



Strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir melalui pendekatan sistem dinamis di wilayah Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau, Indonesia

Environmental management strategy for coastal waters through a dynamic system approach in Tanjungpinang City region, Riau Islands, Indonesia

Febrianti Lestari 1,2

¹ Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia

² Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia.

Article Info:

Diterima: 01 November 2022
Disetujui: 20 November 2022
Dipublikasi: 24 November 2022

Keywords:

Environmental Management, Coastal Waters, Dynamic System, Tanjungpinang City

ABSTRAK. Pesisir dan pulau-pulau kecil dihadapkan pada berbagai tantangan yang signifikan salah satunya kerentanan mengalami pencemaran buangan limbah dari daratan dan besarnya dampak yang ditimbulkannya terhadap perairan pesisir. Penelitian ini menyajikan kerangka kerja untuk merumuskan pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil dari sumber antropogenik lahan darat dengan pendekatan sistem dinamik berdasarkan karakteristik faktor-faktor lingkungan fisik dan oseanografi perairan. Tujuan penelitian ini adalah untuk merumuskan strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir Kota Tanjungpinang. Hasil penelitian menunjukkan magnitude total beban limbah yang berasal dari sumber antropogenik di daratan Kota Tanjungpinang adalah sebesar 1.073,98 ton/tahun. Beban limbah organik Kota Tanjungpinang teridentifikasi dari lima sumber, yaitu limbah domestik dari pemukiman penduduk, buangan limbah hotel dan restoran, Industri makanan, serta sector pertanian dan peternakan. Strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir Tanjungpinang dengan pendekatan sistem dinamis direkomendasikan untuk menggunakan scenario optimistik, namun perlu didukung oleh beberapa kebijakan berupa (1) dukungan pemerintah untuk membangun fasilitas pengolahan limbah cair penduduk atau IPAL komunal, (2) peningkatan partisipasi dan kepedulian masyarakat terhadap lingkungan perairan, dan (3) menyusun rencana strategis daerah, khusus bidang pengelolaan lingkungan perairan dalam rangka pengendalian limbah perairan pesisir pulau-pulau kecil.

Korespondensi:

Febrianti Lestari

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia.

Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Jl. Raya Dompok Kampus UMRH Dompok, Tanjungpinang, Kepulauan Riau, Indonesia 29111

✉ febi_lestary@umrah.ac.id

ABSTRACT. Coastal and small islands are faced with various significant challenges, one of which is the vulnerability to contamination by waste disposal from land and the magnitude of the impact it has on coastal waters. This study presents a framework for formulating environmental management of small island coastal waters from anthropogenic sources of terrestrial land with a system dynamic approach based on the characteristics of physical environmental factors and oceanography of the waters. The purpose of this research is to formulate a strategy for environmental management of the coastal waters of Tanjungpinang City. The results showed that the total magnitude of the waste load originating from anthropogenic sources on the mainland of Tanjungpinang City was 1,073.98 tons/year. The burden of organic waste in Tanjungpinang City is identified from five sources, namely domestic waste from residential areas, hotel and restaurant waste, the food industry, and the agricultural and livestock sectors. The Tanjungpinang coastal waters environmental management strategy with a dynamic system approach is recommended to use an optimistic scenario, but it needs to be supported by several policies in the form of (1) government support to build a community wastewater treatment facility or communal WWTP, (2) increasing community participation and concern for the aquatic environment, and (3) preparing regional strategic plans, specifically in the field of aquatic environmental management in the context of controlling effluent in coastal waters of small islands.

Copyright© November 2022, Febrianti Lestari

Under License a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

1. Pendahuluan

Di daerah kepulauan yang mengalami percepatan pembangunan, terjadi peningkatan beban limbah ke dalam sistem perairan pesisir dan laut yang berasal dari lahan darat (*land-based*). Menurut Wilkinson (2012) limbah yang berasal dari penguraian bahan organik yang dilepaskan dari sungai sebesar 65% akan bermuara ke perairan pesisir. Semakin besar populasi

penduduk, maka semakin banyak pula tekanan pada lingkungan perairan pesisir. Kontribusi bahan limbah dalam limbah cair yang berasal dari aktivitas manusia bisa mencapai 50% sampai 75% dari limbah cair total (Putnam *et al.* 2010).

Kawasan perkotaan yang berada di pinggir pantai berpotensi menyumbang limbah domestik ke lingkungan perairan pesisir dan laut, jika terus berlanjut maka dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan sistem perairan pesisir yang pada akhirnya

berdampak buruk terhadap ekosistem perairan tersebut. Sebagaimana dijelaskan Purvaja *et al.* (2008) input limbah antropogenik yang bersumber dari masyarakat perkotaan di kawasan pesisir sangat mempengaruhi terjadinya eutrofikasi perairan. Dampak negatif eutrofikasi dapat menurunkan produktivitas hayati perairan, kerusakan ekosistem perairan dan penurunan nilai estetika (Duda, 2006). Pernyataan yang sama dikemukakan oleh Wade *et al.* (2005) bahwa aktivitas manusia telah memberikan dampak signifikan terhadap transport dan sumber bahan pencemar dari lahan darat ke estuari dan perairan pesisir.

Terganggunya keseimbangan sistem perairan akibat masukan bahan pencemar, diduga dapat menyebabkan komponen biologis di dalamnya akan mengalami perubahan bahkan terganggu dan dapat mengancam fungsi ekologi ekosistem perairan pesisir lainnya. Masalah tersebut akan semakin kompleks bila ditemukan di perairan pesisir pulau-pulau kecil. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pulau-pulau kecil yang sangat rentan dalam menerima beban limbah.

Kota Tanjungpinang yang terletak di Pulau Bintan merupakan salah satu kasus pengembangan wilayah kota yang terdapat di daratan pulau kecil. Pembangunan kota dan peningkatan pertumbuhan ekonomi berimplikasi terhadap peningkatan jumlah penduduk. Diketahui laju pertumbuhan penduduk Kota Tanjungpinang tahun 2014 sampai 2019 adalah sebesar 1,58% (BPS Kota Tanjungpinang, 2020). Peningkatan jumlah penduduk akan berdampak terhadap peningkatan berbagai aktivitas masyarakat perkotaan di lahan darat yang dapat mengakibatkan peningkatan buangan limbah ke lingkungan perairan. Kondisi ini akan diperburuk dengan adanya faktor lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil yang bersifat semi tertutup, sehingga limbah yang masuk akan terakumulasi pada perairan tersebut. Sebagaimana dijelaskan Nam *et al.* (2010) bahwa Pulau-pulau kecil merupakan wilayah yang bersifat sangat rentan terhadap pencemaran lingkungan perairan.

Mengingat rentannya perairan pesisir pulau-pulau kecil terhadap buangan limbah dari daratan dan besarnya dampak yang ditimbulkannya terhadap perairan pesisir, maka diperlukan upaya pengelolaan limbah domestik perkotaan yang menjadi sumber utama peningkatan pencemaran pada lingkungan perairan pesisir dan laut. Hal ini mendorong perlunya dilakukan suatu kajian tentang strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil yang terdapat di daerah kepulauan.

Adapun tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi sumber-sumber dan magnitude beban limbah dari kegiatan antropogenik di daratan yang berpotensi masuk ke lingkungan perairan pesisir Tanjungpinang, dan merumuskan strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir dengan pendekatan sistem dinamis di wilayah Kota Tanjungpinang.

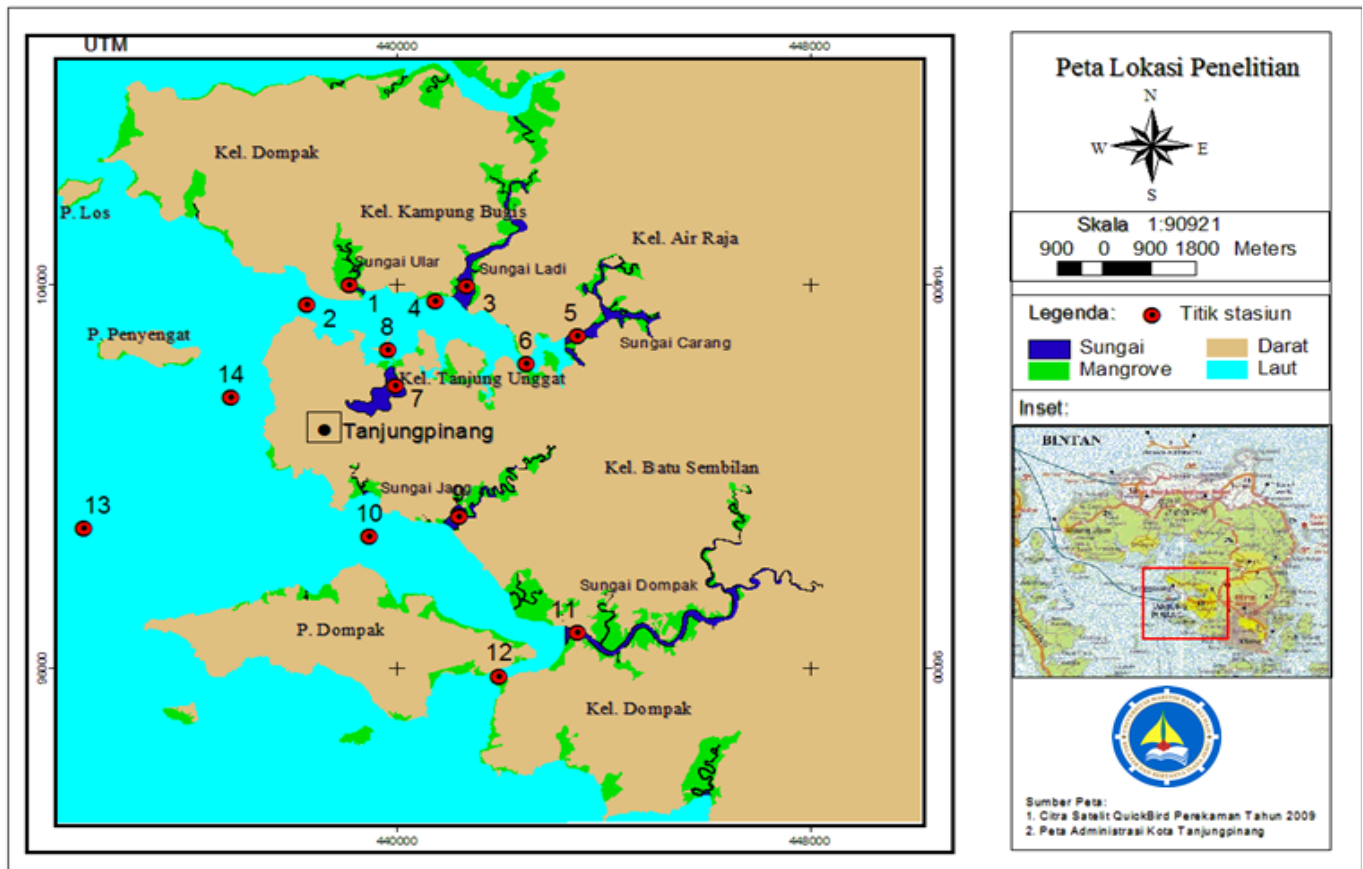
2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 8 bulan pada tahun 2020. Lokasi penelitian di tetapkan di wilayah Kota Tanjungpinang mencakup daratan dan perairan pesisir. Lebih lanjut lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk mengidentifikasi sumber-sumber limbah di daratan yang berpotensi masuk ke perairan pesisir di lokasi penelitian dilakukan melalui wawancara dan pengumpulan data BPS Kota Tanjungpinang terkait jumlah penduduk, industri, hotel dan restoran, sector pertanian dan peternakan. Pendugaan beban limbah antropogenik yang berasal dari berbagai aktivitas penduduk disekitar perairan pesisir dilakukan berdasarkan pendekatan *Rapid Assessment* (Kositrinata *et al.*, 1989; Djajadiningrat & Amir, 1993). Pengumpulan data untuk validasi model pengelolaan lingkungan perairan pesisir dilakukan dengan



Gambar 1. Peta Lokasi penelitian, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau.

bantuan pakar (*expert*) dalam bidang pengelolaan dan pengendalian pencemaran lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil. Model ini dibangun dan dikembangkan berdasarkan pada data-data empiris sistem teknologi yang ada, faktor-faktor ekologis perairan, sosial masyarakat dan kelembagaan yang mempengaruhi pengelolaan limbah lingkungan perairan pesisir. Pendekatan sistem dinamis ini digunakan untuk merumuskan strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil di daerah kepulauan secara komprehensif.

3. Hasil

3.1. Identifikasi Beban Limbah yang Bersumber dari Daratan

Pendugaan beban limbah yang berpotensi masuk ke lingkungan perairan pesisir ekivalensi dengan beban limbah yang bersumber dari hasil aktivitas *antropogenik* di daratan Kota Tanjungpinang. Penghitungan total beban limbah dari berbagai aktivitas masyarakat urban merupakan hasil perkalian antara level kegiatan dan koefisien limbah. Hasil identifikasi sumber-sumber dan besarnya beban limbah yang berasal dari berbagai aktivitas penduduk di daratan Kota Tanjungpinang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Pendugaan beban limbah dari daratan Tanjungpinang.

Sumber Limbah dari Daratan	Total beban limbah (ton/tahun)
Pemukiman penduduk	806,56
Hotel dan restoran	139,07
Industri makanan	95,52
Kegiatan Peternakan	32,65
Kegiatan Pertanian	0,17
Jumlah	1.073,98

Tabel 1. menunjukkan hasil identifikasi mengenai total beban limbah yang bersumber dari aktivitas masyarakat urban di daratan Kota Tanjungpinang pada saat dilakukan pengamatan adalah sebesar 1.073,98 ton/tahun, dengan sumbangan beban limbah terbesar didominasi oleh limbah dari aktivitas pemukiman penduduk sebesar 806,56 ton/tahun, diikuti beban limbah dari kegiatan hotel dan restoran sebesar 139,07 ton/tahun, selanjutnya bersumber dari kegiatan industri makanan yaitu sebesar 95,52 ton/tahun dan dari kegiatan peternakan sebesar 32,65 ton/tahun. Sumbangan beban limbah terkecil adalah kegiatan pertanian yang hanya sebesar 0,17 ton/tahun.

Nilai total beban limbah yang bersumber dari lahan darat Kota Tanjungpinang sebesar 1.073,98 ton/tahun, jika dibandingkan dengan beban limbah yang terdapat di perairan sebesar 5.294 ton/tahun, mengindikasikan bahwa kontribusi beban limbah yang bersumber dari daratan Kota Tanjungpinang adalah sebesar 20,29%. Namun apabila dibandingkan jumlah total beban limbah pertahun yang berasal dari daratan Kota Tanjungpinang (1.073,98 ton/tahun) masih lebih rendah dibandingkan dengan Total beban limbah yang bersal dari daratan di sekitar Laguna Thau di wilayah Prancis yaitu sebesar 1.880 ton/tahun (Tournoud, 2006), dan total beban limbah yang berasal dari aktivitas masyarakat urban di negara Itali yaitu sebesar 24.091 ton/tahun (Palmeri *et al.* 2005).

Tingginya kontribusi beban limbah dari aktivitas penduduk dipicu oleh jumlah penduduk dan aktivitasnya yang cukup tinggi, disamping itu juga dipengaruhi oleh budaya masyarakat lokal Kota Tanjungpinang yang cenderung bermukim di sekitar perairan pantai dan rumahnya tidak dilengkapi dengan fasilitas sanitasi atau wc (*water closet*), sehingga limbah kamar mandi dan kotoran warga langsung dibuang ke lingkungan perairan pesisir. Berdasarkan data dari badan pusat statistik Kota Tanjungpinang diketahui jumlah penduduk Tanjungpinang yang tidak memiliki wc masih terhitung cukup banyak, yaitu sebesar 25% dari jumlah total penduduk yang ada.

Aktivitas yang memberikan kontribusi beban limbah terbesar ke dua adalah aktivitas Hotel dan restoran, diduga karena di Kota Tanjungpinang pada umumnya hotel dan restoran belum dilengkapi dengan unit Instalasi pengolahan air limbah yang cukup memadai, sehingga buangan air limbahnya langsung masuk ke lingkungan perairan pesisir. Disamping itu juga dipengaruhi oleh jumlah hotel dan restoran cukup besar yaitu pada tahun 2020 sudah terdapat sebanyak 122 hotel berbintang dan melati ditambah dengan restoran (BPS Kota Tanjungpinang, 2020). Banyaknya jumlah hotel dan restoran yang terdapat di Kota Tanjungpinang, berkaitan dengan keberadaan Kota Tanjungpinang yang sangat strategis berbatasan dengan negara-negara tetangga, menjadikan Kota Tanjungpinang sebagai tempat tujuan wisatawan mancanegara dari negara Singapore dan Malaysia terutama pada saat hari libur akhir pekan Sabtu dan Minggu.

Kegiatan industri makanan menyumbang beban limbah yang tidak terlalu tinggi, disebabkan industri makanan di Tanjungpinang rata-rata memiliki kapasitas produksi skala home industri skala kecil sehingga potensi buangan limbah pada proses produksinya tidak terlalu besar. Selanjutnya aktivitas peternakan juga tidak terlalu signifikan memberikan kontribusi beban limbah, yaitu hanya sebesar 32,65 ton/tahun. Hal ini disebabkan aktivitas peternakan di daratan Kota Tanjungpinang hanya berupa tempat penampungan dan pemeliharaan sementara yang didatangkan dari daerah lain sebelum masuk ke rumah pemotongan.

Beban limbah yang berasal dari kegiatan pertanian memberikan kontribusi paling rendah yaitu hanya sebesar 0,17 ton/tahun. Hal ini disebabkan karena kegiatan pertanian di wilayah Kota Tanjungpinang hanya sedikit jumlahnya relatif kecil terkait orientasi Kota Tanjungpinang sebagai kota perdagangan dan wisata. Namun apabila aktivitas tersebut tidak dikelola dengan baik maka di masa mendatang akan dapat menimbulkan peningkatan jumlah beban limbah di perairan pesisir Kota Tanjungpinang.

3.2. Strategi Pengelolaan Lingkungan Perairan Pesisir Kota Tanjungpinang

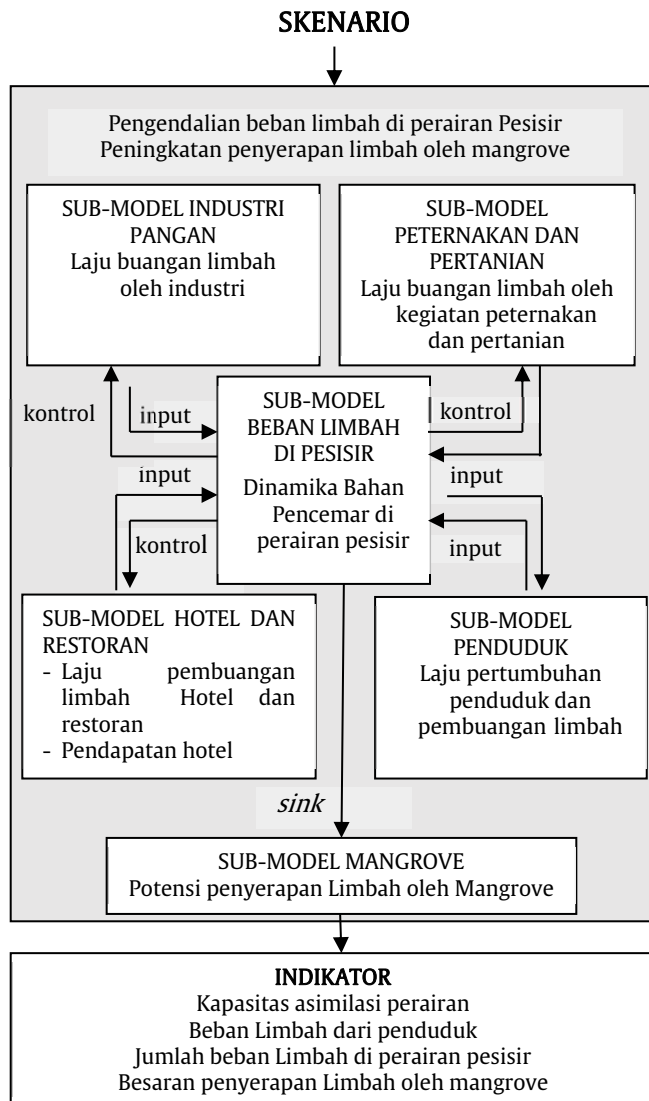
Penentuan strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan sistem dinamik. Model ini digunakan sebagai alat analisis untuk memformulasikan pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil secara tepat dan optimal yang dapat dikembangkan berdasar parameter ilmiah sehingga diperoleh melalui hasil penelitian serta menggunakan data dari referensi terkait. Sistem dinamik ini dioperasikan pada berbagai jenis bentuk kegiatan di lahan darat yang berpotensi menghasilkan limbah ke lingkungan perairan pesisir sehingga dapat diprediksi respon dari sistem yang dipelajari akibat intervensi manusia. Beberapa asumsi yang dibangun dalam sistem dinamik ini, yaitu:

1. Tipe model yang digunakan adalah kompartemen, yaitu variabel didefinisikan dan dikuantifikasi dimana waktu sebagai faktor penentu.
2. Beban limbah di perairan (beban awal), total beban limbah yang bersumber dari aktivitas daratan dan beban limbah dari aktivitas penduduk, hotel dan restoran sesuai yang terdapat di lokasi penelitian.
3. Buangan limbah *antropogenik* (*external loading*) di sekitar wilayah pesisir Tanjungpinang memberikan pengaruh terhadap kapasitas asimilasi perairan dalam menampung beban limbah (San Diego- McGlone *et al.*, 1999).
4. Ekosistem mangrove mempunyai kemampuan menyerap beban limbah organik sehingga dapat meningkatkan kapasitas asimilasi perairan pesisir tersebut.
5. Kapasitas asimilasi didasarkan pada nilai baku mutu air laut minimal (0,5 mg/l) dan maksimal (1,0 mg/l) untuk kehidupan biota (Lampiran II PP no. 22 Tahun 2021).
6. Dinamika yang ada merupakan nilai hasil pengamatan dari setiap parameter selama penelitian.

3.3. Konseptualisasi Model

Secara konseptualisasi model, hal yang perlu diketahui pertama adalah memahami perilaku sistem dinamika bahan limbah di perairan. Pengembangan sistem sebaran bahan limbah di perairan pesisir dan penyerapan oleh ekosistem mangrove

dirumuskan model yang bertujuan untuk menjelaskan perubahan perilaku sistem tersebut. Model ini terdiri dari 5 sub model, yaitu: 1) submodel Penduduk; 2) submodel Hotel dan restoran; 3) Submodel industri pangan; 4) submodel beban limbah di perairan pesisir; 5) submodel mangrove. Hubungan antara sub-model dapat dijelaskan pada Gambar 2.



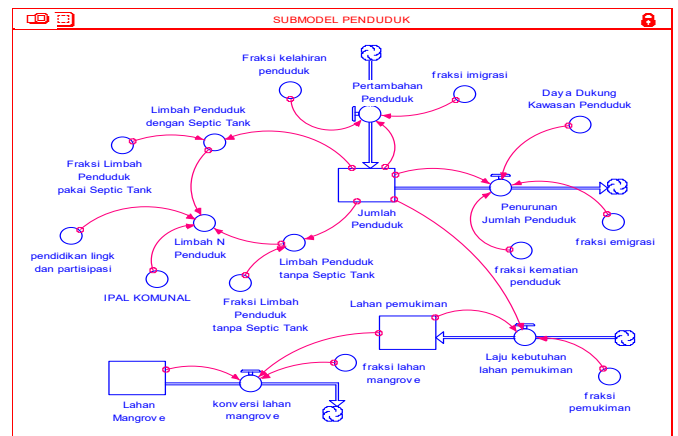
Gambar 2. Konseptual sistem Pengelolaan Limbah Perairan Pesisir Pulau-pulau Kecil wilayah Tanjungpinang.

3.4. Perumusan Sub-Model Pengelolaan Lingkungan Perairan

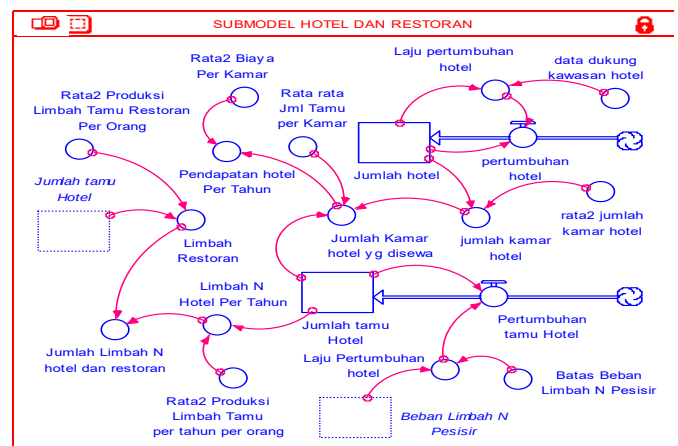
Model konseptual dirinci menjadi diagram *stock and flow*. Diagram tersebut dibuat dengan perangkat lunak *stella ver.9.2*. Pada tahapan ini model dalam *stock and flow* diidentifikasi sehingga dapat disimulasikan. Adapun spesifikasi model dinamika beban limbah dan potensi penyerapannya oleh mangrove terdiri dari beberapa sub-model, yaitu sub-model penduduk, sub model hotel dan restoran, sub model peternakan dan pertanian, sub-model beban limbah pesisir dan sub-model mangrove. Masing-masing sub-model tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 s/d 8.

3.4.1. Sub-Model Penduduk (SM-PDK)

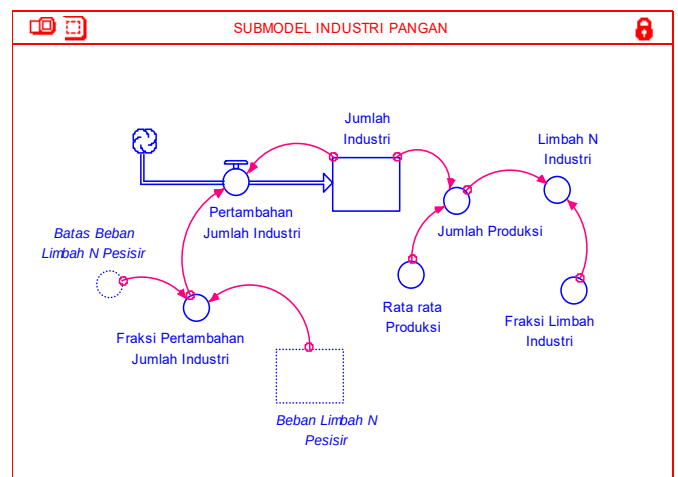
Pada sub-model penduduk menggambarkan dinamika jumlah penduduk. Pertumbuhan penduduk dipengaruhi oleh jumlah kelahiran dan emigrasi penduduk ke Kota Tanjungpinang. Selanjutnya jumlah penduduk akan mempengaruhi beban limbah yang akan di buang ke lingkungan perairan. Sub model ini dibangun



Gambar 3. Diagram alir sub-model Penduduk sebagai sumber penghasil beban limbah dari daratan yang berpotensi masuk ke perairan pesisir.

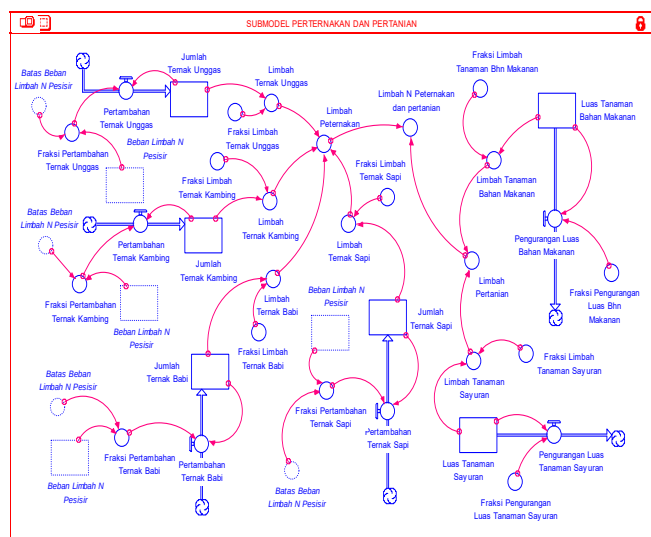


Gambar 4. Diagram alir sub-model Hotel dan Restoran sebagai sumber limbah yang masuk ke perairan pesisir.

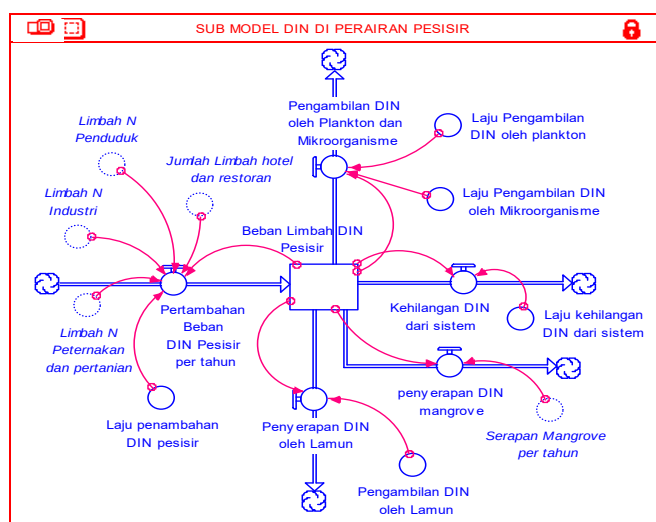


Gambar 5. Diagram alir sub-model industri pangan sebagai sumber beban limbah yang masuk ke sistem perairan pesisir.

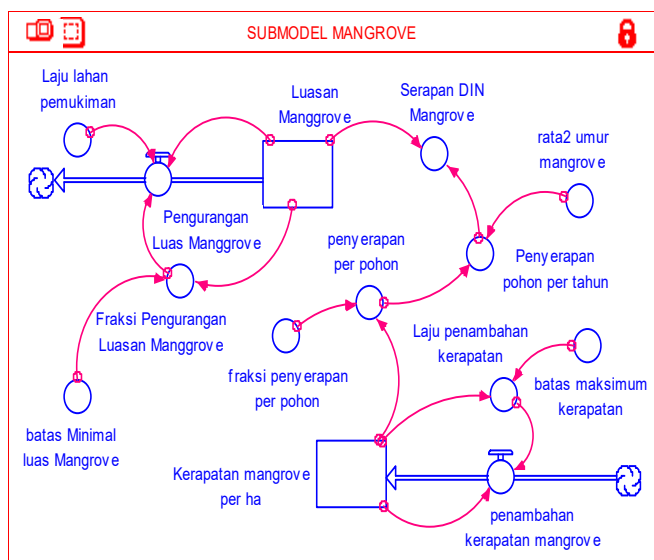
berdasarkan jumlah unit penghasil limbah ke lingkungan dan menggambarkan akumulasi beban limbah yang masuk ke perairan pesisir yang berasal dari aktivitas *antropogenik* di daratan Tanjungpinang. Model Sistem dinamik ini dikembangkan dengan mengacu dari beberapa parameter ilmiah yang diperoleh melalui hasil penelitian serta menggunakan data terkait.



Gambar 6. Diagram alir sub-model aktivitas peternakan dan pertanian yang berkontribusi terhadap limbah perairan pesisir.



Gambar 7. Diagram alir sub-model masukan beban limbah di perairan pesisir.



Gambar 8. Diagram alir sub model ekosistem mangrove sebagai variabel penyerap bahan limbah di perairan pesisir.

3.4.2. Sub-Model Hotel dan Restoran (SM-HTR)

Pada sub-model hotel dan restoran menggambarkan dinamika jumlah pengunjung yaitu tamu hotel yang akan mempengaruhi juga jumlah tamu restoran. Pertumbuhan tamu hotel diketahui dipengaruhi oleh laju pertumbuhan tamu restoran dan jumlah tamu. Jumlah tamu hotel akan mempengaruhi jumlah kamar yang disewa oleh pengunjung yang nantinya akan berimplikasi pada nilai ekonomi yang dihitung dari pendapatan hotel diketahui. Selanjutnya jumlah tamu hotel juga akan mempengaruhi total beban limbah yang akan di buang ke lingkungan ditambah dengan total beban limbah yang dihasilkan dari aktivitas restoran. Penjelasan secara rinci tentang sub-model Hotel dan Restoran ditampilkan pada Gambar 4.

3.4.3. Sub-Model Industri Pangan (SM-IP)

Sub-model ini menggambarkan dinamika jumlah industri pangan yang terdapat di Kota Tanjungpinang. Jumlah industri pangan berdasarkan rata-rata produksi diketahui dan faktor pengali fraksi limbah industri akan mempengaruhi total beban limbah yang akan masuk ke lingkungan perairan pesisir. Pertumbuhan jumlah industri yang terdapat di Tanjungpinang harus mempertimbangkan beban limbah pesisir yang masuk ke perairan dan nilai ambang batas beban limbah di perairan pesisir (Gambar 5).

3.4.4. Sub-Model Peternakan dan Pertanian

Sub-model peternakan dibangun berdasarkan potensi pembuangan limbah yang berasal dari pembuangan sisa metabolisme berbagai jenis ternak teridentifikasi di daratan Kota Tanjungpinang yaitu terdiri dari jenis ternak unggas, kambing, babi dan sapi yang masing-masing memiliki koefisien nilai kontribusi limbah yang berbeda. Jumlah buangan limbah dari aktivitas peternakan ditentukan dari perkalian jumlah hewan ternak yang di pelihara dari berbagai jenis dengan koefisien limbah dari berbagai jenis hewan ternak tersebut. Selanjutnya potensi buangan limbah dari aktivitas pertanian dibangun berdasarkan luas tanaman pangan dan tanaman sayuran dan dikalikan dengan koefisien limbah yang telah ditetapkan (Gambar 6).

3.4.5. Sub-Model Beban Limbah di Perairan Pesisir

Sub-model ini dibangun berdasarkan masukan beban limbah yang berasal dari berbagai aktivitas antropogenik daratan yaitu terdiri dari aktivitas penduduk, hotel dan restoran, industri pangan, peternakan dan pertanian. Sub model ini menggambarkan dinamika beban limbah di perairan pesisir, ada input sumber masukan limbah dari darat dan adanya aktivitas penyerapan beban limbah di perairan pesisir yang dilakukan oleh ekosistem mangrove di sekitar kawasan pesisir. Disamping itu juga terdapat penyerapan oleh fitoplankton dan mikroorganisme akuatik yang dianggap konstan. Selanjutnya daya dukung perairan atau kapasitas asimilasi perairan pesisir terhadap beban limbah di perairan ditentukan berdasarkan nilai baku mutu lingkungan perairan untuk biota laut. Lebih rinci diagram alir sub-model beban limbah di perairan pesisir disajikan pada Gambar 7.

3.4.6. Sub-Model Ekosistem Mangrove sebagai Penyerap Limbah

Pada submodel ekosistem mangrove menggambarkan dinamika penyerapan luas mangrove yang akan mempengaruhi jumlah penyerapan mangrove terhadap beban limbah di perairan pesisir. Kemampuan penyerapan mangrove per hektar per tahun dipengaruhi oleh kerapatan mangrove dan tingkatan umur mangrove. Penjelasan secara rinci tentang sub-model penyerapan beban limbah oleh ekosistem mangrove ditampilkan pada Gambar 8.

4. Hasil

Skenario pengelolaan limbah di perairan pesisir dirancang dengan tujuan untuk mempersiapkan tindakan strategis di masa depan dengan cara menentukan faktor-faktor yang berperan penting terhadap berbagai kemungkinan yang akan terjadi di masa depan. Deskripsi masing-masing faktor yang berperan dalam pengelolaan limbah perairan pesisir adalah sebagai berikut:

a) Pertumbuhan penduduk

Pertumbuhan penduduk terjadi akibat pertumbuhan melalui kelahiran dan urbanisasi serta pengurangan akibat kematian dan

emigrasi. Pertumbuhan penduduk akan mempengaruhi jumlah limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik. Pertumbuhan tersebut didasarkan pada data historis tiap tahunnya.

b) Persepsi masyarakat

Persepsi masyarakat adalah pandangan masyarakat tentang kegiatan pengendalian limbah perairan pesisir. Cara mengetahuinya adalah melalui beberapa indikator pertanyaan yang menjelaskan tingkat persepsi masyarakat terhadap (1) kegiatan pencegahan limbah yang masuk ke perairan pesisir, (2) keterlibatan masyarakat langsung dalam kegiatan penanggulangan limbah perairan pesisir dan (3) tingkat partisipasi terhadap pencegahan dan penanggulangan limbah perairan pesisir.

c) Pengawasan lahan mangrove

Pengawasan lahan mangrove di kawasan pesisir oleh masyarakat terutama dalam hal menjaga ketersediaan kawasan mangrove yang merupakan faktor penting dalam mengurangi beban limbah di perairan pesisir.

d) Dukungan pemerintah daerah

Pemerintah daerah yang dimaksud adalah instansi yang terkait dengan pemanfaatan perairan pesisir Tanjungpinang. Dukungan yang diberikan adalah pengadaan fasilitas Instalasi Pengolahan Air Limbah penduduk (IPAL Komunal) yang diadakan pada kawasan padat penduduk di pinggiran pantai yang belum menggunakan septik tank.

e) Pertumbuhan hotel

Pertumbuhan hotel terjadi akibat penambahan pembangunan hotel berkaitan dengan pemberian izin pendirian hotel yang diberikan oleh pemerintah daerah. Pertumbuhan hotel akan mempengaruhi jumlah limbah yang dihasilkan dari aktivitas tamu hotel. Namun disisi lain pertumbuhan hotel berkontribusi pendapatan asli daerah setempat.

Berdasarkan hasil analisis masing-masing faktor yang berperan dalam sistem yang dibangun, maka dapat dirumuskan desain model pengelolaan limbah perairan pesisir pulau-pulau kecil ke dalam tiga skenario pengelolaan yang terdiri dari:

4.1. Strategi Pengelolaan lingkungan dengan Skenario Moderat

Skenario moderat merupakan analisis skenario dasar yang mengandung pengertian bahwa keadaan masa depan yang mungkin terjadi diperhitungkan dengan penuh pertimbangan sesuai dengan keadaan dan kemampuan sumberdaya dan kondisi lingkungan perairan yang dimiliki saat ini. Skenario moderat dibangun berdasarkan parameter kunci: 1) pertumbuhan penduduk tetap pada kondisi saat ini yaitu tingkat pertumbuhan 4%; 2) partisipasi masyarakat tidak mengalami perubahan (tetap) yaitu sebesar 75%; 3) laju pengurangan lahan mangrove seperti kondisi saat ini sebesar 9,2%; 4) tidak adanya sarana pengolahan air limbah di kawasan penduduk; dan pertumbuhan hotel tetap pada saat ini yaitu 2%.

Penerapan konsep skenario moderat yaitu jika kondisi akan datang sama dengan kondisi saat ini maka memberikan hasil sebagai berikut: 1) adanya peningkatan beban limbah dari darat akibat akumulasi limbah yang berasal dari penduduk, hotel, restoran, peternakan, pertanian dan industri yaitu sebesar 1.187,68 ton untuk tahun 2022 dan diperkirakan menjadi 1.562,54 ton di tahun 2045; 2) beban limbah di perairan pesisir mengalami penurunan selama kurun waktu tahun 2022 sampai 2045 yang diprediksi sebesar 3.234,80 ton; 3) Penyerapan beban limbah oleh Mangrove berkurang dari kisaran 79,59 ton di tahun 2022 menjadi sekitar 44,60 ton di tahun 2045; dan 4) pendapatan Asli Daerah dari hotel meningkat dari Rp 5.878.846.512.000.000 untuk tahun 2022 menjadi Rp 7.912.153.386.368.047 pada tahun 2045.

4.2. Strategi Pengelolaan dengan Skenario Pesimistik

Skenario pesimistik dibangun berdasarkan kondisi; 1) pertumbuhan penduduk yang relatif masih tinggi yaitu > 4%, hal ini juga akan meningkatkan jumlah penduduk yang membuang limbah ke perairan pesisir; 2) kurangnya sosialisasi dan penyuluhan oleh pemerintah sehingga pengetahuan masyarakat tentang lingkungan rendah menyebabkan tingkat partisipasi masyarakat untuk pengendalian limbah perairan pesisir menurun menjadi < 75%;

3) konversi lahan Mangrove secara besar-besaran untuk kepentingan pemukiman dan peruntukan lainnya akan membuat fungsi Mangrove sebagai penyerap limbah menjadi berkurang; 4) pemerintah daerah kurang mendukung, karena tidak menyediakan sarana pengolahan air limbah (IPAL Komunal) untuk masyarakat di bantaran pantai; dan 5) hotel moratorium sehingga pendapatan asli daerah menjadi berkurang.

Penerapan konsep skenario pesimistik ini akan memberikan implikasi berupa: 1) terjadi peningkatan beban limbah dari darat akibat akumulasi limbah yang berasal dari penduduk, hotel, restoran, peternakan, pertanian dan industri sebesar 1.546,38 ton untuk tahun 2022 menjadi 2.124,35 ton di tahun 2045; 2) beban limbah di perairan pesisir mengalami penurunan sampai kurun waktu tahun 2045 hanya sebesar 2.541,72 ton nilainya melebihi kapasitas asimilasi perairan pesisir yang hanya sebesar 538 ton; 3) penyerapan limbah oleh mangrove berkurang drastis yaitu dari 79,59 ton di tahun 2022 menjadi hanya sekitar 43,13 ton di tahun 2045; 4) Pendapatan Asli Daerah (PAD) dari pajak hotel berdasarkan pendapatan hotel dari rata-rata kunjungan tamu menjadi konstan yaitu sebesar Rp 5.878.846.512.000.000 sampai tahun 2045.

4.3. Strategi Pengelolaan dengan Skenario Optimistik

Skenario optimis dibangun berdasarkan kondisi; 1) peningkatan laju pertumbuhan penduduk < 2%; 2) partisipasi dan persepsi masyarakat terhadap pengendalian limbah perairan meningkat menjadi >75%; 3) laju pengurangan lahan mangrove lebih rendah dari kondisi saat ini (< 9,2%); 4) adanya dukungan dari pemerintah daerah dengan penyediaan Instalasi Pengelolaan Air Limbah penduduk (IPAL komunal) di kawasan pemukiman padat di bantaran pantai yang tidak menggunakan septik tank; dan 5) pertumbuhan hotel meningkat lebih besar dari kondisi saat ini (>2%).

Penerapan konsep skenario optimis memberikan hasil sebagai berikut: 1) beban limbah yang berasal dari darat memiliki nilai yang lebih rendah daripada kapasitas asimilasi perairan yaitu sebesar 380,98 pada tahun 2022, walaupun tidak sebesar kondisi pesimistik dan moderat, namun masih terdapat peningkatan beban limbah dari darat akibat akumulasi limbah yang berasal dari penduduk, hotel, restoran, peternakan, pertanian dan industri sebesar 380,98 ton untuk tahun 2022 menjadi 528,06 ton di tahun 2045, sehingga peningkatan beban limbah terjadi hanya sebesar 147,08 ton; 2) beban limbah di perairan pesisir mengalami penurunan yang cukup signifikan selama kurun waktu tahun 2022 sampai 2045 yaitu sebesar 4.597,06 ton; 3) penyerapan limbah oleh mangrove meningkat sebesar 79,59 ton pada tahun 2022 menjadi 43,65 ton di tahun 2045, dan 5) PAD yang bersumber dari pajak hotel mengalami peningkatan sebesar Rp 5.878.846.512.000.000 dan pada tahun 2022 naik menjadi Rp 11.451.408.034.024.110 di tahun 2045.

5. Simpulan

Beban limbah yang berasal dari daratan yang masuk ke perairan pesisir Tanjungpinang adalah sebesar 1.073,98 ton/tahun, dengan penyumbang terbesar adalah limbah dari aktivitas penduduk yaitu sebesar 806,56 ton/tahun, diikuti berturut-turut oleh: limbah kegiatan hotel dan restoran (139,07 ton/tahun), limbah industri makanan (95,52 ton/tahun), limbah dari kegiatan peternakan (32,65 ton/tahun), dan limbah yang berasal dari kegiatan pertanian sebesar 0,17 ton/tahun.

Strategi pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil di Tanjungpinang dengan skenario optimistik perlu didukung oleh beberapa kebijakan, yaitu 1) dukungan pemerintah untuk membangun fasilitas Instalasi Pengolahan Air Limbah permukiman (IPAL komunal), 2) peningkatan partisipasi dan kepedulian masyarakat terhadap sanitasi lingkungan, dan 3) Penyusunan rencana strategis daerah terkait bidang pengelolaan lingkungan perairan pesisir pulau-pulau kecil.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian kepada masyarakat dan Penjaminan Mutu Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH) atas pendanaan yang telah diberikan melalui hibah internal UMRAH.

Publisher's Note

Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Wuna on behalf of Sangia Publishing remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Supplementary files

Data sharing not applicable to this article as no datasets were generated or analyzed during the current study, and/or contains supplementary material, which is available to authorized users.

Competing interest

All author(s) declare no competing interest.

Referensi

- Adrianto L. 2015. *Analisis dan Evaluasi Hukum Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Pusat Perencanaan Pembangunan Hukum Nasional, Badan Pembinaan Hukum Nasional, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia RI.
- Bengen D.G. 2000. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Camid C, Wiyajanti BI. 2021. Kajian Pengendalian Pencemaran Air Laut Berdasarkan Partisipasi Masyarakat di Kawasan Pesisir Pantai Santolo Kecamatan Cikelet Kabupaten Garut. *Jurnal Riset Perencanaan Wilayah dan Kota* 01:23-29.
- BPS Kota Tanjungpinang. 2020. *Statistik Daerah Kota Tanjung Pinang Tahun 2020*. Badan Pusat Statistik Kota Tanjungpinang.
- Duda, A.M., 2006. Policy, Legal and Institutional reform for Public Partnerships Needed to Sustain Large Marine Ecosystems of East Asia. *Ocean and Coastal Management* 49: 461-469.
- Djajadiningrat ST, Amir HH. 1998. *Penilaian Secara Cepat sumber-sumber limbah Air, Tanah dan Udara*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta.
- Hammar RKR dan Wanma GF. 2017. Pengendalian Pencemaran Lingkungan Laut dan Pesisir. *Patriot* 01: 2-16.
- Kositratana N, Nuntapotech A, Supatanasiksem S, Ittharatana A. 1989. *Report of the Assessment of Pollution from Land-based Sources, their Impact on the Environment*. Official of the National Environment Board (ONEB), Thailand.
- Mann KH, Lazier JRN. 1991. *Dynamic of Marine Ecosystem. Biological-Physical Interaction in The Oceans*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Nam J, Chang W, Kang D. 2010. Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea. *Ecological Modelling* 221: 2102-2107.
- Palmeri L, Bendoricchio G, Artioli Y. 2005. Modelling nutrient emissions from river systems and load to the coastal zone : Po River case study, Italy. *Ecological Modelling* 184 : 37 - 53.
- Pramudia B. 2014. Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan di Wilayah Pesisir. *Widyaiswara network jurnal* 4: 21-40.
- Purvaja R, Ramesh R, Ray AK, Rixen T. 2008. Nitrogen cycling : A review of the processes, transformations and fluxes in coastal ecosystems. *Current Science* 94 : 1419 - 1438.
- Putnam LA, Gambrell RP, Rusch KA. 2010. CBOD₅ treatment using the marshland upwelling sistem. *Ecological Engineering* 36: 548-559.
- Suparyana PK, Indrawan IPE, Nursan M. 2022. Faktor yang mempengaruhi Pengendalian Pencemaran Lingkungan Kawasan Pesisir Pantai pada Kawasan Ekowisata Kuranji Dalang. *Emasains* 9 : 8-15
- Tournoud MG, Payraudeau S, Cernesson F, Salles C. 2006. Origins and quantification of nitrogen input into a coastal lagoon : Application to the Thau lagoon (France). *Ecological Modelling* 193 : 19 - 33.
- Wade AJ, Neal C, Whitehead PG, Flynn NJ. 2005. Modelling nitrogen fluxes from the land to the coastal zone in European systems : a perspective from the INCA project. *Journal of Hydrology* 304 : 413 - 429.
- Wardana I. 2020. Pengelolaan wilayah dan sumber daya pesisir terintegrasi dalam implementasi rencana tata ruang kawasan industri oleochemical malay kutai timur; (sebuah telaah kritis). *Jurnal Renaissance* 5(01): 599-609
- Wilkinson C and Salvat B. 2012. Coastal Resource Degradation in the tropics: Does the tragedy of the commons apply for coral reefs, mangrove forest and seagrass beds. *Marine Pollution Bulletin* 64: 1096-1105.

Febrianti Lestari, Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia.
 Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia.
 Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Jl. Raya Dompok Kampus UMRAH Dompok, Tanjungpinang, Kepulauan Riau 29111, Indonesia.
 Email: febi_lestary@umrah.ac.id
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4361-7038>
 URL Google Scholar: <https://scholar.google.co.id/citations?hl=id&user=ltDRKugAAAAJ>

How to cite this article:

Lestari, F., 2022. Environmental management strategy for coastal waters through a dynamic system approach in Tanjungpinang City region, Riau Islands, Indonesia. *Akuatikisile: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil* 6(2): 141-147.
<https://doi.org/10.29239/j.akuatikisile.6.2.141-147>