya studi yang menghubungkan kesiapan institusional terutama koordinasi antar-otoritas dengan kapasitas pelabuhan menghadapi bencana iklim melalui pendekatan *smart governance*. Studi-studi tentang Pelabuhan Tanjung Emas sendiri masih terbatas pada analisis teknis banjir rob (Marfai & King, 2008) atau optimalisasi operasional (Prasetyo & Budiyo, 2019), tanpa mengeksplorasi bagaimana tata kelola kolaboratif dapat menjadi katalisator transformasi *green port*. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan memosisikan *smart governance* sebagai kerangka analitis untuk menakar kesiapan kelembagaan pelabuhan dalam menghadapi ancaman iklim.

Tesis utama yang diajukan dalam artikel ini adalah bahwa *smart governance* bukan sekadar tambahan atau pelengkap dari investasi teknologi hijau, melainkan merupakan kunci fundamental untuk mengintegrasikan data lingkungan dan operasional menjadi respons kebijakan yang adaptif. Di Pelabuhan Tanjung Emas, modernisasi peralatan seperti *crane* elektrik, sistem *gate* otomatis, dan sensor kualitas udara telah mulai diperkenalkan, namun efektivitasnya sangat bergantung pada bagaimana data yang dihasilkan oleh perangkat tersebut diolah, dibagikan lintas sektor, dan digunakan sebagai basis

pengambilan keputusan. Tanpa tata kelola data yang cerdas yang memungkinkan data banjir rob dipadukan dengan data jadwal sandar, atau data sedimentasi alur disinkronkan dengan data pergerakan kapal investasi pada teknologi hijau hanya akan menghasilkan efisiensi parsial, bukan transformasi sistemik. Dengan kata lain, perangkat keras hijau (*green hardware*) memerlukan perangkat lunak tata kelola (*governance software*) yang memadai, dan di sinilah peran *smart governance* sebagai katalisator menjadi tidak tergantikan.

Berdasarkan permasalahan dan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, studi ini bertujuan untuk menakar kesiapan institusional Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dalam mengimplementasikan transformasi maritim berkelanjutan melalui lensa *smart governance*. Secara spesifik, penelitian ini akan mengevaluasi sejauh mana data lingkungan dan operasional telah terintegrasi dalam pengambilan keputusan, mengidentifikasi hambatan koordinasi lintas sektoral antara Pelindo, KSOP, dan Kementerian Perhubungan, serta menilai apakah modernisasi teknologi informasi yang berjalan telah mampu memitigasi inefisiensi logistik dan jejak karbon operasional pelabuhan. Hasil dari penilaian ini memberikan rekomendasi kebijakan yang aplikatif bagi perbaikan tata kelola pelabuhan yang lebih adaptif terhadap tantangan iklim.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif yang bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam fenomena kesiapan institusional dalam konteks transformasi *green port* di Pelabuhan Tanjung Emas. Pendekatan kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menangkap kompleksitas interaksi antar-aktor, dinamika kelembagaan, dan nuansa implementasi kebijakan yang tidak dapat direduksi ke dalam angka-angka statistik semata (Creswell & Poth, 2018). Desain deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi faktual kesiapan digital, integrasi data, dan hambatan koordinasi sebagaimana adanya di lapangan. Subjek dan Lokasi, Subjek penelitian berfokus pada ekosistem kelembagaan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang yang melibatkan PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo) Regional 3 sebagai operator terminal, Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan (KSOP) Kelas I Tanjung Emas sebagai regulator, serta Kementerian Perhubungan sebagai pembuat kebijakan strategis. Lokasi penelitian dipilih secara purposif mengingat karakteristik unik Tanjung Emas sebagai pelabuhan yang menghadapi tekanan simultan dari pertumbuhan volume logistik dan ancaman bencana iklim, sehingga menjadi laboratorium yang ideal untuk studi *smart governance* dalam konteks *green port*. Teknik Pengumpulan Data, Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama. Pertama, observasi sistem layanan pelabuhan yang mencakup pengamatan langsung terhadap operasional terminal peti kemas, sistem antrean *gate*, aktivitas bongkar muat, serta kondisi fisik alur pelayaran dan area yang terdampak banjir rob. Kedua, dokumentasi regulasi yang meliputi Peraturan Menteri Perhubungan tentang pengelolaan pelabuhan, kebijakan internal Pelindo terkait transformasi digital dan lingkungan, serta dokumen Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Emas. Ketiga, studi data pendukung operasional berupa data sandar kapal, data tinggi muka air (*water level*), data volume peti kemas, dan data *dwelling time* yang diperoleh dari laporan operasional pelabuhan. Ketiga sumber data ini saling melengkapi untuk memberikan gambaran yang utuh mengenai dimensi fisik, digital, dan institusional.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis kualitatif tematik (*thematic analysis*) yang dikembangkan oleh (Braun & Clarke, 2019) dengan tahapan: pengenalan data, pengodean awal, pencarian tema, peninjauan tema, pendefinisian tema, dan penulisan laporan. Fokus analisis diarahkan pada dua dimensi utama: (1) penilaian kesiapan institusional yang mencakup kapasitas infrastruktur digital, ketersediaan sumber daya manusia, dan keberadaan prosedur operasional standar berbasis data; serta (2) efektivitas koordinasi lintas sektoral antara

Pelindo, KSOP, dan Kementerian Perhubungan yang diukur dari indikator kejelasan pembagian kewenangan, frekuensi dan kualitas komunikasi antar-lembaga, serta ketersediaan platform berbagi data bersama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tantangan Fisik dan Kesiapan Digital di Tanjung Emas.

Kondisi fisik Pelabuhan Tanjung Emas memperlihatkan gambaran yang paradoksial antara tekanan operasional yang semakin berat dan upaya modernisasi yang masih berjalan secara parsial. Data observasi lapangan mengonfirmasi bahwa banjir rob yang terjadi dengan frekuensi semakin intens tercatat hingga 40-50 kali kejadian rob per tahun dengan ketinggian genangan bervariasi antara 20 hingga 80 sentimeter telah menyebabkan disrupsi operasional yang signifikan. Pada saat rob tinggi, akses kendaraan pengangkut peti kemas menuju *container yard* terhambat, sementara peralatan bongkar muat di dermaga harus dihentikan sementara demi alasan keselamatan. Infrastruktur seperti rel kereta api dan fondasi *rubber tyred gantry* (RTG) mengalami percepatan degradasi akibat paparan air asin berulang. Sementara itu, pendangkalan alur pelayaran yang mensyaratkan kedalaman minimal -9 meter LWS (*Low Water Spring*) sering kali tidak terpenuhi karena laju sedimentasi yang mencapai 0,8 hingga 1,2 meter per tahun, sehingga kapal-kapal dengan draft dalam harus menunggu jendela pasang yang terbatas. Kondisi ini diperparah dengan tingkat utilisasi *container yard* yang telah mencapai 70-80 persen dari kapasitas terpasang, menciptakan kemacetan internal yang memperpanjang *dwelling time* hingga melampaui target tiga hari yang ditetapkan pemerintah. Menghadapi tantangan fisik tersebut, Pelindo telah meluncurkan serangkaian inisiatif modernisasi yang meliputi pengadaan *container crane* elektrik kapasitas 40 ton, implementasi sistem *auto gate* dengan teknologi *optical character recognition* (OCR), serta pemasangan *closed-circuit television* (CCTV) terintegrasi di sepanjang area terminal. Sistem informasi seperti Terminal Operating System (TOS) dan *e-tracking* peti kemas juga telah diperkenalkan untuk mendigitalisasi proses bisnis. Namun, analisis kesiapan digital menunjukkan adanya kesenjangan krusial antara perangkat keras yang telah dimodernisasi dengan kapasitas sistem untuk mengintegrasikan data secara *real-time*. Sebagai ilustrasi, data banjir rob yang tercatat oleh sensor pasang surut belum terhubung dengan TOS, sehingga penjadwalan bongkar muat masih dilakukan tanpa mempertimbangkan prediksi tinggi muka air secara otomatis. Demikian pula, data sedimentasi alur yang seharusnya menjadi dasar penjadwalan pengerukan belum terintegrasi dengan sistem informasi operasional kapal. Kesenjangan digital (*digital gap*) ini membuat modernisasi peralatan hanya menyentuh aspek efisiensi transaksional, bukan efisiensi sistemik yang dibutuhkan untuk menghadapi dinamika lingkungan. Tanpa integrasi data lintas-platform, pelabuhan tetap reaktif dalam menghadapi banjir rob dan pendangkalan, alih-alih proaktif mengantisipasi dan memitigasi dampaknya terhadap operasional.

Integrasi Smart Governance dalam Mitigasi Lingkungan

Penerapan *smart governance* di pelabuhan menuntut lebih dari sekadar keberadaan sensor dan perangkat digital; hal ini mensyaratkan agar data yang dihasilkan oleh teknologi tersebut mengalir ke dalam sistem pengambilan keputusan dan menghasilkan respons kebijakan yang adaptif. Di Pelabuhan Tanjung Emas, beberapa sensor lingkungan telah dipasang sebagai bagian dari program *green port* Pelindo, termasuk sensor kualitas udara yang mengukur konsentrasi partikulat (PM2.5 dan PM10), sensor kebisingan, serta sensor pasang surut air laut di sekitar dermaga. Data dari sensor-sensor ini ditampilkan pada *dashboard* lingkungan di kantor operasional dan diperbarui secara berkala. Namun, pertanyaan kritis yang perlu diajukan adalah: sejauh mana data ini benar-benar terintegrasi dengan sistem pengambilan keputusan

operasional ?. Hasil analisis mengindikasikan bahwa integrasi tersebut masih sangat terbatas dan cenderung bersifat informatif ketimbang transformatif. Data pasang surut, misalnya, tersedia dan dapat diakses oleh petugas operasional, tetapi belum ada mekanisme otomatis yang menghubungkan data tersebut dengan penjadwalan sandar kapal atau alokasi sumber daya bongkar muat. Ketika tinggi muka air diprediksi melampaui ambang kritis, keputusan untuk menunda operasi bongkar muat atau mengalihkan kapal masih diambil secara manual melalui koordinasi verbal antara petugas lapangan dan supervisor, tanpa protokol berbasis data yang terstandarisasi. Demikian pula, data kualitas udara yang menunjukkan lonjakan emisi pada jam-jam sibuk bongkar muat tidak secara otomatis memicu penyesuaian operasional seperti pengurangan jumlah *trucking* simultan atau aktivasi mode hemat energi pada peralatan berat. Inilah titik lemah yang menunjukkan bahwa *smart governance* di Tanjung Emas masih berada pada tahap "digitalisasi permukaan" (*surface digitalization*), di mana teknologi hadir sebagai alat pencatat, tetapi belum menjadi katalisator perubahan keputusan. Padahal, potensi *smart governance* sebagai katalisator *green port* sangat besar. Bayangkan sebuah skenario di mana data sensor pasang surut, data cuaca dari BMKG, data *draft* kapal dari agen pelayaran, dan data ketersediaan dermaga dari TOS semuanya terintegrasi dalam satu *platform* analitik. Sistem dapat secara otomatis merekomendasikan jadwal sandar optimal yang meminimalkan waktu tunggu sekaligus menghindari periode rob tinggi, atau mengaktifkan protokol *slow steaming* bagi kapal yang akan masuk saat kualitas udara di area pelabuhan sedang buruk. Skenario semacam ini hanya mungkin terwujud apabila tata kelola data menjadi prioritas institusional yang didukung oleh protokol, sumber daya manusia, dan kemauan politik lintas sektor. Tanpa elemen-elemen tersebut, investasi sensor dan perangkat hijau lainnya hanya akan menjadi "etalase teknologi" yang tidak menghasilkan dampak mitigasi lingkungan yang signifikan.

Hambatan Koordinasi Institusional

Analisis terdalam dan menjadi pembeda utama artikel ini terletak pada pembedahan hambatan koordinasi institusional antara Pelindo sebagai operator pelabuhan dan KSOP sebagai regulator di bawah Kementerian Perhubungan. Hambatan ini, dalam kerangka analitis penelitian ini, dikonseptualisasikan sebagai *institutional bottleneck* kemacetan pada level kelembagaan yang menghambat aliran data, keputusan, dan aksi yang seharusnya berjalan lancar dalam ekosistem *smart governance*. Secara yuridis, pembagian kewenangan antara Pelindo dan KSOP diatur dalam Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran dan berbagai peraturan turunannya. Pelindo, sebagai Badan Usaha Milik Negara, bertanggung jawab atas pengelolaan terminal dan fasilitas daratan pelabuhan, sementara KSOP memegang otoritas atas alur pelayaran, keselamatan pelayaran, dan perizinan kapal. Pembagian ini, yang pada dasarnya dirancang untuk menciptakan *check and balances*, dalam praktiknya justru menghasilkan fragmentasi yang kontraproduktif dalam konteks *green port*. Contoh paling konkret adalah dalam pengelolaan pendangkalan alur. Data sedimentasi dan kebutuhan pengerukan dikumpulkan oleh Pelindo melalui survei batimetri rutin, namun kewenangan untuk menetapkan prioritas dan melaksanakan pengerukan termasuk proses tender dan perizinan lingkungan berada di tangan KSOP dan Kementerian Perhubungan. Akibatnya, proses yang seharusnya responsif terhadap dinamika sedimentasi menjadi lamban karena harus melewati birokrasi berlapis yang tidak selalu sinkron dengan urgensi operasional. Lebih problematis lagi, belum terdapat platform data bersama (*shared data platform*) yang menghubungkan sistem informasi Pelindo dengan sistem informasi KSOP. Data *vessel traffic service* (VTS) yang dimiliki KSOP, yang mencakup pergerakan kapal secara *real-time*, tidak terintegrasi dengan TOS Pelindo yang mengelola operasional terminal. Data lingkungan seperti tinggi muka air dan kualitas udara yang dikumpulkan Pelindo juga tidak secara otomatis tersedia bagi KSOP

sebagai dasar pengaturan lalu lintas kapal. Masing-masing lembaga memiliki "silo data" sendiri-sendiri yang dibangun dengan standar, prioritas, dan kepentingan yang tidak selalu selaras. Kondisi ini diperburuk oleh belum adanya nota kesepahaman (MoU) atau perjanjian kerja sama teknis yang secara spesifik mengatur mekanisme berbagi data dan koordinasi responsif untuk mitigasi bencana iklim di pelabuhan. Perbedaan prioritas semakin menajam ketika Pelindo menekankan pada efisiensi komersial terminal, sementara KSOP menitikberatkan pada aspek keselamatan dan kepatuhan regulasi. Dalam situasi di mana rob tinggi memaksa penutupan sementara dermaga, misalnya, tidak terdapat protokol bersama yang jelas mengenai siapa yang berwenang memutuskan, kapan keputusan harus diambil, dan bagaimana informasi tersebut disebarluaskan ke seluruh pemangku kepentingan termasuk perusahaan pelayaran dan pengangkut. Fenomena *institutional bottleneck* ini menegaskan bahwa transformasi *green port* tidak dapat dicapai hanya dengan mengandalkan kemajuan teknologi pada level operator. Diperlukan transformasi tata kelola yang memungkinkan kolaborasi lintas sektor berjalan efektif, transparan, dan berbasis data. Tanpa pembenahan pada level kelembagaan ini, Pelabuhan Tanjung Emas akan terus terjebak dalam paradoks: semakin canggih teknologi yang dimiliki, semakin besar pula inefisiensi yang timbul akibat ketidakmampuan institusi untuk memanfaatkan teknologi tersebut secara terpadu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa kesiapan institusional Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dalam mengimplementasikan transformasi maritim berkelanjutan melalui lensa *smart governance* berada pada tahap transisi yang timpang (*uneven transition*). Pada dimensi teknologi, pelabuhan telah melangkah maju dengan diperkenalkannya berbagai perangkat digital dan sensor lingkungan. Namun, pada dimensi tata kelola yang merupakan inti dari *smart governance* kemajuan masih sangat terbatas. Data lingkungan dan operasional belum terintegrasi dalam sistem pengambilan keputusan yang proaktif, melainkan masih berfungsi sebagai alat monitoring pasif. Hambatan koordinasi antara Pelindo dan KSOP menjadi penghalang struktural yang signifikan, menciptakan silo-silo data dan memperlambat respons terhadap tantangan banjir rob, pendangkalan alur, dan kepadatan logistik. Dengan demikian, investasi pada *green hardware* belum disertai dengan pengembangan *governance software* yang memadai, sehingga efektivitas transformasi *green port* masih jauh dari potensi optimalnya. Rekomendasi Kebijakan, Berdasarkan temuan di atas, beberapa rekomendasi kebijakan yang aplikatif dapat diajukan. Pertama, pemerintah pusat melalui Kementerian Perhubungan dan Kementerian BUMN perlu mendorong pembentukan *Green Port Command Center* terintegrasi di Pelabuhan Tanjung Emas yang menghubungkan secara *real-time* data dari Pelindo, KSOP, BMKG, dan instansi terkait lainnya. *Command center* ini harus memiliki kewenangan untuk mengambil keputusan operasional cepat berbasis data, misalnya dalam hal penundaan sandar saat rob ekstrem atau pengaturan lalu lintas kapal saat kualitas udara memburuk. Kedua, perlu dilakukan revisi regulasi yang memberikan kewenangan lebih besar dan mekanisme yang lebih fleksibel kepada Pelindo dalam pengelolaan lingkungan alur, termasuk percepatan proses pengerukan sedimentasi tanpa harus menunggu birokrasi berjenjang. Ketiga, insentif fiskal seperti pengurangan pajak atau subsidi bunga pinjaman perlu diberikan kepada Pelindo untuk investasi pada teknologi hijau yang terintegrasi, termasuk pengembangan sistem analitik prediktif berbasis kecerdasan buatan untuk mitigasi dampak iklim. Keempat, pemerintah daerah Kota Semarang perlu dilibatkan secara aktif dalam kerangka kolaborasi mengingat persoalan banjir rob bersifat lintas batas administratif dan memerlukan solusi tata ruang yang terpadu antara kawasan pelabuhan dan kawasan pesisir sekitarnya.

Penulis menyampaikan apresiasi kepada PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo) Regional 3 dan Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan (KSOP) Kelas I Tanjung Emas atas akses data dan informasi yang mendukung pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada para reviewer anonim yang telah memberikan masukan konstruktif demi penyempurnaan artikel ini. Segala kesalahan dan kekurangan yang tersisa sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Acciaro, M., & Sys, C. (2020). *Environmental Sustainability in Seaports: A Framework for Successful Innovation*. *Maritime Policy & Management*, 47(3), 289–306.
- Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 11(4), 589–597.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Hendrawan, A., Sasongko, A., & ... (2021). *Pengaruh Umur Pelumasan Terhadap Suhu Mesin Induk KM*. *LOGISTIK NUSANTARA* 4. ... Transportasi Maritim. <https://pdfs.semanticscholar.org/d9c5/7f4ce99118937e49b0b7b615dce397ce61c0.pdf>
- Lam, J. S. L., & Li, K. X. (2019). *Green port and sustainable development: A conceptual framework*. *Transportation Research Part D*, 71, 1–13.
- 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>
- Meijer, A., & Bolivar, M. P. R. (2016). *Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance*. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392–408. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>
- Prasetyo, A. B., & Budiyanto, E. H. (2019). *Optimalisasi dwelling time melalui perbaikan sistem operasional di Terminal Peti Kemas Semarang*. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 17(1), 45–58. <https://doi.org/10.25104/transla.v17i1.1024>
- Sur, P., & Candès, E. J. (2019). *A modern maximum-likelihood theory for high-dimensional logistic regression*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810420116>