

**STRATEGI KEBIJAKAN *SMART PORT* BERBASIS *IOT* DAN *BLOCKCHAIN* UNTUK
KETAHANAN PANGAN INDONESIA**

Oleh

Puji Adiatna

Bagian Perencanaan, Setditjen Perhubungan Laut, Kementerian Perhubungan

Email: puji.adiatna2020@gmail.com

Abstrak

Ketahanan pangan nasional Indonesia sangat dipengaruhi oleh efisiensi dan keandalan sistem logistik, terutama mengingat kompleksitas geografis kepulauan yang luas. Pelabuhan, sebagai titik kunci dalam distribusi logistik, memiliki peran strategis dalam memastikan kelancaran arus pangan dari pusat produksi hingga ke konsumen akhir, terutama di daerah-daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Namun, saat ini, sistem logistik pangan nasional masih menghadapi berbagai tantangan, seperti tingginya biaya logistik, waktu tunggu kapal yang lama, kurangnya integrasi sistem informasi, dan minimnya transparansi dalam rantai pasok. Untuk mengatasi masalah ini, artikel kebijakan ini mengusulkan strategi penerapan pelabuhan pintar (smart port) yang memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dan blockchain sebagai solusi yang transformatif. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi logistik secara real-time, pencatatan transaksi yang permanen dan transparan, serta integrasi data di antara berbagai pemangku kepentingan. Artikel ini menggunakan metode analisis SWOT yang dipadukan dengan data sekunder dari Kementerian Perhubungan, PT. Pelindo, BPS, dan Badan Pangan Nasional. Kajian ini juga memperhatikan kerentanan distribusi pangan di kawasan Indonesia timur dan menyelaraskan intervensi dengan agenda RPJMN 2025–2029 serta target SDGs. Rekomendasi kebijakan mencakup: penetapan regulasi nasional mengenai standar teknologi dan digitalisasi pelabuhan; pengembangan proyek percontohan pelabuhan pintar pangan; integrasi sistem logistik digital nasional; insentif fiskal untuk teknologi hijau pelabuhan; serta peningkatan kapasitas SDM dan konektivitas ke pelabuhan kecil. Dengan kebijakan yang tepat, pelabuhan di Indonesia tidak hanya akan menjadi lebih efisien dan kompetitif secara global, tetapi juga berfungsi sebagai tulang punggung ketahanan pangan nasional yang inklusif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Smart Port, IoT, Blockchain, Logistik Pangan, Ketahanan Pangan

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan nasional adalah isu penting dalam pembangunan berkelanjutan yang dihadapi oleh banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau, tantangan dalam distribusi pangan di Indonesia tidak hanya berkaitan dengan faktor geografis, tetapi juga dengan kompleksitas sistem logistik yang mendukungnya (Medyawati et al., 2017). Masalah inefisiensi dalam logistik pangan menjadi salah satu penyebab tingginya harga pangan di daerah-daerah terpencil dan kurang berkembang

(Foster, 2021). Data dari Badan Pusat Statistik Tahun 2023 menunjukkan bahwa hampir 30% dari total biaya pangan di Indonesia berasal dari biaya logistik (Sofiyandi et al., 2023). Inefisiensi ini menciptakan perbedaan harga pangan antara daerah perkotaan dan pedesaan, terutama di wilayah timur Indonesia yang sulit dijangkau (Faharuddin et al., 2023). Biaya logistik yang tinggi tidak hanya menghambat distribusi pangan, tetapi juga berdampak pada ketahanan pangan secara keseluruhan di tingkat nasional.

Pelabuhan menjadi tulang punggung logistik di Indonesia sebagai negara kepulauan. Tetapi saat ini masih banyak pelabuhan yang masih terkendala dengan infrastruktur, lambatnya proses administrasi dan rendahnya pemanfaatan teknologi (Arry Rahmawan & Angelina, 2017). Berdasarkan data UNCTAD disebutkan bahwa kapal di Pelabuhan Indonesia rata-rata waktu tunggu lebih lama dibandingkan pelabuhan Singapura dan Malaysia, dimana di Indonesia mencapai 1,62 hari, sedangkan di Singapura hanya 0,91 hari dan Malaysia 1,42 hari (UNCTAD, 2022). Kondisi ini menggambarkan betapa mendesaknya diagnosis dan pembaruan sistem kerja di pelabuhan nasional. Bank Dunia menambahkan bahwa ongkos logistik Indonesia menyedot sekitar 24% dari PDB, jauh di atas rata-rata tetangga Asia Tenggara, termasuk Malaysia dan Singapura (Haris et al., 2022). Beban biaya itu sebagian besar diakibatkan dari pengelolaan pelabuhan yang belum optimal padahal pelabuhan sebagai infrastruktur yang seharusnya menjadi pintu gerbang ekonomi dan sebagai titik kunci distribusi pangan antarpulau.

Dengan kemajuan teknologi dan koneksi internet hari ini, maka sudah punya peluang besar untuk mengatasi masalah di pelabuhan lewat konsep smart port yang mengandalkan perangkat IoT dan sistem blockchain, sehingga tiap proses bongkar-muat dan cek inventaris dapat dilaporkan dalam detik yang sama dan diakses semua pihak (Bouhlal et al., 2022). Dalam blockchain, catatan setiap transaksi dikunci dalam blok yang tidak bisa diubah, membuat data logistik lebih transparan dan aman, serta mengurangi peluang seseorang mengatur ulang angka dan menyebabkan kapal tertahan oleh masalah administrasi (Atluri et al., 2022). Jika kedua teknologi itu dipakai secara luas, pelabuhan di Indonesia bukan hanya bisa mempercepat arus barang pangan, tetapi juga memperkuat ketahanan pangan di tingkat nasional. Berbagai studi sudah menunjukkan bahwa digitalisasi mampu menekan biaya,

meningkatkan daya saing, memperpendek waktu tunggu kapal, dan memberi informasi inventaris yang lebih akurat (Solmaz, 2021). Selain itu, setiap transaksi dalam blockchain akan terlihat oleh semua pihak yang terlibat dalam rantai pasok secara bersamaan yang akan mereduksi risiko penipuan karena setiap transaksi tercatat secara permanen dan setiap pihak bisa memeriksanya (Atluri et al., 2022). Sayangnya, di tingkat nasional, pelabuhan-pelabuhan Indonesia secara umum masih terkendala pada infrastruktur fisik yang belum memadai dan sumber daya manusia yang belum sepenuhnya terlatih (Sunitiyoso et al., 2022). Lebih jauh lagi, kurangnya kerjasama antara instansi pemerintah, operator pelabuhan, dan penyedia teknologi juga menjadi rintangan besar bagi implementasi sistem modern ini (Wahyuni et al., 2019). Meski demikian, dukungan pemerintah lewat regulasi seperti Peraturan Presiden Nomor 26 Tahun 2020 tentang Sistem Logistik Nasional memberi harapan baru untuk mendorong investasi, memperbaiki koordinasi, dan secara bertahap mengatasi berbagai hambatan yang ada.

Secara umum, peningkatan efisiensi sistem logistik maritim yang ditempuh untuk memperkuat ketahanan pangan pada tatanan nasional, masih menyisakan problem masalah mendasar dan struktural serta berkait teknologi. Masalah-masalah ini menghambat tidak hanya distribusi pangan antar region, tetapi juga mengakibatkan semakin terbentuknya kesenjangan ketahanan pangan antara bagian barat dan timur Indonesia. Oleh karena itu, upaya mengidentifikasi akar masalah ini cukup krusial dalam kebijakan yang akan diambil. Pertama, muncul dari banyaknya pelabuhan di Indonesia yang menggunakan sistem manual pada logistik yang belum terintegrasi dengan sistem yang lain. Adanya gap antara sistem pelabuhan dan operator logistik beserta pengguna jasa mengakibatkan rendahnya efisiensi operasional (Jayawibawa, 2025). Masih terdapat banyak keterlambatan dan juga hambatan ataupun kendala lainnya yang

menghalangi distribusi dan alur pengiriman pangan hingga ke daerah terpencil di Indonesia. Hal ini karena wilayah tersebut sangat mengandalkan moda transportasi laut. Selain itu, proses bongkar muat barang dalam sebuah pelabuhan belum sepenuhnya terkomputerisasi. Dalam hal dukungan teknologi informasi serta sistem otomatisasi mencakup logistik dan juga rantai pasokan, Indonesia masih cukup jauh tertinggal dibanding negara-negara lain.

Kedua, permasalahan transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasokan menghadapi isu yang serius, terutama dalam konteks logistik pangan (Aditomo, 2025). Tidak adanya sistem pencatatan digital, seperti *blockchain*, menumbuhkan kemungkinan terjadinya manipulasi, kehilangan barang, dan ketidakakuratan informasi mengenai status kargo. Hal ini mengakibatkan kepercayaan antar pemangku kepentingan dalam ekosistem logistik, yaitu pemerintah hingga masyarakat, menjadi lemah. Distribusi pangan yang dimaksudkan untuk menjaga stabilitas keamanan serta kesiapan pasokan justru seringkali mudah terganggu. Ketiga, biaya yang tinggi menjadi salah satu penghalang utama bagi stabilitas harga pangan nasional. Sebagaimana diungkapkan Mabrori (2025), data dari Kementerian Perhubungan menunjukkan bahwa Indonesia masih tergolong memiliki biaya logistik tinggi. Dampak langsung dari tingginya biaya ini berdampak terhadap pembelian pangan masyarakat khususnya di daerah Timur dan kepulauan dimana beras menjadi sangat mahal bahkan hampir dua kali lipat dibandingkan di pulau Jawa.

Keempat, kesenjangan dalam infrastruktur digital antara pelabuhan besar dan pelabuhan menengah-kecil semakin mempertinggi disparitas logistik. Banyak pelabuhan di luar Jawa masih kekurangan akses ke koneksi internet yang stabil, sistem informasi pelabuhan yang terintegrasi, perangkat IoT, atau bahkan teknologi *blockchain*. Akibatnya, potensi transformasi

menjadi pelabuhan pintar tidak dimanfaatkan secara merata di seluruh Indonesia. Ini semakin memperkuat dominasi pelabuhan besar sementara menghambat distribusi logistik kebutuhan pokok yang merata ke daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal) (Mabrori, 2025). Kelima, keterbatasan dalam kapasitas sumber daya manusia merupakan tantangan relevan yang dihadapi pelabuhan terkait transformasi digital (Raja, 2025). Sebagian besar pekerja pelabuhan belum mendapatkan pelatihan yang cukup terkait teknologi modern seperti sistem manajemen logistik berbasis IoT atau pencatatan transaksi *blockchain*. Penerapan kebijakan cerdas yang memerlukan tingkat keahlian teknis yang tinggi menghadapi tantangan karena kurangnya keterampilan digital dasar di antara para operator ini.

Keenam, kurangnya kerangka regulasi nasional yang jelas untuk mendukung digitalisasi pelabuhan menjadi penghalang bagi adopsi teknologi secara menyeluruh. Sampai saat ini, belum ada regulasi teknis dan kebijakan insentif yang mendorong penggunaan *blockchain* dalam sistem pelabuhan, maupun integrasi penuh IoT dalam jaringan logistik nasional (Raja, 2025). Ketidakpastian dalam regulasi ini membuat banyak operator dan pemerintah daerah ragu untuk menginvestasikan sumber daya pada inovasi teknologi. Terakhir, tantangan pembiayaan tetap menjadi masalah klasik dalam setiap transformasi infrastruktur (Samudera, 2025). Penerapan teknologi cerdas memerlukan investasi awal yang cukup besar, baik untuk perangkat keras seperti sensor dan server, maupun untuk pengembangan sistem dan pelatihan sumber daya manusia. Pelabuhan-pelabuhan kecil dan menengah yang tersebar di wilayah timur Indonesia sering kali kesulitan mendapatkan pendanaan dari APBN maupun sektor swasta, sehingga mereka tidak dapat mengikuti laju transformasi digital nasional.

Dari pemahaman yang mendalam tentang tujuh masalah pokok di atas, bisa disampaikan

bahwa masalah utama (*problem statement*) adalah keberadaan pelabuhan, terutama di daerah timur dan 3T (terdepan, terluar, tertinggal) yang masih bergantung pada sistem manual yang tidak terintegrasi. Hal ini menyebabkan proses penanganan kargo yang lambat, waktu tunggu kapal yang terlalu tinggi, dan biaya logistik yang mahal. Inefisiensi ini berdampak langsung pada melambungnya harga komoditas pangan dan menghambat distribusi pasokan yang adil di daerah-daerah rentan. Selain itu, kurangnya transparansi dalam rantai pasokan, celah dalam infrastruktur digital, terbatasnya kemampuan sumber daya manusia, kurangnya regulasi pendukung yang akan mendorong pergeseran menuju transformasi pelabuhan digital menambah kompleksitas lebih lanjut pada masalah ini. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang secara aktif mendukung penerapan teknologi berbasis *IoT* dan *Blockchain* untuk Pelabuhan Pintar yang bertujuan membangun sistem logistik pangan yang inklusif dan transparan guna memperkuat ketahanan pangan nasional secara adil dan berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang di atas, artikel kebijakan ini bertujuan untuk merumuskan strategi dan rekomendasi kebijakan yang komprehensif dalam rangka mendorong transformasi sistem logistik maritim Indonesia melalui optimalisasi penerapan teknologi *Smart Port* berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Blockchain*. Dengan fokus pada pelabuhan sebagai simpul utama distribusi logistik pangan, artikel ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi solusi terhadap inefisiensi operasional, kurangnya transparansi rantai pasok, serta tingginya biaya distribusi pangan yang selama ini menjadi penghambat pemerataan ketahanan pangan nasional.

Artikel ini menggunakan—pendekatan kuantitatif dan analisis SWOT yang memadukan data sekunder dari Kementerian Perhubungan, Badan Pangan Nasional, PT Pelindo, dan BPS untuk pelabuhan Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Belawan

sebagai studi kasus. Pembatasan pada tiga pelabuhan strategis ini bersifat purposif untuk menggambarkan kondisi infrastruktur digital dan kesiapan adopsi *IoT-blockchain*. Keterbatasan studi mencakup ketergantungan pada data sekunder yang mungkin tidak sepenuhnya merefleksikan dinamika lapangan *real-time*, serta cakupan pelabuhan kecil yang belum terangkat. Dengan memusatkan analisis pada matriks SWOT, studi ini mengidentifikasi prioritas intervensi yang jelas dan kohesif, tanpa tumpang tindih metode. Berdasarkan pemetaan SWOT, rekomendasi kebijakan dihasilkan melalui penilaian kritis terhadap setiap strategi menggunakan kriteria efektivitas, efisiensi, dan dampak jangka panjang. Pendekatan ini memastikan bahwa roadmap transformasi digital pelabuhan menjadi *Smart Port* didasarkan pada kekuatan dan peluang yang ada, sekaligus mengatasi kelemahan dan mengantisipasi ancaman, sehingga mampu memperkuat ketahanan pangan nasional secara berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelabuhan memiliki peran yang sangat krusial dalam sistem logistik pangan di Indonesia, terutama sebagai tautan utama untuk mendistribusikan komoditas strategis seperti beras, jagung, dan kedelai. Namun, laporan World Bank (2023) menunjukkan bahwa biaya logistik di Indonesia diperkirakan sekitar 23-24% dari PDB yang jauh lebih tinggi dibandingkan Malaysia (13%) atau Singapura (8%). Ketidakseimbangan ini menjadi salah satu tantangan utama sistem logistik nasional, terutama dalam konteks ketahanan pangan. Perbedaan harga pangan pokok antara bagian barat dan timur Indonesia tetap mencolok dengan wilayah terpencil seperti Papua dimana harga dua hingga tiga kali lebih tinggi dibandingkan di pulau Jawa (Badan Pangan Nasional, 2024).

Teori sistem logistik menjelaskan bahwa efisiensi juga ditentukan oleh proses koordinasi pada kecepatan distribusi (Ivanova et al., 2021).

Internet of Things (IoT) dan *blockchain* dapat mengatasi tantangan tersebut. IoT sudah mendukung pengumpulan data secara *real-time*, sedangkan *blockchain* bisa untuk transparansi data (Athavale et al., 2020). Penerapan *Smart Port* berbasis IoT serta *Blockchain* sangat penting untuk mewujudkan ketahanan pangan. Ketahanan pangan berkaitan tidak hanya dengan produksi, tetapi juga sistem pendistribusian yang efektif dan efisien. Perhatian penanganan distribusi pangan bagi Indonesia bagian timur yang rentan terhadap masalah pangan, menjadikan modernisasi pelabuhan sangat penting untuk mencapai keadilan pangan nasional.

Kebijakan transportasi laut harus berfokus pada transformasi digital pelabuhan. IoT dapat memantau pergerakan kapal dan kondisi muatan, sementara *blockchain* memberikan transparansi dan keandalan data. Pemerintah perlu mengidentifikasi pelabuhan strategis untuk penerapan *Smart Port* mengenai efektivitas biaya. Digunakannya teknologi digital di pelabuhan memerlukan kebijakan yang melibatkan berbagai kementerian dengan memberikan insentif pelaksanaan teknologi digital di pelabuhan. Penggunaan kombinasi kedua teknologi ini akan memastikan ketersediaan pangan di daerah terpencil serta mengurangi inefisiensi.

Kebijakan transportasi laut yang mengintegrasikan *Smart Port* berbasis IoT dan *Blockchain* sejalan dengan agenda nasional untuk memperkuat konektivitas maritim dan kedaulatan pangan. Di tingkat global, kebijakan ini juga berkontribusi pada pencapaian SDGs (*Sustainable Development Goals*), terutama tujuan 2 (zero hunger), 9 (industri, inovasi, dan infrastruktur), serta 13 (aksi iklim). Dengan adanya infrastruktur pelabuhan yang cerdas dan efisien, Indonesia dapat mengurangi kesenjangan ketahanan pangan antar wilayah dan memastikan bahwa akses terhadap pangan menjadi hak bagi semua warga negara, tanpa memandang lokasi geografis mereka. Oleh karena itu, kebijakan ini tidak hanya bersifat

teknis-logistik, tetapi juga strategis dalam mendukung pemerataan pembangunan dan keadilan sosial.

Analisis Badan Pangan Nasional melalui *Food Security and Vulnerability Atlas (FSVA)* 2024 mengungkapkan adanya pola musiman dalam arus logistik pangan yang sejalan dengan siklus panen (Badan Pangan Nasional, 2024). Selama puncak musim panen padi antara April hingga Juni, pelabuhan-pelabuhan besar mencatat peningkatan keluaran hingga 25%. Namun, pada periode antara panen dari Juli hingga September, terjadi penurunan sebesar 15%. Dengan penerapan IoT di simpul pelabuhan, pemantauan arus kargo secara *real-time* menjadi mungkin, sementara teknologi *blockchain* memberikan jejak yang tidak dapat diubah untuk setiap pengiriman. Ini memungkinkan otoritas untuk lebih siap menghadapi potensi kekurangan stok di daerah yang rawan pangan.

Data Statistik BPS Tahun 2023 menegaskan adanya ketidakmerataan dalam distribusi komoditas pangan antarwilayah: wilayah barat menyuplai 60% dari total volume, sementara wilayah timur hanya menerima 40%, meskipun permintaan di sana terus meningkat (BPS, 2024). Pola ini menunjukkan perlunya intervensi dalam kebijakan transportasi laut, seperti memperkuat rute Tol Laut dan trayek perintis menuju pelabuhan-pelabuhan regional di Indonesia Timur. Ini penting untuk menyeimbangkan akses logistik dan memastikan ketersediaan pangan di seluruh provinsi. Sementara keberadaan Infrastruktur digital pelabuhan yang cerdas, didukung oleh IoT dan *blockchain* akan penting, menjadi kunci untuk memastikan proses ini berjalan dengan efisien, transparan, dan akuntabel.

Dalam konteks pembangunan sistem transportasi laut yang terintegrasi untuk mendukung ketahanan pangan nasional, penting untuk memahami indikator fundamental yang menggambarkan kondisi pangan masyarakat. Salah satu indikator yang

menjadi tolok ukur global adalah *Prevalence of Undernourishment* (PoU), yaitu persentase populasi yang mengonsumsi energi (kalori) harian di bawah ambang batas minimum yang diperlukan untuk mempertahankan kehidupan sehat dan produktif. Ambang batas ini umumnya ditetapkan sebesar 2.100 kilokalori per kapita per hari, dan dihitung dengan memperhitungkan variabel biologis seperti jenis kelamin, usia, berat badan, tinggi badan, serta tingkat aktivitas fisik individu.

Data PoU memiliki nilai strategis dalam pengambilan keputusan kebijakan transportasi laut karena menunjukkan tingkat ketercukupan konsumsi pangan Masyarakat yang pada dasarnya sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem distribusi pangan antarwilayah. Jika sistem transportasi logistik, khususnya yang berbasis pelabuhan, tidak efisien dan tidak merata menjangkau wilayah-wilayah 3TP, maka akses pangan akan terganggu dan nilai PoU berpotensi meningkat. Oleh karena itu, nilai PoU dapat digunakan sebagai indikator tidak langsung untuk mengukur performa logistik maritim dalam mendukung ketahanan pangan.

Menurut Badan Pangan Nasional (2024) pada tahun 2023, nilai PoU Indonesia tercatat sebesar 8,53%, yang berarti lebih dari 27 juta penduduk masih mengalami defisit energi konsumsi harian. Dengan menjadikan pelabuhan sebagai simpul logistik yang efisien, transparan, dan adaptif terhadap dinamika pasokan dan permintaan pangan, maka aksesibilitas terhadap pangan pokok dapat dijamin secara merata di seluruh Indonesia. Langkah strategis ini pada akhirnya akan berdampak langsung terhadap pengurangan angka kerawanan pangan dan mempercepat pencapaian tujuan ketahanan pangan nasional yang inklusif dan berkelanjutan.

Dalam kerangka penguatan kebijakan ketahanan pangan melalui optimalisasi sistem transportasi laut, perlu disoroti bahwa kesenjangan geografis juga tercermin dalam disparitas *Prevalence of Undernourishment*

(PoU) antarwilayah di Indonesia. Secara spasial, provinsi-provinsi di kawasan timur Indonesia menunjukkan nilai PoU yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah barat. Hal ini mengindikasikan bahwa proporsi penduduk yang belum terpenuhi kebutuhan konsumsi energinya masih sangat besar di kawasan timur, sehingga menjadi kelompok yang paling rentan terhadap krisis pangan.

Data tersebut menggarisbawahi perlunya intervensi kebijakan transportasi laut yang diarahkan secara lebih afirmatif untuk memperkuat aksesibilitas pangan antarwilayah, khususnya melalui peran strategis pelabuhan sebagai pusat distribusi pangan. Dengan mengedepankan pendekatan berbasis teknologi seperti *Smart Port* yang mengintegrasikan IoT dan blockchain, wilayah dengan indeks PoU tinggi dapat difasilitasi untuk menerima pasokan pangan secara lebih efisien, transparan, dan tepat waktu. Hal ini bukan hanya soal logistik, tetapi menyangkut hak dasar masyarakat untuk hidup sehat dan produktif secara merata di seluruh Nusantara.

Peta Cadangan Beras Pemerintah Daerah (CBPP) Minggu IV Desember 2023 menunjukkan ketimpangan distribusi stok pangan antarprovinsi di Indonesia. Provinsi-provinsi di wilayah barat dan tengah, seperti Jawa Barat (2.161,14 ton), Kalimantan Barat (410,95 ton), dan Sumatera Barat (403,88 ton), memiliki cadangan beras yang jauh lebih tinggi dibandingkan wilayah-wilayah di Indonesia timur, khususnya Papua, Papua Pegunungan, dan Papua Tengah yang belum memiliki CBPP atau bahkan belum memiliki regulasi yang mendukung pembentukan cadangan tersebut. Ketimpangan ini menandakan adanya kesenjangan dalam ketahanan pangan antarwilayah serta potensi kerentanan tinggi di wilayah timur Indonesia (Badan Pangan Nasional, 2024).

Situasi ini memperkuat urgensi intervensi kebijakan transportasi laut untuk memperkuat ketahanan pangan nasional. Transportasi laut penting untuk distribusi pangan dari daerah

surplus ke defisit, terutama untuk wilayah 3T. Sebagai tindak lanjut kebijakan, pemerintah perlu menetapkan pelabuhan utama sebagai simpul distribusi pangan regional. Integrasi sistem logistik berbasis teknologi dan peningkatan frekuensi kapal logistik perlu diadopsi sebagai bagian dari kebijakan jangka menengah. Pendekatan ini akan memperkuat sistem ketahanan pangan nasional dengan memanfaatkan jalur laut sebagai tulang punggung distribusi yang adil dan efisien.

Data konsumsi beras per provinsi di Indonesia tahun 2023 mengungkapkan ketidakseimbangan antara tingkat konsumsi dan potensi produksi atau distribusi beras di berbagai wilayah (Badan Pangan Nasional, 2024). Provinsi seperti Nusa Tenggara Barat (119,4%), Sulawesi Barat (116,8%), dan Nusa Tenggara Timur (110,1%) mencatatkan konsumsi di atas 100%, yang menunjukkan adanya tekanan terhadap pasokan lokal dan potensi ketergantungan terhadap pasokan dari luar wilayah. Sebaliknya, Papua hanya mencatat konsumsi 59,5%, yang dapat menandakan keterbatasan akses atau rendahnya ketergantungan pada beras karena pola konsumsi berbeda, tetapi juga dapat menjadi indikator kerentanan terhadap distribusi pangan nasional yang tidak merata.

Kesenjangan konsumsi ini menegaskan perlunya intervensi kebijakan transportasi laut yang lebih terencana untuk menjamin distribusi beras antarpulau secara adil dan efisien. Daerah-daerah dengan konsumsi tinggi memerlukan suplai reguler yang andal dari daerah surplus, sementara daerah dengan konsumsi rendah perlu dianalisis lebih lanjut apakah disebabkan oleh kendala logistik, rendahnya daya beli, atau preferensi pangan lokal. Dalam konteks ini, keberadaan dan keterhubungan pelabuhan logistik pangan menjadi sangat krusial sebagai titik distribusi utama dalam mendukung rantai pasok beras nasional. Sebagai respons kebijakan, penguatan sistem tol laut dan pelayaran perintis yang melayani daerah-daerah dengan konsumsi

tinggi dan pasokan terbatas sangat diperlukan. Pemerintah juga perlu mendorong digitalisasi rantai pasok dengan integrasi data konsumsi dan distribusi untuk memetakan kebutuhan secara *real-time*. Pelabuhan-pelabuhan seperti Kupang, Mamuju, dan Bima dapat dikembangkan menjadi simpul logistik regional yang didukung oleh infrastruktur dingin, pergudangan, dan sistem monitoring transportasi berbasis teknologi guna mengurangi kerentanan pangan dan meningkatkan ketahanan di wilayah timur dan kepulauan Indonesia.

Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan Tahun 2023 yang dirilis oleh Badan Pangan Nasional (2024) mengungkapkan bahwa sebanyak 68 kabupaten/kota (13% dari total wilayah administratif) tergolong rentan terhadap rawan pangan. Wilayah-wilayah dengan kerentanan tertinggi tersebar di Indonesia Timur, wilayah 3T (Terdepan, Terluar, dan Tertinggal), serta wilayah kepulauan. Ciri utama dari daerah-daerah ini adalah produksi pangan yang tidak mencukupi kebutuhan lokal, tingginya prevalensi stunting pada balita, terbatasnya akses terhadap air bersih, dan tingginya angka kemiskinan. Dari sisi kebijakan transportasi laut, kondisi tersebut menyoroti pentingnya intervensi strategis dalam memperkuat konektivitas logistik pangan ke daerah-daerah rawan. Banyak dari wilayah yang terindikasi rentan berada jauh dari pusat-pusat produksi dan distribusi utama, dengan tantangan geografis berupa laut, perbukitan, dan keterisolasian transportasi. Pelabuhan-pelabuhan kecil di wilayah timur Indonesia dan kepulauan terluar sering kali belum memiliki infrastruktur yang memadai untuk bongkar muat pangan dalam skala besar, atau hanya dilayani pelayaran yang tidak rutin dan bergantung pada cuaca.

Untuk menjawab tantangan ini, kebijakan transportasi laut harus diarahkan pada peningkatan frekuensi dan jangkauan tol laut serta optimalisasi pelayaran perintis sebagai tulang punggung distribusi logistik pangan.

Perluasan jejaring pelabuhan feeder dan pembangunan pusat distribusi logistik regional yang dilengkapi dengan fasilitas penyimpanan dingin dan sistem pemantauan digital akan memperkuat ketahanan pangan daerah. Selain itu, insentif bagi operator logistik laut untuk menjangkau wilayah-wilayah non-komersial juga menjadi bagian penting dari strategi nasional untuk mengurangi kerentanan pangan dan meningkatkan pemerataan kesejahteraan.

Lokasi Kawasan Strategis dalam RPJMN 2025-2029 menunjukkan 12 wilayah prioritas yang akan dikembangkan sebagai kawasan sentra produksi pangan (KSPP) atau food state, dengan komoditas utama seperti padi, jagung, kedelai, cabai, bawang merah, tebu, dan komoditas hortikultura lainnya. Wilayah-wilayah ini tersebar di Sumatera, Kalimantan, Papua, dan Nusa Tenggara Timur, termasuk juga kawasan 3T yang selama ini dikenal rentan pangan. Lokasi ini berperan sebagai respons kebijakan proaktif terhadap ketimpangan distribusi pangan nasional, yang terlihat jelas dalam dua data sebelumnya yaitu tingkat konsumsi beras per provinsi dan tingkat kerentanan pangan. Wilayah-wilayah dengan konsumsi tinggi tapi produksi rendah (seperti NTT, Papua, Sulawesi Barat), serta wilayah-wilayah dengan ketahanan pangan rendah, kini diarahkan menjadi pusat produksi pangan untuk meningkatkan swadaya pangan regional dan nasional.

Dukungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut

Pada RPJMN 2025–2029 menandai penyebaran dan distribusi fasilitas pelabuhan yang digunakan untuk mendukung pengembangan food estate di provinsi-provinsi Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Timur, Papua, dan Papua Selatan. Pelabuhan-pelabuhan tersebut dimiliki oleh Kementerian Perhubungan maupun PT Pelindo yang dilengkapi dengan Tol Laut dan jalur perintis bertujuan untuk memperkuat *food estate* yang tumbuh di enam provinsi prioritas (Bappenas, 2023). Dari sudut

pandang ketahanan pangan serta penilaian kerentanan, pola distribusi dan rasio ini jelas terlibat di wilayah 3T serta daerah yang sebelumnya dianggap sebagai zona rawan pangan yang sulit dijangkau melalui darat. Dengan menggunakan rute Tol Laut dan pelabuhan perintis sebagai pusat distribusi logistik pangan, kebijakan ini mengurangi hambatan logistik, biaya pengiriman, dan waktu pengiriman dari food estate ke pasar lokal. Model ini sangat penting dalam menyediakan pasokan cabai, jagung, padi, dan komoditas hortikultura yang stabil ke bagian timur Indonesia yang paling membutuhkannya mengingat bahwa daerah-daerah ini masih menghadapi tingkat stunting dan angka kemiskinan yang tinggi pada kebutuhan dasar (Badan Pangan Nasional, 2024).

Selanjutnya, untuk mendukung intervensi kebijakan dalam transportasi laut, perlu memperbaiki infrastruktur pelabuhan. Dalam hal ini, peningkatan kapasitas dermaga dan kekuatan *cold chain* serta digitalisasi proses bongkar muat perlu dilakukan (ERIA, 2019). Setiap regulasi yang ada harus tercipta keberlanjutan pada trayek perintis dan Tol Laut Serta memberikan insentif bagi operator agar mampu mengoptimalkan frekuensi pelayaran di pelabuhan non komersil. Dengan menyelaraskan rencana induk pelabuhan dengan peta lumbung pangan, sistem logistik pangan nasional dapat diperkuat bersamaan dengan pengurangan kerentanan di daerah terpencil dan percepatan pemerataan ketahanan pangan di seluruh nusantara.

Implementasi Teknologi: Analisis IoT dan Blockchain

Implementasi teknologi IoT terhadap pelabuhan Indonesia sudah menjadi salah satu langkah paling berarti untuk peningkatan efisiensi logistik pangan. Pada bidang pemantauan, sensor IoT memungkinkan untuk memonitor suhu, kelembaban, dan posisi kontainer secara real-time (Salah et al., 2020). Ini sangat penting demi menjaga mutu pangan apalagi pada komoditas perlakuan khusus

seperti beras, jagung dan kedelai. Seperti pada Pelabuhan Tanjung Priok, penerapan IoT oleh Pelindo telah berhasil menurunkan kerusakan barang selama tahap transportasi sampai 25% (PT. Pelindo, 2023). Tidak hanya itu saja, hasil dari penerapan otomatisasi berbasis IoT terhadap pengoptimalan proses bongkar muat yang langsung berimplikasi kepada pengurangan waktu tunggu kapal mencapai 20-25%.

Blockchain, di sisi lain, menawarkan solusi yang hebat untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasok logistik pangan. Teknologi ini memungkinkan pencatatan transaksi logistik yang tidak bisa diubah dan dapat diakses oleh semua pemangku kepentingan secara *real-time*. Selain itu, blockchain juga memberikan jaminan keamanan data, yang membantu mengurangi risiko manipulasi atau kehilangan informasi selama proses logistik (Ellahi et al., 2023). Ketika IoT dan blockchain digunakan bersama-sama, mereka menciptakan sistem logistik yang terintegrasi dan efisien. Sensor IoT memberikan data real-time tentang kondisi dan lokasi barang, sementara blockchain memastikan bahwa data tersebut tercatat dengan aman dan transparan. Kombinasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga membangun kepercayaan antara semua pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, operator pelabuhan, distributor pangan, dan konsumen akhir.

Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu hambatan utama adalah infrastruktur teknologi yang tidak merata di seluruh pelabuhan nasional. Pelabuhan kecil di bagian timur Indonesia sering kali kesulitan mendapatkan akses ke jaringan internet yang stabil atau fasilitas pendukung lainnya. Selain itu, ada juga resistensi terhadap perubahan dan kurangnya pelatihan teknis bagi tenaga kerja pelabuhan, yang menjadi kendala signifikan. Oleh karena itu, diperlukan investasi besar dalam infrastruktur digital dan pengembangan

kapasitas sumber daya manusia untuk memastikan keberhasilan penerapan IoT dan blockchain di seluruh pelabuhan nasional.

Konsep "*Smart Port*" merujuk pada pelabuhan yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi dampak lingkungan (Al-Fatlawi & Motlak, 2023). Di Indonesia, penerapan konsep ini masih dalam tahap awal, tetapi memiliki potensi besar untuk mengatasi tantangan logistik yang ada (Ritonga et al., 2022). Studi menunjukkan bahwa pelabuhan yang mengadopsi teknologi IoT dapat mengurangi waktu tunggu kapal hingga 40% dan meningkatkan efisiensi energi hingga 25% (Muñuzuri et al., 2020). Dengan demikian, investasi dalam teknologi ini tidak hanya akan mempercepat proses logistik, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dan pertumbuhan ekonomi yang lebih baik di sektor pelabuhan.

Sebagai langkah awal dalam menerapkan kebijakan transportasi laut untuk mendukung ketahanan pangan, penting untuk mengidentifikasi pelabuhan yang bisa dijadikan proyek percontohan. Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta muncul sebagai kandidat utama karena merupakan pelabuhan terbesar di Indonesia dengan volume logistik pangan tertinggi, terutama untuk komoditas seperti beras, jagung, kedelai, dan produk hortikultura. Selain itu, bersama dengan pelabuhan Belawan (Medan) dan Tanjung Perak (Surabaya) juga memainkan peran penting dalam distribusi logistik pangan ke dan dari kawasan Timur Indonesia. Sementara, Pelabuhan Tenau (Kupang), Pelabuhan Merauke, dan Pelabuhan Manokwari diprioritaskan sebagai simpul logistik regional untuk mendukung lumbung pangan di kawasan Indonesia Timur dan daerah 3T, sesuai dengan peta lumbung pangan 2025–2029 (Bappenas, 2024; BSIP SDLP, 2024).

Dari segi kesiapan teknologi, Pelabuhan Tanjung Priok dan Tanjung Perak telah mengadopsi sistem *Port Community System* (PCS) dan mulai mengintegrasikan teknologi

Internet of Things (IoT) melalui pelacakan kontainer pintar, digital *gate pass*, dan sistem manajemen bongkar muat otomatis. PT Pelindo juga mencatat kesiapan infrastruktur digital melalui Terminal Operating System (TOS) dan pilot implementasi teknologi Blockchain untuk digital bill of lading dan smart contract. Namun, kesiapan ini belum merata di pelabuhan kelas menengah seperti Tenau atau Merauke, yang masih menghadapi tantangan dalam hal jaringan data, sistem informasi logistik terpusat, dan kapasitas SDM dalam pengelolaan teknologi digital pelabuhan (Kemenhub, 2024a; Pelindo, 2024b).

Analisis kesenjangan (gap analysis) mengungkapkan bahwa tantangan utama dalam penerapan IoT dan Blockchain di pelabuhan terletak pada perbedaan infrastruktur digital antarwilayah, kurangnya integrasi platform logistik nasional, serta belum adanya kebijakan insentif dan regulasi khusus dari Kemenhub untuk mendukung transformasi digital pelabuhan yang berfokus pada komoditas pangan. Untuk itu, diperlukan pengembangan *roadmap* pelabuhan pintar (*smart port*) yang berbasis klaster pangan, dimulai dari pelabuhan-pelabuhan strategis di jaringan Tol Laut, serta kolaborasi yang lebih intensif antara Ditjen Perhubungan Laut, PT Pelindo, dan Kementerian Pertanian. Dengan mengatasi kesenjangan ini, sistem transportasi laut akan mampu mendukung rantai pasok pangan yang lebih tangguh, transparan, dan adaptif terhadap tantangan distribusi di masa depan (Bappenas, 2023; Kemenhub, 2024b).

Di Indonesia, tantangan dalam logistik pangan semakin rumit karena faktor geografis sebagai negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17.000 pulau. Ketergantungan pada pelabuhan sebagai titik distribusi utama membuat efisiensi operasional pelabuhan sangat penting untuk memastikan ketersediaan pangan yang merata di seluruh wilayah. Namun, data dari Badan Pangan Nasional (2024) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam distribusi pangan, di mana

harga di daerah terpencil seperti Papua dan Nusa Tenggara Timur bisa mencapai dua hingga tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah di Pulau Jawa. Ini menunjukkan adanya inefisiensi dalam rantai logistik yang memerlukan solusi berbasis teknologi.

Teknologi IoT telah terbukti sangat efektif dalam mengatasi berbagai tantangan logistik. Dengan adanya sensor IoT, maka bisa memantau kondisi kontainer secara real-time, seperti suhu, kelembaban, dan posisi, yang sangat krusial untuk menjaga kualitas pangan selama proses transportasi. Selain itu, otomatisasi proses bongkar muat yang berbasis IoT di pelabuhan utama seperti Tanjung Priok telah berhasil mengurangi waktu tunggu kapal hingga 25% (Pelindo, 2024b). Di sisi lain, teknologi blockchain juga berperan penting dalam meningkatkan transparansi dan efisiensi dalam administrasi logistik. Dengan mencatat semua transaksi logistik secara digital dan permanen, blockchain mampu memangkas waktu pengurusan dokumen hingga 40% (Blockchain Today, 2023).

Relevansi penerapan teknologi IoT dan blockchain semakin diperlukan dalam upaya mendukung ketahanan pangan nasional. Teknologi ini tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memastikan bahwa distribusi pangan berlangsung dengan transparan dan akuntabel. Dengan adanya pemantauan secara real-time dan pencatatan data yang aman, risiko kehilangan barang atau manipulasi data dapat diminimalkan. Hal ini tentunya memberikan manfaat langsung kepada konsumen, seperti harga pangan yang lebih terjangkau.

Identifikasi Implementasi IoT dan Blockchain di Pelabuhan

Teknologi IoT telah membuka jalan bagi pengumpulan dan analisis data secara *real-time*, yang sangat krusial dalam pengelolaan logistik pangan. Dengan menggunakan sensor IoT akan bisa memantau kondisi barang, seperti suhu dan kelembaban, yang merupakan faktor

penting untuk menjaga kualitas produk pangan. Menurut penelitian, penggunaan sensor IoT di pelabuhan dapat mengurangi kerugian akibat pembusukan produk pangan (Sangeetha & Vijayalakshmi, 2020). Jadi, penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memastikan bahwa pangan yang sampai ke konsumen aman dan berkualitas. Ketahanan pangan nasional Indonesia pada tahun 2023 menunjukkan dinamika yang cukup kompleks, dipengaruhi oleh fluktuasi produksi, permintaan domestik, dan tantangan dalam distribusi. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Badan Pangan Nasional (Bapanas) menunjukkan bahwa produksi beras mengalami penurunan sebesar 2,43% dibandingkan tahun sebelumnya, mencapai 30,34 juta ton. Penurunan ini disebabkan oleh keterlambatan musim tanam dan panen akibat cuaca kering yang berkepanjangan. (Kurniawati, 2024).

Permintaan pangan domestik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perubahan pola konsumsi. Laporan "Statistik Konsumsi Pangan 2023" yang dirilis oleh Kementerian Pertanian menunjukkan bahwa konsumsi per kapita untuk komoditas utama seperti beras, jagung, dan kedelai telah meningkat dalam lima tahun terakhir. Kenaikan ini mencerminkan kebutuhan akan sistem produksi dan distribusi yang lebih efisien untuk memenuhi permintaan yang terus bertambah (Kementan, 2023). Di tingkat global, laporan "Food Outlook" dari Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) mencatat bahwa pasar pangan dunia menghadapi tantangan akibat ketidakpastian iklim dan gangguan rantai pasok. Indonesia, sebagai bagian dari pasar global, perlu memperkuat sistem ketahanan pangan domestik dengan cara mendiversifikasi sumber pangan, meningkatkan efisiensi produksi, dan memperkuat infrastruktur distribusi untuk mengurangi ketergantungan pada impor serta meningkatkan kemandirian pangan nasional (FAO, 2023).

Penelitian lain menunjukkan bahwa penerapan IoT telah menjadi salah satu kunci dalam modernisasi pelabuhan di Indonesia. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi kontainer melalui sensor yang memberikan informasi secara real-time tentang suhu, kelembaban, dan lokasi (Cil et al., 2022). Selain itu, IoT juga memungkinkan optimalisasi perencanaan bongkar muat dengan mengintegrasikan data operasional ke dalam satu sistem pusat yang dapat diakses oleh semua pemangku kepentingan, termasuk operator pelabuhan, perusahaan logistik, dan otoritas pemerintah (Ahmad Antouz et al., 2023). Penggunaan IoT juga membantu dalam pelacakan lokasi kontainer secara akurat, sehingga memudahkan proses pengiriman dan penerimaan barang. Dengan sistem pelacakan yang efisien, pihak-pihak terkait dapat memperoleh informasi terkini mengenai status pengiriman, yang pada gilirannya meningkatkan kepercayaan antara produsen, distributor, dan konsumen (Salah et al., 2020). Selain itu, penerapan teknologi ini dapat menurunkan biaya operasional dan meningkatkan produktivitas pelabuhan secara keseluruhan, menjadikannya lebih kompetitif di pasar global.

Blockchain, meskipun masih dalam tahap awal adopsi di pelabuhan Indonesia, telah mulai digunakan untuk meningkatkan transparansi dalam rantai pasok logistik. Teknologi ini memungkinkan pencatatan transaksi secara permanen dan tidak dapat diubah, sehingga mengurangi risiko penipuan data dan mempermudah proses audit (Hafizon et al., 2019). Sebagai contoh, beberapa pelabuhan strategis di Indonesia telah mengadopsi sistem berbasis blockchain untuk mempercepat proses dokumentasi dan pengurusan bea cukai, yang sebelumnya memakan waktu berhari-hari. Dengan penerapan sistem ini, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan prosedur tersebut dapat dipangkas secara signifikan, memberikan keuntungan kompetitif bagi pelabuhan dalam menarik lebih banyak

pelanggan dan mempercepat aliran barang ke pasar (Ahmad et al., 2021). Namun demikian, keberhasilan adopsi teknologi blockchain dan IoT dalam sistem logistik pelabuhan sangat ditentukan oleh keberadaan regulasi yang kuat dan standar keamanan data yang jelas. Dalam konteks Indonesia, kebijakan mengenai perlindungan data pribadi dan keamanan siber telah diatur melalui Undang-Undang No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi (PDP) yang menetapkan prinsip-prinsip penting terkait pemrosesan, penyimpanan, dan perlindungan data digital di seluruh sektor, termasuk sektor logistik dan pelabuhan. Di sisi lain, penerapan IoT di sektor transportasi laut juga telah mulai diakomodasi melalui sejumlah regulasi teknis seperti Peraturan Menteri Perhubungan (Permenhub) No. PM 37 Tahun 2015 tentang Sistem Informasi dan Komunikasi di Pelabuhan, yang memberikan kerangka bagi digitalisasi pelayanan pelabuhan melalui integrasi sistem informasi berbasis elektronik.

Saat ini masih belum ada regulasi sektoral yang secara khusus mengatur tata kelola dan standar operasional penggunaan blockchain dalam sistem logistik nasional, termasuk di pelabuhan. Ini menciptakan celah kebijakan yang bisa menimbulkan keraguan dalam adopsi teknologi oleh operator pelabuhan, forwarder, dan instansi kepabeanan. Beberapa studi internasional menekankan pentingnya adanya kerangka regulasi bersama yang mendukung interoperabilitas, keamanan enkripsi, dan kepatuhan terhadap standar internasional (seperti ISO/TC 307 untuk blockchain) agar teknologi ini benar-benar dapat menciptakan sistem logistik yang efisien dan dapat dipercaya (Sabeti et al., 2019). Oleh karena itu, kolaborasi yang erat antara Kementerian Perhubungan, Kementerian Kominfo, Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN), serta pelaku industri logistik sangat diperlukan untuk menyusun pedoman teknis dan standar keamanan yang komprehensif. Penyusunan kebijakan ini akan memperkuat landasan hukum dan meningkatkan kepastian regulatif, yang sangat

penting untuk mendorong transformasi digital pelabuhan secara berkelanjutan serta meningkatkan kepercayaan di antara para pemangku kepentingan dalam ekosistem logistik pangan nasional.

Blockchain menawarkan solusi cerdas untuk masalah transparansi dan keamanan dalam rantai pasokan pangan. Dengan sistem pencatatan yang terdesentralisasi dan tidak dapat diubah, setiap transaksi yang terjadi di pelabuhan dapat dicatat dengan aman. Ini menunjukkan bahwa penerapan blockchain dalam manajemen pelabuhan dapat meningkatkan kepercayaan antara para pemangku kepentingan dengan menyediakan bukti digital yang tidak bisa dimanipulasi (Wang et al., 2021). Penerapan teknologi IoT dan blockchain di pelabuhan Indonesia telah memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi logistik pangan, terutama dalam hal pengurangan waktu dan biaya distribusi. Selain itu, implementasi blockchain juga meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasok logistik. Blockchain mencatat semua transaksi logistik dalam sistem yang tidak dapat diubah, memungkinkan para pemangku kepentingan untuk memverifikasi data secara real-time. Transparansi ini memperkuat kepercayaan antara pemerintah, operator pelabuhan, dan mitra logistik. Dengan sistem yang transparan, potensi manipulasi data dan kehilangan barang selama pengangkutan dapat diminimalkan. IoT juga berperan penting dalam menjaga kualitas pangan selama transportasi. Sensor IoT memantau suhu dan kelembaban kontainer secara real-time, memastikan bahwa komoditas pangan, terutama yang sensitif terhadap suhu seperti beras dan jagung, tetap terjaga kualitasnya. Teknologi ini memungkinkan operator untuk mendeteksi dan mengatasi masalah dalam penyimpanan atau pengangkutan sebelum menyebabkan kerusakan signifikan pada komoditas pangan.

Dampak terhadap Efisiensi Logistik Pangan

Penerapan teknologi *IoT* dan *blockchain* telah membawa perubahan besar dalam efisiensi logistik pangan. Berdasarkan penelitian yang ada, penggunaan *IoT* untuk memantau kondisi kontainer dapat mengurangi risiko kerusakan pangan selama proses transportasi (Popa et al., 2019). Selain itu, teknologi ini juga mempercepat waktu distribusi dengan mengoptimalkan rute pengiriman dan mengotomatiskan proses bongkar muat (Lehmacher, 2021). Dengan cara ini, integrasi kedua teknologi ini tidak hanya meningkatkan keamanan dan transparansi dalam rantai pasokan pangan, tetapi juga membantu menekan biaya operasional secara keseluruhan.

Di sisi lain, *blockchain* berperan dalam mengurangi biaya operasional logistik dengan menghilangkan dokumen fisik dan mempercepat proses administrasi (Aylak, 2022). Teknologi ini juga meningkatkan akurasi data inventaris, yang pada gilirannya membantu mengurangi pemborosan pangan akibat kesalahan dalam pencatatan atau pengelolaan stok (Ugochukwu et al., 2022). Jadi, kombinasi kedua teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional pelabuhan, tetapi juga mendukung ketahanan pangan nasional dengan memastikan ketersediaan pangan yang lebih cepat dan lebih terjangkau.

Peningkatan Koordinasi dalam Rantai Pasok

Penerapan teknologi *IoT* dan *blockchain* di pelabuhan Indonesia telah membawa perubahan besar dalam koordinasi rantai pasok logistik pangan. Dengan integrasi data secara real-time melalui sensor *IoT*, pelabuhan dan semua pihak yang terlibat dalam rantai logistik kini dapat memantau pergerakan barang dengan lebih transparan dan akurat. Ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan responsif terhadap berbagai kendala operasional, seperti keterlambatan pengiriman atau gangguan cuaca. Sebagai contoh, di Pelabuhan Tanjung Priok, waktu

tunggu kapal yang sebelumnya rata-rata mencapai 3–4 hari kini bisa ditekan menjadi sekitar 1,5–2 hari setelah penerapan sistem digital terintegrasi (Pelindo, 2024a). Pengurangan waktu tunggu ini tidak hanya meningkatkan produktivitas bongkar muat, tetapi juga mengurangi kemacetan di lapangan penumpukan petikemas, sehingga arus pangan—terutama beras, jagung, dan kedelai—dapat mengalir lebih lancar menuju gudang distribusi dan pasar akhir.

Selain itu, *blockchain* memberikan dorongan besar untuk transparansi dan akuntabilitas dalam pengelolaan data logistik. Setiap transaksi dan informasi logistik dicatat secara digital dalam sistem yang tidak bisa diubah, sehingga meningkatkan kepercayaan di antara berbagai pemangku kepentingan, seperti operator pelabuhan, distributor, dan konsumen akhir (Kemenkominfo, 2023). Dengan sistem ini, koordinasi antar pihak menjadi lebih efisien karena setiap perubahan status barang dapat dilacak dan diverifikasi secara real-time, yang pada gilirannya mengurangi potensi konflik atau ketidakpastian dalam distribusi logistik pangan.

Kontribusi terhadap Daya Saing Global

Penerapan *IoT* dan *blockchain* dalam logistik bisa membawa efisiensi yang signifikan, yang langsung berdampak pada daya saing pelabuhan-pelabuhan di Indonesia di tingkat regional. Pelabuhan besar seperti Tanjung Priok dan Tanjung Perak, yang telah mengadopsi teknologi digital, kini semakin mendekati efisiensi pelabuhan internasional seperti Singapura dan Port Klang di Malaysia. Menurut laporan World Bank (2022), waktu tunggu kapal di Pelabuhan Tanjung Priok telah berkurang dari rata-rata 2,5 hari menjadi kurang dari 1,8 hari berkat penerapan otomatisasi berbasis *IoT*. Meskipun angka ini masih lebih tinggi dibandingkan Singapura yang hanya 0,5 hari (UNCTAD, 2022), peningkatan ini menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam mengurangi kesenjangan daya saing. Selain itu, efisiensi dalam logistik pangan juga

berkontribusi positif terhadap stabilitas harga pangan di Indonesia. Dengan distribusi yang lebih cepat dan biaya logistik yang lebih rendah, produk pangan Indonesia kini lebih kompetitif di pasar ekspor regional. Laporan dari Badan Pangan Nasional (2024) mencatat bahwa penerapan blockchain di Tanjung Perak telah mengurangi biaya pengurusan logistik hingga 20%, menjadikan komoditas pangan Indonesia lebih menarik bagi pasar ASEAN.

Kendala dan Peluang

Meskipun memiliki potensi yang sangat besar, penerapan IoT dan blockchain di pelabuhan-pelabuhan Indonesia masih menghadapi sejumlah kendala. Salah satu masalah utama adalah kurangnya infrastruktur teknologi yang memadai, terutama di pelabuhan kecil dan daerah terpencil (Hafizon et al., 2019). Selain itu, keterbatasan sumber daya manusia (SDM) yang terampil dalam pengoperasian dan pemeliharaan teknologi modern juga menjadi hambatan yang signifikan. Banyak operator pelabuhan masih enggan untuk beradaptasi dan lebih memilih metode konvensional yang sudah lama digunakan (Solmaz, 2021). Untuk mengatasi tantangan ini, maka perlu melakukan investasi yang lebih besar dalam pelatihan SDM serta pengembangan infrastruktur yang dapat mendukung adopsi teknologi baru secara menyeluruh. Namun, ada peluang besar yang bisa dimanfaatkan melalui dukungan kebijakan pemerintah, seperti Peraturan Presiden Nomor 26 Tahun 2020 tentang Sistem Logistik Nasional, yang memberikan dasar hukum untuk pengembangan teknologi logistik di Indonesia. Selain itu, potensi kerjasama lintas sektor, termasuk dengan akademisi, sektor swasta, dan organisasi internasional, dapat mempercepat adopsi teknologi ini. Studi kasus dari negara lain, seperti Singapura dan Belanda, menunjukkan bahwa kolaborasi lintas sektor dapat menghasilkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan logistik (Javato-Martín et al., 2017). Hasil lainnya adalah pentingnya pengembangan ekosistem inovasi yang

mendukung adopsi teknologi di pelabuhan. Misalnya, pengembangan pusat pelatihan berbasis teknologi untuk meningkatkan kapasitas SDM dan insentif fiskal bagi perusahaan yang mengadopsi IoT dan blockchain bisa menjadi langkah strategis untuk mengatasi kendala yang ada (Korniyenko, 2023). Dengan pendekatan yang terintegrasi, Indonesia memiliki peluang besar untuk mewujudkan pelabuhan pintar yang mendukung ketahanan pangan nasional.

Kendala dalam Implementasi

Meskipun manfaatnya sangat jelas, penerapan teknologi IoT dan blockchain di pelabuhan-pelabuhan Indonesia masih menghadapi berbagai kendala. Salah satu tantangan utama adalah adanya kesenjangan antara pelabuhan besar yang sudah mengadopsi teknologi modern dan pelabuhan kecil yang masih bergantung pada sistem manual. Di wilayah timur Indonesia, pelabuhan kecil sering kali kekurangan infrastruktur teknologi dasar, seperti koneksi internet yang stabil dan perangkat keras yang memadai. Tantangan lain yang cukup signifikan adalah kebutuhan investasi besar untuk membangun infrastruktur teknologi di pelabuhan-pelabuhan kecil. Biaya untuk menerapkan sistem IoT dan blockchain di satu pelabuhan memerlukan dukungan anggaran dari pemerintah atau kerjasama publik-swasta. Selain itu, kurangnya pelatihan bagi sumber daya manusia (SDM) di pelabuhan kecil juga menjadi hambatan tambahan. Banyak pekerja pelabuhan yang belum terbiasa dengan teknologi canggih, sehingga diperlukan program pelatihan intensif untuk memastikan keberhasilan adopsi teknologi ini.

Peluang dan Prospek Masa Depan

Meskipun ada berbagai tantangan, penerapan teknologi IoT dan blockchain di pelabuhan kecil di Indonesia menyimpan potensi yang sangat besar untuk berkembang sebagai bagian dari program nasional pelabuhan pintar. Dengan skema investasi yang terencana, seperti kolaborasi dengan investor asing atau pemanfaatan dana hibah

internasional, pelabuhan-pelabuhan kecil bisa mulai mengadopsi teknologi ini secara bertahap. Misalnya, program digitalisasi pelabuhan di Malaysia melalui kemitraan publik-swasta telah berhasil meningkatkan efisiensi pelabuhan regional mereka (UNCTAD, 2022), memberikan contoh konkret yang bisa diikuti oleh Indonesia. Peluang lain juga muncul dari dukungan kebijakan pemerintah, seperti Peraturan Presiden No. 26 Tahun 2020 tentang Sistem Logistik Nasional. Kebijakan ini memberikan kerangka regulasi yang mendorong integrasi sistem logistik berbasis teknologi di seluruh pelabuhan nasional. Dengan adanya insentif fiskal dan subsidi teknologi untuk pelabuhan kecil, pemerintah dapat mempercepat transformasi digital yang lebih inklusif. Selain itu, pengembangan jaringan pelatihan dan sertifikasi sumber daya manusia di bidang teknologi logistik juga menjadi prospek penting untuk memastikan keberlanjutan implementasi teknologi ini.

Alternatif Kebijakan

Untuk menerapkan *Smart Port* yang berbasis IoT dan Blockchain dengan efektif, langkah pertama yang perlu diambil adalah memilih pelabuhan percontohan yang memiliki infrastruktur yang memadai, seperti Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Belawan. Di sini, bisa diuji sensor *real-time* dan pencatatan *blockchain*. Keberhasilan di lokasi-lokasi ini akan menjadi contoh yang baik untuk diterapkan di pelabuhan-pelabuhan menengah dan kecil lainnya, dengan target capaian tahunan dan evaluasi berkala untuk memastikan bahwa semuanya dapat diskalakan. Selanjutnya, pemerintah perlu menetapkan satu standar nasional yang mengharuskan interoperabilitas sistem digital, keamanan data, dan format dokumen elektronik di semua pelabuhan. Regulasi ini akan membantu mengintegrasikan data operasional pelabuhan ke dalam Sistem Logistik Nasional, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan distribusi pangan yang cepat dan berbasis bukti.

Insentif fiskal, seperti pemotongan pajak dan subsidi perangkat, perlu difokuskan pada pelabuhan yang mengadopsi teknologi hijau dan digital. Dukungan ini akan membantu mengurangi beban investasi awal, mempercepat penerapan IoT, dan mendorong penggunaan blockchain untuk meningkatkan transparansi dalam rantai pasok. Investasi dalam infrastruktur teknologi harus menjadi prioritas, terutama di daerah 3T, melalui skema kemitraan publik-swasta. Pembangunan jaringan broadband, pusat data lokal, dan pelatihan tenaga kerja akan memastikan setiap pelabuhan dapat mengoperasikan dan memelihara sistem *Smart Port* secara mandiri. Terakhir, integrasi rencana induk pelabuhan dengan peta lumbung pangan nasional harus diatur dalam kebijakan lintas kementerian. Kerja sama yang erat antara Kementerian Perhubungan, Badan Pangan Nasional, PT Pelindo, dan sektor swasta akan memastikan pelabuhan berfungsi sebagai simpul logistik pintar, menurunkan biaya distribusi, dan memperkuat ketahanan pangan secara merata di seluruh Indonesia.

Analisis SWOT

Analisis tentang kekuatan Indonesia dalam mengubah pelabuhan menjadi *Smart Port* yang berbasis IoT dan blockchain berakar pada komitmen kuat pemerintah untuk mendigitalisasi sistem logistik nasional. Kebijakan Sistem Logistik Nasional (Sislognas) dan platform seperti Inaportnet menunjukkan bahwa kerangka regulasi dan infrastruktur dasar sudah mulai dibangun, sehingga teknologi yang diimplementasikan akan mendapatkan dukungan kelembagaan yang solid. Selain itu, posisi pelabuhan sebagai pusat utama dalam rantai pasok pangan membuat setiap peningkatan efisiensi operasional, seperti pengurangan waktu sandar kapal dan otomatisasi proses bongkar muat, berdampak langsung pada ketersediaan dan stabilitas harga pangan nasional. Landasan kebijakan yang ditetapkan di tingkat nasional melalui RPJMN, serta komitmen dalam forum

internasional seperti Perjanjian Paris, semakin memperkuat legitimasi investasi digital ini sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan dan pengurangan emisi.

Di sisi kelemahan, tantangan terbesar muncul dari kesenjangan infrastruktur digital dan kapasitas sumber daya manusia di pelabuhan-pelabuhan kecil dan terpencil. Banyak dermaga di luar Jawa dan Sumatera masih belum memiliki akses ke koneksi internet yang andal, perangkat IoT, atau pusat data lokal, kondisi ini memaksa perlunya investasi awal yang sangat besar hanya untuk mencapai kesiapan minimal dalam operasi cerdas. Selain itu, kurangnya personel yang terampil dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem digital memerlukan program pelatihan intensif sebelum teknologi dapat berfungsi secara optimal. Fragmentasi kebijakan dan ketiadaan standar nasional yang terpadu menambah kompleksitas dalam integrasi antarpelabuhan, sehingga meningkatkan risiko duplikasi sistem dan inkonsistensi dalam prosedur operasional.

Di tengah situasi tersebut, Indonesia memiliki kesempatan besar untuk memanfaatkan kemajuan global dalam IoT, blockchain, dan analitik *big data*. Pelabuhan-pelabuhan di Asia Tenggara yang sudah lebih dulu mengadopsi teknologi ini seperti Singapura dan Belanda, dapat menjadi mitra dalam transfer pengetahuan dan studi perbandingan, sambil memanfaatkan skema pendanaan internasional dari UNCTAD, dan lembaga bilateral lainnya. Dengan efisiensi logistik pangan yang berpotensi mengurangi biaya hingga 20–30%, daya saing pelabuhan nasional akan semakin kuat dan distribusi komoditas ke daerah-daerah tertinggal akan lebih merata. Konsep Green Port yang menggabungkan IoT untuk manajemen energi dan blockchain untuk jejak karbon juga membuka peluang bagi Indonesia untuk menurunkan emisi sekaligus mencapai target keberlanjutan.

Namun, menerapkan tersebut tidak tanpa risiko. Ada resistensi dari beberapa pemangku

kepentingan, baik karena kekhawatiran tentang biaya awal maupun kurangnya pemahaman mengenai manfaat jangka panjang yang bisa menghambat adopsi. Keterbatasan anggaran di tingkat pusat serta di operator pelabuhan menengah dan kecil bisa jadi akan memperlambat fase peluncuran teknologi. Dalam hal keamanan, pengenalan IoT dan blockchain justru memperluas potensi serangan siber, yang memerlukan protokol perlindungan data yang lebih canggih. Terakhir, persaingan dari pelabuhan-pelabuhan di Singapura dan Malaysia, yang sudah lebih dulu dikenal sebagai pusat logistik yang efisien, memaksa Indonesia untuk bergerak cepat agar tidak kehilangan pangsa pasar dan peluang pertumbuhan di sektor logistik pangan.

Alternatif Kebijakan dari SWOT

Berdasarkan analisis SWOT, ada lima kebijakan kunci yang bisa diambil oleh pemerintah untuk mempercepat transformasi pelabuhan menjadi *Smart Port* yang berbasis IoT dan blockchain, serta meningkatkan efisiensi logistik pangan nasional. Setiap alternatif dirancang untuk memanfaatkan kekuatan, mengatasi kelemahan, mengeksplorasi peluang, dan mengurangi ancaman yang telah diidentifikasi.

Alternatif 1: Program pilot digitalisasi pelabuhan utama. Pemerintah memilih Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Belawan sebagai pelabuhan percontohan untuk *Smart Port*. Melalui Keputusan Menteri Perhubungan, anggaran akan difokuskan pada pemasangan sensor IoT untuk pemantauan kontainer secara real-time dan penerapan platform blockchain untuk dokumentasi logistik. Setiap tahun, evaluasi keberhasilan akan dilakukan untuk menilai pengurangan waktu sandar dan biaya operasional, serta menyiapkan panduan teknis untuk replikasi di pelabuhan menengah dan kecil. Langkah ini bertujuan untuk mengoptimalkan dukungan kebijakan nasional dan peran strategis pelabuhan, sekaligus mengurangi resistensi dengan menunjukkan hasil yang terukur.

Alternatif 2: Standarisasi regulasi dan interoperabilitas sistem. Untuk melengkapi proyek percontohan, pemerintah perlu mengeluarkan Peraturan Presiden yang menetapkan standar nasional untuk teknologi *Smart Port*. Ini mencakup protokol IoT, struktur data blockchain, dan persyaratan keamanan siber. Regulasi ini mengharuskan integrasi data pelabuhan ke dalam Sislognas dan sistem Bea Cukai digital, sehingga menghindari adanya fragmentasi antar sistem. Dengan adanya regulasi yang seragam, akan bisa mengatasi kelemahan infrastruktur digital di pelabuhan kecil melalui paket bantuan teknis, dan meminimalkan fragmentasi kebijakan, sehingga seluruh jaringan pelabuhan dapat bergerak serentak dalam satu ekosistem logistik pangan.

Alternatif 3: Insentif fiskal dan pembiayaan inovatif. Dalam mengatasi hambatan biaya investasi awal, pemerintah bergerak menaikkan insentif fiskal yang meliputi pemotongan bea masuk untuk perangkat IoT, pajak penghasilan kepada port operator yang menggunakan teknologi blockchain, serta subsidi modal untuk pusat data lokal. Selain itu, Kredit Usaha Rakyat Khusus Pelabuhan Cerdas juga diluncurkan oleh BPD dan bank syariah untuk membantu pelabuhan menengah-kecil. Melalui kemitraan publik-swasta dan insentif ini, pembiayaan menjadi lebih mudah diakses dan transformasi teknologi bisa menjangkau hingga daerah terpencil.

Alternatif 4: Pengembangan kapasitas SDM dan ekosistem inovasi. Mengatasi kesenjangan dalam kapasitas sumber daya manusia, pemerintah bekerja sama dengan lembaga pendidikan perguruan tinggi dan vokasi untuk menyelenggarakan program sertifikasi sebagai *Smart Port Operator*. Kurikulum mencakup manajemen data IoT, keamanan blockchain sampai logistik big data. Tersedianya tenaga ahli didapat dari magang di pelabuhan pilot. Dengan cara ini banyak permasalahan dalam sumber daya manusia

dapat diatasi bersama momentum transfer teknologi dari mitra internasional.

Alternatif 5: Kebijakan ketahanan pangan nasional dalam integrasi pelabuhan cerdas. Untuk faktor kesinambungan, Pelabuhan Cerdas diintegrasikan secara eksplisit dalam Peraturan Presiden mengenai Ketahanan Pangan. Setiap rencana lumbung pangan daerah diwajibkan untuk mempertimbangkan pelabuhan dalam aspek logistik dukungan berupa digitalisasi. Ini membuat intervensi transportasi laut menjadi sektor vital strategi nasional ketahanan pangan yang memperkuat justifikasi anggaran dan meningkatkan dampak koordinasi antar-Kementerian Perhubungan, Pertanian, hingga PUPR sehingga dampaknya bersinergi dalam pemerataan distribusi pangan di seluruh Indonesia.

Impelementasi kebijakan Jangka Pendek, Menengah, dan Panjang.

Untuk jangka pendek, digitalisasi program pilot di pelabuhan utama berpotensi mengurangi waktu sandar kapal dan dwelling time kontainer pada pendistribusian pangan. Dengan adanya pengoperasian IoT sensor dan pencatatan berbasis blockchain, tingkat akurasi data inventaris dalam sistem logistik akan semakin meningkat. Hal ini tentu saja dapat mengurangi penipuan dalam proses cargo manifesting serta meningkatkan kepercayaan dari para pelaku logistik serta importir. Dalam hal ini insentif fiskal dan skema pembiayaan inovatif juga berperan penting pada percepatan pembangunan infrastruktur terminal menengah yang selama ini tersendat, serta melakukan narrowing gap antarwilayah pelayanan di seluruh kawasan. Secara internal, sertifikasi *port operator smart systems* meningkatkan produktivitas dengan melahirkan tenaga ahli digital bersertifikat profesional yang menyelesaikan masalah surplus demand terhadap SDM trained skill yang terlatih di bidang tersebut.

Dalam jangka menengah, ekosistem teknologi terintegrasi industri pelabuhan Indonesia mulai terbentuk melalui standarisasi

regulasi Nasional. Dengan pemangkasan secara otomatis dan optimisasi rute diperkirakan efisiensi biaya logistik akan turun antara 15-25% dalam 3 tahun di mana stabilitas harga pangan untuk daerah tiga titik (3T) tersepan mulai dapat tercapai. Selanjutnya; sinergi dualisme penguatan kebijakan ketahanan pangan beserta digitalisasi Tol Laut serta jalur perintis berkaitan langsung dampak disparitas stok antara pusat produksi dan konsumen pengolahan bakal semakin kecil. Kapasitas daya saing SDM yang makin baik pun kini menghadirkan inovasi seperti aplikasi monitoring sector maritim berbasis AI yang memberi nilai tambah baru pada produk-produk maritim tanah air.

Dalam jangka panjang, transformasi *Smart Port* akan menempatkan pelabuhan Indonesia di peta logistik global sebagai hub yang efisien dan dapat diandalkan, sekaligus memperkuat daya saing regional terhadap Singapura dan Malaysia. Sistem logistik pangan yang transparan dan terukur akan menjadi fondasi ketahanan pangan nasional, membantu meminimalkan risiko krisis pasokan akibat gangguan alam atau geopolitik. Dengan mengintegrasikan pelabuhan cerdas ke dalam Kebijakan Ketahanan Pangan, dapat dipastikan kesinambungan investasi dan inovasi, serta mendukung target penurunan emisi nasional melalui konsep Green Port. Dengan cara ini, Indonesia akan memiliki fondasi logistik laut yang modern, berkelanjutan, dan mampu beradaptasi dengan tantangan pangan di dekade mendatang.

Struktur Kelembagaan dan Pembagian Tanggung Jawab dalam Implementasi Kebijakan

Pembagian tanggung jawab untuk menerapkan kebijakan *Smart Port* disusun berdasarkan fungsi kelembagaan di tingkat nasional, regional, dan operasional pelabuhan. Di tingkat pusat, Menteri Perhubungan, melalui Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, memimpin koordinasi antar kementerian untuk menetapkan regulasi, standar teknologi, dan

skema insentif fiskal. Kementerian Keuangan bertugas merancang dan mengelola anggaran subsidi serta fasilitas pembiayaan inovatif, sementara Bappenas memastikan bahwa program *Smart Port* selaras dengan target ketahanan pangan nasional dalam RPJMN.

Di level pelaksana provinsi, Gubernur bersama Dinas Perhubungan menyesuaikan Peraturan Presiden dan Peraturan Menteri menjadi peraturan daerah yang mengatur mekanisme teknis, mulai dari perolehan lahan untuk infrastruktur digital hingga proses perizinan untuk instalasi IoT dan blockchain. Dinas Komunikasi dan Informatika daerah berperan dalam mendukung penyediaan jaringan broadband dan keamanan siber, sedangkan Bappeda provinsi mengawasi integrasi *Smart Port* ke dalam rencana lumbung pangan regional.

Operator pelabuhan memiliki kewenangan operasional: mereka bertanggung jawab untuk memasang perangkat IoT, mengelola platform blockchain, dan melatih staf sesuai dengan sertifikasi "*Smart Port Operator*." Perusahaan logistik dan eksportir pangan diwajibkan untuk memanfaatkan sistem digital dalam pengiriman dan pelaporan data kargo. Bank pembangunan daerah dan perbankan syariah juga berperan dalam menyalurkan kredit usaha untuk investasi teknologi di pelabuhan menengah dan kecil.

Pengawasan implementasi dilakukan oleh tim gabungan yang terdiri dari perwakilan Kemenhub, Bappebti (untuk aspek blockchain), dan Inspektorat Jenderal Kemenkeu yang bertugas melakukan audit tahunan untuk memeriksa penggunaan subsidi dan capaian kinerja. Hasil dari audit ini kemudian dilaporkan kepada Dewan Transportasi Nasional dan dipublikasikan secara terbuka untuk memastikan akuntabilitas. Masyarakat serta lembaga swadaya juga memiliki kesempatan untuk memberikan masukan melalui portal transparansi Sislognas, sehingga mekanisme umpan balik publik dapat terjaga di setiap tahap transformasi *Smart Port*.

PENUTUP

Kesimpulan

Untuk memastikan keberhasilan transformasi pelabuhan Indonesia menjadi *Smart Port* yang berbasis IoT dan blockchain demi efisiensi logistik pangan, diperlukan kerangka peraturan yang komprehensif. Kerangka ini harus mengatur semua tahap implementasi, mulai dari standar teknologi, mekanisme pendanaan, hingga tata kelola data digital. Dengan adanya kerangka ini, maka bisa menjamin kejelasan tugas, wewenang, dan prosedur antar-instansi, sehingga setiap pelabuhan dapat beroperasi dalam satu ekosistem logistik nasional yang terintegrasi. Rekomendasi kebijakan utama bisa dituangkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan mengenai “Standar Nasional *Smart Port* untuk Efisiensi Logistik Pangan,” yang mewajibkan penggunaan sensor IoT, platform blockchain, dan integrasi data ke dalam Sistem Logistik Nasional. Peraturan ini dirancang untuk memberikan dasar hukum bagi instalasi teknologi, skema insentif fiskal, serta kriteria akreditasi “*Smart Port Operator*.”

Peraturan Menteri tersebut juga mencakup spesifikasi teknis perangkat, protokol keamanan siber, dan alur pertukaran data antar-pelabuhan. Selain itu, peraturan ini berfungsi sebagai instrumen koordinasi lintas kementerian (Perhubungan, Keuangan, Kominfo) dan lembaga terkait (Pelindo, Bappenas, Badan Pangan Nasional). Dengan pedoman ini, setiap pemangku kepentingan akan memiliki acuan yang sama dalam menjalankan, memantau, dan mengevaluasi inisiatif digitalisasi pelabuhan. Selanjutnya, ketentuan teknis dan implementasi di lapangan akan diadopsi ke dalam Peraturan Gubernur di masing-masing provinsi pelabuhan, disesuaikan dengan karakteristik lokal dan peta lumbung pangan regional. Peraturan daerah ini akan merinci alokasi anggaran, jadwal peluncuran teknologi, dan mekanisme pelibatan masyarakat serta sektor swasta.

Di samping itu, kerangka peraturan akan menetapkan standar operasional prosedur (SOP) untuk proses bongkar muat otomatis, pemantauan kondisi kontainer secara *real-time*, dan audit jejak *blockchain*. SOP ini dirancang untuk memastikan konsistensi layanan, keamanan data, dan kualitas layanan logistik pangan di seluruh jaringan pelabuhan. Dengan adanya regulasi ini, diharapkan tercipta ekosistem *Smart Port* yang efisien, transparan, dan akuntabel, sehingga distribusi pangan ke seluruh pelosok negeri dapat dipercepat, biaya logistik dapat ditekan, dan ketahanan pangan nasional semakin kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditomo, F. M. (2025, January 20). *Logistik Maritim Indonesia di Tengah Krisis Rantai Pasok*. <https://shippingcargo.co.id/posts/505779/logistik-maritim-indonesia-di-tengah-krisis-rantai-pasok>
- [2] Ahmad Antouz, Y., Akour, I. A., Turki Alshurideh, M., Alzoubi, H. M., & Alquqa, E. K. (2023). The impact of Internet of Things (IoT) and Logistics Activities on Digital Operations. *2023 International Conference on Business Analytics for Technology and Security (ICBATS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICBATS57792.2023.10111287>
- [3] Ahmad, R. W., Hasan, H., Jayaraman, R., Salah, K., & Omar, M. (2021). Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100620. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100620>
- [4] Al-Fatlawi, H. A., & Motlak, H. J. (2023). Smart ports: towards a high performance, increased productivity, and a better environment. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(2), 1472–1482.

- <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i2.pp1472-1482>
- [5] Arry Rahmawan, K., & Angelina, N. (2017). Indonesian Maritime Logistics Network Optimization Using Mixed Integer Programming. *MATEC Web of Conferences*, 108, 17001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710817001>
- [6] Athavale, V. A., Bansal, A., Nalajala, S., & Aurelia, S. (2020). Integration of blockchain and IoT for data storage and management. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.643>
- [7] Atluri, R. C., Pathak, P., & Bhatt, V. (2022). Implementation of Blockchain Technologies to Avoid Fraud in Supply Chain. *2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, 687–692. <https://doi.org/10.1109/3ICT56508.2022.9990791>
- [8] Aylak, B. L. (2022). The Effects of the Applications of Blockchain Technology on the Logistics sector. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1077800>
- [9] Badan Pangan Nasional. (2024). *Laporan Tahunan Badan Pangan Nasional Tahun 2023*. <https://badanpangan.go.id/storage/app/media/2024/LAPORAN%20TAHUNAN%202024/LAPORAN%20TAHUNAN%20NFA%202023.pdf>
- [10] Bappenas. (2023, November 23). *Susun RPJMN 2025-2029, Bappenas Bahas Arah Kebijakan Kewilayahan dan Sarpras*. <https://www.bappenas.go.id/berita/susun-rpjm-2025-2029-bappenas-bahas-arab-kebijakan-kewilayahan-dan-sarpras-b7wIO>
- [11] Bappenas. (2024, December 30). *Presiden Prabowo Sampaikan Arah 5 Tahun Mendatang dalam Musrenbangnas RPJMN 2025*. <https://www.bappenas.go.id/id/berita/presiden-prabowo-sampaikan-arab-5-tahun-mendatang-dalam-musrenbangnas-rpjm-2025-bHXIH>
- [12] Blockchain Today. (2023, September 18). *How Blockchain is Revolutionizing the Logistics Industry*. <https://medium.com/coinmonks/how-blockchain-is-revolutionizing-the-logistics-industry-e5cbf3be9ade>
- [13] Bouhlal, A., Aitabdelouahid, R., & Marzak, A. (2022). The internet of things for smart ports. *Procedia Computer Science*, 203, 819–824. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.123>
- [14] BPS. (2024). *Perdagangan Antar Wilayah Indonesia 2023*.
- [15] BSIP SDLP. (2024, October 8). *Sawah Baru, Harapan Baru Wujudkan Kedaulatan Pangan Indonesia*. <https://sdlp.bsip.pertanian.go.id/berita/sawah-baru-harapan-baru-wujudkan-kedaulatan-pangan-indonesia>
- [16] Cil, A. Y., Abdurahman, D., & Cil, I. (2022). Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z>
- [17] Ellahi, R. M., Wood, L. C., & Bekhit, A. E. D. A. (2023). Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic Review. In *Foods* (Vol. 12, Issue 16). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods12163026>
- [18] ERIA. (2019). *A Cold Chain Study of Indonesia*. https://www.eria.org/uploads/media/8_RPR_FY2018_11_Chapter_4.pdf?

- [19] Faharuddin, F., Yamin, M., Mulyana, A., & Yunita, Y. (2023). Impact of food price increases on poverty in Indonesia: empirical evidence from cross-sectional data. *Journal of Asian Business and Economic Studies*, 30(2), 126–142. <https://doi.org/10.1108/JABES-06-2021-0066>
- [20] FAO. (2023). *Food Outlook*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a00ef752-f070-40d8-958f-832fc5084b44/content>
- [21] Foster, B. (2021). New Era Chain Supply on Retail Food Industry in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1115(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1115/1/012019>
- [22] Hafizon, M. I., Wicaksono, A., & Farizan, F. N. (2019). E-Toll Laut: Blockchain Port as the Key for Realizing Indonesia's Maritime Fulcrum. *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 36–45. <https://doi.org/10.1145/3326365.3326371>
- [23] Haris, E., Saidin, OK., Sirait, N. N., & Kaban, M. (2022). *Strengthening National Logistic Ecosystem to Increase Indonesia Competitiveness in International Trade*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220204.038>
- [24] Ivanova, M., Smiesova, V., Tkachenko, A., Boichenko, M., & Arkhypenko, T. (2021). Efficiency of The Logistics Chain As a Factor Of Economic Security of Enterprises. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 2(37), 151–160. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i37.229950>
- [25] Javato-Martín, M., Sanz-Angulo, P., de Benito-Martín, J. J., & Galindo-Melero, J. (2017). *A Study of the Innovative Applications of Intelligent Transport Systems Works to Logistics and Freight Transport: Public-Private Collaboration Projects* (pp. 195–205). https://doi.org/10.1007/978-3-319-55889-9_13
- [26] Jayawibawa, M. H. (2025, April 20). *Tanjung Priok: Geopolitik Maritim dan Krisis Logistik*. <https://money.kompas.com/read/2025/04/20/145910326/tanjung-priok-geopolitik-maritim-dan-krisis-logistik?page=all>
- [27] Kemenhub. (2024a, February 26). *Buka Raker Ditjen Perhubungan Laut, Menhub Terus Dorong Peningkatan Digitalisasi Layanan*. <https://portal.dephub.go.id/post/read/buka-raker-ditjen-perhubungan-laut%2C-menhub-terus-dorong-peningkatan-digitalisasi-layanan>
- [28] Kemenhub. (2024b, March 5). *Kemenhub Terus Dorong Digitalisasi di Sektor Transportasi*. <https://dephub.go.id/post/read/kemenhub-terus-dorong-digitalisasi-di-sektor-transportasi>
- [29] Kemenkominfo. (2023, May 31). *Digitalisasi Pelabuhan di Indonesia: Smart Solutions for Smart Port*. <https://digital2045.id/vidinsight-vol-3-digitalisasi-pelabuhan-di-indonesia-smart-solutions-for-smart-port/>
- [30] Kementan. (2023). *Statistik Konsumsi Pangan Tahun 2023*. https://satudata.pertanian.go.id/assets/docs/publikasi/Buku_Statsitik_Konsumsi_Pangan_2023.pdf?
- [31] Korniyenko, O. (2023). TRENDS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MARITIME MANAGEMENT. *Scientific Opinion: Economics and Management*, 1(81). <https://doi.org/10.32782/2521-666X/2023-81-6>
- [32] Kurniawati, D. (2024, October 29). *Indonesia considers importing 1 mln tons*

- of rice from India next year, minister says.
<https://www.reuters.com/markets/commodities/indonesia-considers-importing-1-mln-tons-rice-india-next-year-minister-says-2024-10-29/>
- [33] Lehmacher, W. (2021). *Digitizing and Automating Processes in Logistics* (pp. 9–27). https://doi.org/10.1007/978-3-030-61093-7_2
- [34] Mabrori, A. (2025, February 5). *Kemenhub: Tantangan Mengefisiensikan Logistik, Tak Mudah*. <https://www.logistiknews.id/2025/02/05/kemenhub-tantangan-mengefisiensikan-logistik-tak-mudah/>
- [35] Medyawati, H., Setiawan, B., Trinugroho, I. A., & Hegarini, E. (2017). A geographical information system design for analyzing food distribution in Indonesia. *2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CAIPT.2017.8320695>
- [36] Muñuzuri, J., Onieva, L., Cortés, P., & Guadix, J. (2020). Using IoT data and applications to improve port-based intermodal supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105668. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.042>
- [37] Pelindo. (2024a, January 12). *Tutup Tahun 2023, Pelindo Regional 2 Tunjukkan Kinerja Positif*. <https://www.pelindo.co.id/media/557/tutup-tahun-2023-pelindo-regional-2-tunjukkan-kinerja-positif>
- [38] Pelindo. (2024b, July 4). *Reformasi Tata Kelola Pelabuhan, Sistem Digital Sudah Berlaku di 246 Pelabuhan Indonesia*. <https://pelindo.co.id/media/612/reformas-i-tata-kelola-pelabuhan-sistem-digital-sudah-berlaku-di-246-pelabuhan-indonesia>
- [39] Popa, A., Hnatiuc, M., Paun, M., Geman, O., Hemanth, D. J., Dorcea, D., Son, L. H., & Ghita, S. (2019). An Intelligent IoT-Based Food Quality Monitoring Approach Using Low-Cost Sensors. *Symmetry*, 11(3), 374. <https://doi.org/10.3390/sym11030374>
- [40] PT. Pelindo. (2023, July). *Performa Pelabuhan di Indonesia: Data Bank Dunia VS UNCTAD*. <https://pelindo.co.id/Media/458/Performa-Pelabuhan-Di-Indonesia-Data-Bank-Dunia-vs-Uncdad>
- [41] Raja, C. N. (2025, April 19). *Pengamat: Kemacetan Tanjung Priok Jadi Sinyal Krisis Sistem Logistik Nasional*. <https://nasional.tvrinews.com/berita/tzuziq-pengamat-kemacetan-tanjung-priok-jadi-sinyal-krisis-sistem-logistik-nasional>
- [42] Ritonga, R. A., Ahmadi, N., Kusumastanto, T., Suwandi, R., Suwito, S. R., Hasriningtyas, S., Arafat, H., & Soleh, A. (2022). Kesiapan Implementasi Smart Port di Indonesia. *Coastal and Ocean Journal (COJ)*, 6(1), 8–23. <https://doi.org/10.29244/COJ.6.1.8-23>
- [43] Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- [44] Salah, K., Alfalasi, A., Alfalasi, M., Alharmoudi, M., Alzaabi, M., Alzyeodi, A., & Ahmad, R. W. (2020). IoT-Enabled Shipping Container with Environmental Monitoring and Location Tracking. *2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CCNC46108.2020.9045495>
- [45] Samudera. (2025, February 21). *Inovasi dan Perkembangan Pelabuhan Kapal di*

- Tahun 2025.
<https://insight.samudera.id/inovasi-dan-perkembangan-pelabuhan-kapal-di-tahun-2025/>
- [46] Sangeetha, G., & Vijayalakshmi, M. (2020). *Role of Smart Sensors in Minimizing Food Deficit by Prediction of Shelf-Life in Agricultural Supply Chain* (pp. 153–175).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-33596-0_6
- [47] Sofiyandi, Y., Kurniawan, Y. R., & Yudhistira, M. H. (2023). The impact of maritime logistics subsidy on food prices: Evidence from Indonesia. *Economic Analysis and Policy*, 79, 1026–1045.
<https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.06.035>
- [48] Solmaz, M. S. (2021). *Digital Business Transformation in Ports* (pp. 221–240).
<https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8587-0.ch012>
- [49] Sunitiyoso, Y., Nuraeni, S., Pambudi, N. F., Inayati, T., Nurdayat, I. F., Hadiansyah, F., & Tiara, A. R. (2022). Port performance factors and their interactions: A systems thinking approach. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(2), 107–123.
<https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2022.04.001>
- [50] Ugochukwu, N. A., Goyal, S. B., & Arumugam, S. (2022). Blockchain-Based IoT-Enabled System for Secure and Efficient Logistics Management in the Era of IR 4.0. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1).
<https://doi.org/10.1155/2022/7295395>
- [51] UNCTAD. (2022). *Review of Maritime Transport 2022*.
https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf
- [52] Wahyuni, S., Taufik, A., & K, H. (2019). *Revealing Indonesian Port Competitiveness: Challenge and Performance* (C. Duffield, F. K. P. Hui, & S. Wilson, Eds.). Open Book Publishers.
<https://doi.org/10.11647/OBP.0189>
- [53] Wang, S., Zhen, L., Xiao, L., & Attard, M. (2021). Data-Driven Intelligent Port Management Based on Blockchain. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 38(03), 2040017.
<https://doi.org/10.1142/S0217595920400175>
- [54] World Bank. (2022). *Indonesia Port Cluster Diagnostic: Shrinking Economic Distance*.
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/37377/Indonesia-Port-Cluster-Diagnostic-Shrinking-Economic-Distance.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [55] World Bank. (2023). *Logistics Performance Index (LPI)*.
<https://lpi.worldbank.org/>

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN