POLICY BRIEF

ADITYA RIO PRABOWO
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

REKAYASA MARITIM BERBASIS RISET DAN INOVASI: LABORATORIUM HIDUP REKAYASA MARITIM JAWA TENGAH

Ringkasan Eksekutif

Pengelolaan aset pesisir, perikanan, dan pelabuhan di Jawa Tengah masih cenderung terfragmentasi. Data teknis belum konsisten digunakan sebagai dasar penentuan prioritas pemeliharaan, investasi, pengadaan, maupun penganggaran, sementara hasil riset belum selalu terhubung langsung dengan kebutuhan perangkat daerah. Kondisi ini menjadi strategis karena Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Jawa Tengah 2025-2029 menekankan transformasi ekonomi berbasis lingkungan, penguatan produksi kelautan dan perikanan, pengamanan pesisir, serta optimalisasi simpul transportasi. Pada saat yang sama, Rencana Induk dan Peta Jalan Pemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Daerah (RIPJPID) 2025-2029 mendorong riset dan inovasi yang berdampak, berbasis kebutuhan daerah, kolaboratif, dan terukur. Policy brief ini merekomendasikan pembentukan Laboratorium Hidup Rekayasa Maritim Jawa Tengah sebagai platform kerja lintas perangkat daerah selama 12-18 bulan. Program difokuskan pada tiga pilot, yaitu pemantauan kesehatan aset pesisir, perikanan cerdas dan kapal ikan yang aman serta efisien, smart port dan green maritime logistics. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) dan Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) berperan sebagai pengarah, sedangkan Organisasi Perangkat Daerah (OPD) teknis, perguruan tinggi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), industri, komunitas, dan media berperan sebagai pelaksana serta mitra adopsi. Setiap pilot harus menghasilkan SOP, spesifikasi teknis, basis data, model layanan atau pengadaan, serta keputusan scale-up yang dapat diintegrasikan ke dalam Rencana Kerja Pemerintah Daerah (RKPD), Rencana Strategis (Renstra) Perangkat Daerah, dan penganggaran.

PENDAHULUAN

Kebutuhan integrasi tersebut didukung oleh kondisi aktual di ketiga sektor tersebut. Dari sisi ketahanan pesisir, Pantura Jawa Tengah memiliki panjang sekitar 651,47 km dan menjadi pusat aktivitas ekonomi, namun menghadapi kombinasi abrasi, banjir rob, penurunan muka tanah, kerusakan ekosistem pesisir, serta pencemaran. Kawasan Kendal–Semarang–Demak bahkan termasuk wilayah prioritas penanganan pemerintah karena tingkat kerentanannya terhadap gangguan pesisir [1,2]. Pada sektor pangan berbasis kelautan-perikanan, data produksi perikanan budidaya tahun 2025 menunjukkan besarnya peran kabupaten pesisir, antara lain Brebes 74.576,17 ton, Demak 51.895,83 ton, Jepara 48.282,39 ton, dan Pati 48.186,52 ton. Besarnya produksi tersebut menunjukkan bahwa gangguan kualitas lingkungan, rob, maupun infrastruktur pesisir dapat berdampak langsung pada ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat [2]. Sementara itu, dari sisi logistik, sekitar 70% arus kontainer menuju Jawa Tengah masih bergantung pada Tanjung Priok, sedangkan sekitar 30% melalui Tanjung Emas. Kondisi ini dinilai meningkatkan biaya logistik industri dan menjadi alasan penguatan Pelabuhan Tanjung Emas, Pelabuhan Kendal, serta dry port Batang [3]. Dengan demikian, terdapat dasar empiris yang kuat untuk melihat ketahanan pesisir, produksi perikanan, dan logistik pelabuhan sebagai satu sistem pembangunan maritim yang saling bergantung [4,5]. Kondisi faktual menunjukkan bahwa tekanan tersebut telah berdampak pada pembangunan di Jawa Tengah.

Dari sisi perubahan iklim, kajian yang dikutip Pemerintah Provinsi Jawa Tengah memperkirakan potensi kerugian ekonomi akibat perubahan iklim pada periode 2020–2024 mencapai sekitar Rp14,90 triliun, termasuk pada sektor pesisir sebesar Rp893 miliar, pertanian Rp11,09 triliun, sumber daya air Rp301 miliar,

dan kelautan Rp29 miliar. Pantura juga menghadapi kombinasi abrasi, banjir rob, penurunan muka tanah, kerusakan ekosistem pesisir, dan pencemaran; kondisi tersebut telah memengaruhi permukiman, kawasan industri, aktivitas pelabuhan, pertanian, dan perikanan [6]. Tekanan terhadap wilayah pesisir juga meningkat seiring dengan pertumbuhan investasi dan kawasan industri. Pada Januari–Maret 2026, realisasi investasi Jawa Tengah mencapai Rp23,02 triliun, dengan sekitar 92 ribu tenaga kerja dari 24.957 proyek. Pemerintah juga menyiapkan pengembangan 12 kawasan industri baru, sementara Kendal, Batang, Demak, dan Semarang menjadi bagian penting dalam pengembangan kawasan industri dan investasi di Jawa Tengah [7]. Pertumbuhan tersebut meningkatkan kebutuhan akan konektivitas dan distribusi barang. Sekitar 70% arus kontainer Jawa Tengah masih bergantung pada Tanjung Priok, sedangkan Tanjung Emas baru melayani sekitar 30%. Kondisi ini meningkatkan biaya logistik industri dan mendorong penguatan Pelabuhan Tanjung Emas, Pelabuhan Kendal, serta pembangunan dry port Batang-Kendal [3,8].

Berdasarkan kajian di atas, dapat disimpulkan bahwa diperlukan kebijakan rekayasa maritim berbasis riset dan inovasi yang berdampak semakin kuat, mengingat gap yang selama ini terjadi antara kebutuhan pembangunan, ketersediaan data teknis, dan pemanfaatan hasil riset. Berbagai persoalan pesisir, perikanan, dan pelabuhan telah memiliki dukungan kajian maupun teknologi, namun implementasinya masih terfragmentasi antarsektor, belum selalu terhubung dengan kebutuhan OPD, dan belum konsisten diterjemahkan menjadi standar teknis, prioritas investasi, model pengadaan, serta keputusan untuk *scale-up*. Kondisi ini menunjukkan bahwa tantangan utama bukan hanya kekurangan inovasi, tetapi juga belum kuatnya mekanisme yang menghubungkan riset, validasi lapangan, pengambilan keputusan, dan implementasi kebijakan secara berkelanjutan. Karena itu, kebijakan rekayasa maritim perlu diarahkan untuk menutup kesenjangan tersebut melalui sistem riset terapan yang terukur, kolaboratif, dan langsung menghasilkan manfaat bagi pembangunan pesisir, perikanan, serta logistik di Jawa Tengah.

DESKRIPSI MASALAH

Permasalahan rekayasa maritim di Jawa Tengah tidak hanya berkaitan dengan keterbatasan teknologi, tetapi terutama dengan belum terintegrasinya data, pengelolaan aset, kebutuhan pengguna, serta proses pengambilan keputusan. Di wilayah pesisir, ancaman rob, abrasi, land subsidence, korosi, sedimentasi, dan degradasi ekosistem terjadi secara bersamaan. Namun, prioritas pemeliharaan aset belum selalu ditentukan berdasarkan baseline risiko yang terpadu. Kondisi serupa terjadi pada sektor perikanan dan pelabuhan, ketika informasi teknis masih tersebar pada berbagai pemilik data dan kewenangan [2]. Gambaran tiga kelompok permasalahan utama tersebut dirangkum dalam Gambar 1.

Klasifikasi	Kondisi/permasalahan eksisting	Kebijakan/program yang telah ditetapkan atau dilakukan	Pemangku kepentingan utama	Gap yang masih perlu ditutup
Pesisir dan aset	Rob, abrasi, land subsidence, korosi, sedimentasi, serta degradasi ekosistem. Kerentanan terjadi bersamaan pada kawasan permukiman, tambak, industri, dan infrastruktur pesisir [9,10].	Mageri Segoro, rehabilitasi mangrove, perlindungan Pantura, serta rencana Giant Sea Wall ±274,7 km dari Brebes hingga Rembang [9,10].	Pemprov Jateng, Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air dan Penataan Ruang (PUSDATARU), Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP)/Dinas Lingkungan Hidup (DLH), pemerintah kabupaten/kota, pemerintah pusat/Badan Otorita Pengelola Pantai Utara Jawa (BOPPJ), perguruan tinggi, komunitas pesisir.	Belum terdapat baseline kondisi dan risiko aset yang terintegrasi lintas pemilik; hasil inspeksi belum secara konsisten diterjemahkan menjadi prioritas pemeliharaan, ambang batas inspeksi ulang, dan keputusan investasi.
Perikanan	Produksi budidaya besar pada wilayah pesisir, tetapi masih berhadapan dengan kualitas air, teknologi budidaya, efisiensi kapal, keselamatan, mutu hasil, cold-chain, dan risiko iklim [2].	Program pengelolaan perikanan tangkap, budidaya, pesisir, pengawasan sumber daya, pengolahan dan pemasaran hasil; kelautan-perikanan juga ditempatkan dalam agenda ketahanan pangan dan ekonomi hijau [2].	DKP, Bappeda/Biro Perekonomian, pemerintah kabupaten/kota, kelompok nelayan dan pembudidaya, perguruan tinggi/BRIN, serta pelaku usaha.	Data kualitas air, performa kapal, konsumsi energi, keselamatan, dan mutu hasil belum tersusun dalam satu sistem evaluasi; adopsi teknologi belum selalu didahului oleh validasi teknis-ekonomi lokal.
Pelabuhan dan logistik	Rob, sedimentasi, kondisi aset, downtime, risiko iklim dan kebutuhan konektivitas meningkat. Sekitar 70% arus kontainer Jawa Tengah masih melalui Tanjung Priok [3].	Revitalisasi Tanjung Emas, penguatan Pelabuhan Kendal, pembangunan dry port Batang–Kendal, serta penguatan konektivitas rel dan kawasan industri [3,11,12].	Dishub, Bappeda, Pelindo, KAI, pengelola kawasan industri, pemerintah pusat, pemerintah kabupaten/kota dan dunia usaha.	Data kondisi aset, risiko iklim, performa operasi dan indikator lingkungan belum sepenuhnya digabungkan menjadi model keputusan investasi dan sistem logistik daerah yang terpadu.

Gambar 1. Skema klasifikasi permasalahan utama rekayasa maritim Jawa Tengah

Pada sektor pesisir, persoalan rob, abrasi, land subsidence, dan degradasi ekosistem telah diakui sebagai isu pembangunan daerah. Pemerintah juga telah menjalankan Mageri Segoro sebagai gerakan perlindungan pesisir berbasis vegetasi, sekaligus mendorong pembangunan sistem perlindungan Pantura

yang lebih luas [9,10]. Di sektor kelautan dan perikanan, kebijakan daerah juga telah bergerak melalui program pengelolaan pesisir, perikanan tangkap, perikanan budidaya, pengawasan sumber daya kelautan dan perikanan, serta pengolahan dan pemasaran hasil perikanan [2]. RKPD 2026 juga menempatkan sektor kelautan-perikanan sebagai bagian dari agenda ketahanan pangan dan pembangunan ekonomi hijau. Pada sisi pelabuhan dan logistik, pemerintah telah mengidentifikasi kebutuhan akan pembenahan sistem yang lebih mendalam. Pada Mei 2026, Pemprov Jawa Tengah menyatakan bahwa sekitar 70% arus kontainer menuju Jawa Tengah masih melalui Tanjung Priok, sedangkan sekitar 30% melalui Tanjung Emas. Sebagai respons, pemerintah mendorong revitalisasi Pelabuhan Tanjung Emas, penguatan Pelabuhan Kendal, serta pembangunan dry port Batang-Kendal [3,11,12]. Tanpa baseline yang konsisten, prioritas investasi dan pemeliharaan sulit dibandingkan secara objektif. Persoalan yang lebih mendasar adalah adanya kesenjangan dalam translasi antara riset dan kebijakan. RIPJPID mengidentifikasi perlunya penguatan pemanfaatan hasil riset, kolaborasi, infrastruktur, serta hubungan antara penghasil dan pengguna riset.



Gambar 2. Skema alur penetapan solusi kebijakan untuk konsep Laboratorium Hidup Rekayasa Maritim

Tanpa baseline yang konsisten, prioritas investasi dan pemeliharaan sulit dibandingkan secara objektif. Persoalan yang lebih mendasar adalah adanya kesenjangan dalam translasi antara riset dan kebijakan. RIPJPID mengidentifikasi perlunya penguatan pemanfaatan hasil riset, kolaborasi, infrastruktur, serta hubungan antara penghasil dan pengguna riset. Pilot teknologi juga berisiko berhenti sebagai demonstrasi apabila sejak awal tidak memiliki pemilik data, indikator keberhasilan, analisis biaya siklus hidup, Standar Operasional Prosedur (SOP), spesifikasi pengadaan, dan keputusan pascapilot. Karena itu, tantangannya bukan sekadar menghasilkan teknologi baru, tetapi membangun jalur yang memungkinkan teknologi diuji, dibandingkan, dan diputuskan kelayakan adopsinya. Sejumlah hasil penelitian sebenarnya telah menyediakan basis teknologi yang dapat divalidasi secara lokal [13-18]. Dengan demikian, solusi kebijakan direkomendasikan untuk mengikuti alur yang disajikan pada Gambar 2. Prinsip ini juga mengadopsi berbagai konsep dan literatur mengenai digital twin untuk aquaculture, pertahanan pesisir berbasis ekosistem, risiko iklim di pelabuhan, serta indikator lingkungan pelabuhan [19-22].

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Untuk memastikan rekomendasi dapat diterjemahkan menjadi keputusan kebijakan, bagian ini menyajikan pilihan alternatif, desain pilot, tahapan implementasi, pembagian peran, indikator, gate keputusan, mitigasi risiko, serta rencana aksi awal. Keseluruhan rancangan diarahkan agar hasil riset tidak berhenti pada prototipe, tetapi berlanjut menjadi SOP, spesifikasi teknis, model pengadaan, dan keputusan untuk melakukan *scale-up*. Pendekatan lintas Organisasi Perangkat Daerah (OPD) melalui "Laboratorium Hidup Rekayasa Maritim" menawarkan kombinasi dampak dan skalabilitas yang paling tinggi. Pendekatan ini diestimasi lebih mampu mengurangi fragmentasi, menghubungkan riset dengan kebutuhan daerah, serta menghasilkan keluaran yang dapat ditindaklanjuti dalam perencanaan dan penganggaran. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, setiap pilot dirancang berdasarkan masalah, lokus, paket uji, dan keputusan akhir yang berbeda.

Pilot	Lokasi	Paket uji	Keputusan akhir
Pilot 1 - Pantura Coastal Asset Health & Climate Resilience	Kendal-Semarang-Demak	Baseline struktur dan risiko; sensor/Unmanned Aerial Vehicle (UAV)/USV; inspeksi korosi; Early Warning System (EWS); evaluasi solusi keras-hijau-hibrida.	Prioritas pemeliharaan; ambang batas inspeksi ulang; SOP monitoring; spesifikasi alat/data.
Pilot 2 - Smart Fisheries & Safe-Efficient Fishing Vessel	Brebes/Demak/Jepara/Pati atau sentra DKP	USV/sensor kualitas air; audit kapal; retrofit; uji insulasi penyimpanan.	Model layanan monitoring; paket retrofit; indikator biaya operasi, keselamatan, dan mutu.
Pilot 3 - Smart Port & Green Maritime Logistics	Tanjung Emas-Kendal-Batang	Baseline aset, rob/iklim, sedimentasi, korosi, downtime, dan indikator lingkungan.	Prioritas investasi/pemeliharaan; dashboard risiko; green port indicators; model sistem logistik daerah.

Gambar 3. Skema rancangan tiga pilot prioritas Laboratorium Hidup Rekayasa Maritim

Gambar 4(a) menegaskan bahwa rekomendasi Laboratorium Hidup Rekayasa Maritim tidak dimaksudkan untuk menggantikan fungsi kelembagaan maupun program yang telah berjalan. Yang perlu diperbaiki adalah hubungan antarfungsi tersebut. Bappeda telah memiliki mekanisme perencanaan, BRIDA telah membangun ekosistem riset-inovasi, dan OPD teknis telah menjalankan program sektora. Namun, diperlukan mekanisme bersama yang memastikan permasalahan OPD menjadi agenda riset, hasil riset divalidasi dalam kondisi lokal, serta hasil pilot. Analisis pada Gambar 4(b) menunjukkan bahwa sebagian besar risiko implementasi sebenarnya telah memiliki fondasi kebijakan dan kelembagaan, tetapi masih terdapat kesenjangan pada tahap operasional dan hilirisasi. Jawa Tengah telah memiliki FKRI sebagai ruang koordinasi, RIPJPID sebagai arah riset-inovasi, Satu Data sebagai kerangka interoperabilitas data, serta mekanisme perencanaan RPJMD-RKPD. Namun, instrumen tersebut belum dirangkai secara khusus menjadi satu siklus implementasi untuk persoalan maritim. Bahkan BRIDA secara eksplisit mengakui adanya innovation valley of death antara penghasil riset dan pengguna riset, sehingga kebutuhan untuk memperkuat jalur implementasi telah teridentifikasi oleh pemerintah.



(a) (b)

Gambar 4. (a) Skema pembagian evaluasi peran pemangku kepentingan, dan (b) Evaluasi risiko implementasi

Setelah mitigasi selesai dibagikan sesuai estimasi risiko, keputusan awal perlu direkomendasikan dengan cepat agar program dapat berjalan pada tahun anggaran yang relevan. Tabel 6 membagi 90 hari pertama menjadi tiga tahap. Bulan pertama menetapkan tata kelola, bulan kedua mematangkan dasar teknis dan pembiayaan, sedangkan bulan ketiga memastikan dokumen implementasi, pengadaan, data, monitoring dan evaluasi, serta *gate* keputusan siap digunakan. Keselarasan regulasi menentukan peluang sebuah pilot/agenda untuk masuk ke dalam program pemerintah. Rangkuman pada Tabel 7 menunjukkan bahwa ketiga pilot tidak berdiri sebagai agenda teknologi baru, tetapi dapat ditempatkan dalam bahasa kebijakan yang sudah tersedia dalam RPJMD dan RIPJPID. Keterkaitan ini juga memperjelas produk kebijakan yang diharapkan dari masing-masing pilot.



(a) (b)

Gambar 5. (a) Skema *call to action*, dan (b) Matriks keterkaitan Pilot-RPJMD dan RIPJPID

REFERENSI

1] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Pantura Jawa Tengah Masuk Prioritas Utama Penanganan Rob dan Abrasi. 4 Mei 2026.

[2] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Tengah. Volume Produksi Perikanan Budidaya - Tahun 2025. Portal Satu Data Jawa Tengah. Diperbarui 21 Agustus 2026.

[3] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Jaga Daya Saing Investasi, Gubernur Ahmad Luthfi Dorong Pembenahan Infrastruktur Logistik Laut. PPID Jawa Tengah. 11 Mei 2026.

[4] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 7 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2025-2029. Semarang, 2025.

[5] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Pergub Jawa Tengah No. 28 Tahun 2025 tentang Rencana Kerja Pemerintah Daerah Tahun 2026. Semarang, 2025.

[6] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Wagub Ajak Peneliti Rumuskan Strategi Ketahanan Wilayah Pantura dari Bencana Hidrometeorologi. 22 April 2025.

[7] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Tetap Jadi Magnet Investasi di Tengah Gejolak Global, Jawa Tengah Perkuat Daya Saing. 1 Juli 2026.

[8] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 6 Tahun 2026 tentang Rencana Induk dan Peta Jalan Pemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi di Daerah Tahun 2025-2029. Semarang; 2026.

[9] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Pembangunan Giant Sea Wall di Jateng Direncanakan Capai 274,7 Kilometer. Humas Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. 4 Maret 2026.

[10] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Mageri Segoro, Upaya Bersama Jaga Masa Depan Kawasan Pesisir Jawa Tengah. Humas Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. 6 Juni 2026.

[11] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Revitalisasi Pelabuhan Tanjung Emas dan Pembuatan “Dry Port” Akan Digenjot Usai Lebaran. 17 Maret 2026.

[12] Kebut Pembangunan Dry Port Batang-Kendal, Gubernur Ahmad Luthfi Dorong KAI Tuntaskan dalam 2 Tahun. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, 7 September 2026.

[13] Pranata A, Wardhana MLA, Utomo FS, Ihsanudin WN, Prabowo AR, Yaningsih I, et al. Applied Bengawan Unmanned Vehicle (UV) Stationary-Dynamic Pond Monitoring System. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2025;14(1):67-77. doi:10.18178/ijmerr.14.1.67-77.

[14] Wardhana MLA, Prabowo AR, Melnyk O, Sohn JM, Adiputra R, Raharjo WP, et al. Mechanical Design of Fishing Vessels: A Hydrodynamic Assessment to Optimize the Engineered Hull Geometry. Engineering, Technology and Applied Science Research. 2025;15(5):27306-27311. doi: 10.48084/etasr.12201.

[15] Tuswan T, Veda KAB, Chrismianto D, Mursid O, Adam S, Prabowo AR, Nubli H. Artificial intelligence-based ship hull plate corrosion monitoring using Convolutional Neural Network (CNN): Comparison of YOLOv8 and Detectron2 architecture models. Ship Technology Research. 2025;72(2):88-98. doi:10.1080/09377255.2024.2397608.

[16] Manik P, Tuswan T, Azzam MA, Samuel S, Prabowo AR. Thermal insulation properties of materials for fishing vessel coolboxes. Materials Testing. 2024;66(3):433-446. doi:10.1515/mt-2023-0244.
[17] Faizatama AM, Firdaus N, Adiputra R, Prabowo AR, Ghanbari-Ghazijani T, Fazeres-Ferrados T, et al. Hydrodynamic impact of cold-water pipes and mooring systems on KVLCC2 for floating OTEC platforms. Ocean Engineering. 2025;341:122491. doi:10.1016/j.oceaneng.2025.122491.
[18] Prabowo AR, Bae DM. Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship grounding in the Exxon Valdez's case. Results in Engineering. 2019;4:100035. doi:10.1016/j.rineng.2019.100035.
[19] Føre M, Alver MO, Alfredsen JA, Rasheed A, Hukkelås T, Bjelland HV, et al. Digital Twins in intensive aquaculture - Challenges, opportunities and future prospects. Computers and Electronics in Agriculture. 2024;218:108676. doi:10.1016/j.compag.2024.108676.
[20] Temmerman S, Meire P, Bouma TJ, Herman PMJ, Ysebaert T, De Vriend HJ. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. Nature. 2013;504:79-83. doi:10.1038/nature12859.
[21] Asariotis R, Monioudi IN, Mohos Naray V, Velegrakis AF, Vousdoukas MI, Mentaschi L, et al. Climate change and seaports: hazards, impacts, and policies and legislation for adaptation. Anthropocene Coasts. 2024;7:14. doi: 10.1007/s44218-024-00047-9.
[22] Puig M, Wooldridge C, Darbra RM. Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. Marine Pollution Bulletin. 2014;81(1):124-130. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.02.006.