OPEN ACCESS
Journal Homepage: http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jwl

JURNAL WILAYAH DAN LINGKUNGAN
P-ISSN: 2338-1604 dan E-ISSN: 2407-8751
Volume 13 Nomor 1, April 2025, 75-91
http://dx.doi.org/10.14710/jwl.13.1.75-91

Dinamika Penduduk dan Penutupan Lahan Pesisir Kecamatan Bumi Waras menggunakan Sistem Dinamik

Population Dynamics and Coastal Land Cover of Bumi Waras Sub-district using System Dynamics

Cantika Al Marfuah[1]
Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Yudha Rahman
Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Adnin Musadri Asbi
Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Husna Tiara Putri
Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Artikel Masuk : 3 Juni 2024
Artikel Diterima : 18 Maret 2025
Tersedia Online : 30 April 2025

Abstrak: Penelitian ini mengkaji proyeksi dinamika penduduk dan perubahan penutupan lahan di Pesisir Kecamatan Bumi Waras, Kota Bandar Lampung dengan menggunakan pendekatan Sistem Dinamik. Kawasan ini dipilih karena memiliki populasi tertinggi di antara kecamatan pesisir lainnya di Kota Bandar Lampung. Penelitian berfokus pada dua variabel utama: dinamika penduduk dan penutupan lahan, dengan mempertimbangkan sub-variabel berupa tingkat kematian akibat polusi dan kebutuhan ruang per kapita. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2033, populasi di Kecamatan Bumi Waras diproyeksikan mencapai 48.490 jiwa. Peningkatan populasi ini berdampak pada perluasan lahan terbangun hingga 93,5% (234,03 Ha) dari total wilayah, menyisakan hanya 6,5% (16,77 Ha) lahan non-terbangun. Kondisi ini tidak sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung yang mewajibkan minimal 30% (75,24 Ha) lahan non-terbangun di kawasan tersebut. Ketidakseimbangan ini berpotensi meningkatkan konsentrasi karbondioksida (CO2) di udara, yang diperkirakan dapat mengakibatkan kematian sebanyak 8 jiwa per tahun akibat polusi udara. Temuan ini mengindikasikan pentingnya pengendalian pertumbuhan penduduk dan perencanaan tata ruang yang lebih baik untuk menjaga keseimbangan lingkungan di kawasan pesisir.

[1] Korespondensi Penulis: Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia
Email: cantikaalmarfuah@gmail.com

How to Cite
Marfuah, C, A., Rahman, Y., Asbi, A, M., & Putri, H, T., (2025).
Dinamika Penduduk dan Penutupan Lahan Pesisir Kecamatan Bumi Waras Menggunakan
Sistem Dinamik. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, *13* (1), 75-91. doi: 10.14710/jwl.13.1.75-91

© 2025 LAREDEM

Kata Kunci: Dinamika Penduduk; Kawasan Pesisir; Perubahan Penutupan Lahan; Sistem Dinamik.

Abstract: *This research examines the projection of population dynamics and land cover changes in the coastal area of Bumi Waras District, Bandar Lampung City, using a dynamic systems approach. This area was chosen because it has the highest population among other coastal districts in Bandar Lampung. The study focuses on two main variables: population dynamics and land cover, considering sub-variables such as mortality rates due to pollution and per capita space requirements. The analysis results show that by 2033, the population in Bumi Waras District is projected to reach 48,490 people. This population increase impacts the expansion of built-up land to 93.5% (234.03 Ha) of the total area, leaving only 6.5% (16.77 Ha) of non-built land. This condition does not comply with Bandar Lampung City's Spatial Planning (RTRW) regulation, which requires a minimum of 30% (75.24 Ha) of non-built land in the area. This imbalance has the potential to increase carbon dioxide (CO2) concentration in the air, which is estimated to result in 8 deaths per year due to air pollution. These findings indicate the importance of population growth control and better spatial planning to maintain environmental balance in coastal areas.*

Keywords: *Land Cover Change, Population Dynamics, Coastal Area, System Dynamics.*

Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia sepanjang 99.093 km dengan luas perairan mencapai dua pertiga dari total daratan (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2018). Karakteristik ini menjadikan wilayah Pesisir Indonesia sebagai area pemukiman yang strategis, dengan sekitar 60% penduduk memilih bermukim di kawasan tersebut (Siubelan, 2015). Tingginya tingkat hunian di wilayah pesisir didorong oleh kompleksitas kegiatan ekonomi, pariwisata, dan kemudahan akses. Wilayah pesisir memiliki karakteristik unik karena merupakan zona pertemuan antara daratan dan lautan, yang menyebabkannya rentan terhadap perubahan penutupan lahan (Lozi dan Rahmad, 2018). Perubahan ini terjadi secara dinamis seiring dengan aktivitas manusia, namun seringkali aktivitas yang tumpang tindih mengakibatkan penurunan kualitas ekosistem pesisir (Aldian, Zuryani & Ulni, 2022).

Pertumbuhan penduduk yang signifikan di kawasan pesisir terutama didorong oleh potensi sumber daya laut yang melimpah, yang menarik masyarakat untuk menggantungkan hidup sebagai nelayan (Christiawan & Budiarta, 2017). Peningkatan populasi ini memicu pembangunan masif yang mengubah pola pemanfaatan lahan secara cepat dan drastis (Damai, 2003). Kondisi ini menciptakan tantangan dalam menjaga keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan pelestarian ekosistem pesisir. Pertumbuhan jumlah penduduk dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah angka fertilitas, mortalitas dan migrasi yang dapat mempengaruhi kualitas, kuantitas, laju pertumbuhan, struktur penduduk serta kepadatan penduduk pada suatu wilayah (Hidayati, dkk., 2020). Perubahan jumlah penduduk merupakan hasil perbandingan dari jumlah penduduk pada dua periode waktu tertentu, dinamika penduduk umumnya dipengaruhi oleh pertambahan dan pengurangan jumlah penduduk, baik secara alami maupun karena migrasi (Handayani & Waskitaningsih, 2019).

Pendekatan Sistem Dinamik telah terbukti efektif dalam memprediksi hubungan antara perubahan penutupan lahan dan pertumbuhan penduduk. Siubelan (2015) mendemonstrasikan hal ini dalam penelitiannya di Pesisir Kota Kupang, yang menganalisis tiga variabel utama: pertumbuhan penduduk, penggunaan lahan, dan timbunan sampah. Penelitian tersebut mengungkapkan terjadinya alih fungsi lahan non-terbangun menjadi permukiman seluas 836,53 Ha selama periode 1999-2013, yang diikuti dengan peningkatan volume timbunan sampah seiring pertambahan penduduk. Permasalahan serupa juga

ditemukan di Pesisir Kota Bandar Lampung. Penelitian Damai (2003) mengidentifikasi berbagai dampak negatif dari pertumbuhan penduduk terhadap kawasan pesisir, termasuk hilangnya sempadan pantai, reklamasi pantai yang tidak terkendali, pencemaran lingkungan perairan, munculnya permukiman kumuh, dan peningkatan risiko banjir. Penerapan pendekatan Sistem Dinamik dalam konteks ini memungkinkan pengembangan simulasi skenario penataan ruang yang komprehensif untuk kawasan pesisir. Metode ini efektif karena dapat menganalisis hubungan antara berbagai gejala geografis dalam suatu ruang, sehingga menghasilkan arahan peruntukan ruang yang lebih terarah dan terukur untuk pengembangan kawasan pesisir Kota Bandar Lampung.

Kota Bandar Lampung, ibu kota Provinsi Lampung, terdiri dari 20 kecamatan dan berlokasi di wilayah Pesisir Teluk Lampung. Sebagai pusat perkotaan yang terletak di kawasan pesisir, kota ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan aktivitas yang sangat kompleks (Ilmi, Asbi & Syam, 2020). Pesatnya pembangunan di Kota Bandar Lampung telah mengakibatkan perubahan signifikan pada penutupan lahan, di mana banyak lahan non-terbangun beralih fungsi menjadi lahan terbangun (Agustri & Asbi, 2020). Di antara empat kecamatan pesisir di Kota Bandar Lampung, Kecamatan Bumi Waras mencatat jumlah penduduk tertinggi. Berdasarkan penelitian Marfuah, Rahman, & Asbi (2023), kawasan Pesisir Kecamatan Bumi Waras mengalami penurunan drastis pada luas lahan non-terbangun selama periode 2013-2021, menyisakan hanya 56,85 Ha atau sekitar 23% untuk Ruang Terbuka Hijau (RTH). Kondisi ini tidak sejalan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung 2021-2041 yang menetapkan ketentuan minimal 30% area untuk RTH.

Kerusakan lingkungan akibat perubahan pemanfaatan lahan di kawasan pesisir tidak hanya berdampak pada penataan ruang dan timbunan sampah, tetapi juga berpengaruh signifikan terhadap kondisi kehidupan masyarakat (Oprasmani dkk, 2020). Berkurangnya lahan non-terbangun karena pertumbuhan penduduk berkontribusi pada peningkatan kadar karbondioksida (CO2) di udara (Indriyani dkk, 2016). Dalam konteks ini, Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki peran vital sebagai paru-paru kota dan area rekreasi masyarakat, dengan kemampuan menyerap CO2 (Setyani, Sitorus, & Panuju, 2017). Penelitian Wang & Tassinary (2019) menunjukkan hubungan signifikan antara distribusi spasial RTH di perkotaan dengan tingkat kematian. Setiap penambahan RTH seluas $1m^2$ dapat menurunkan angka kematian sebesar 0,011%, sementara pembangunan RTH seluas 83,6 m^2 berkontribusi pada penurunan angka kematian sebesar 0,002%. Data global menunjukkan sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahun akibat polusi udara, dengan Indonesia mencatat sekitar 60.000 kasus per tahun (Fitrilia & Hanifa, 2019). Berdasarkan data BPS (2024), Indonesia memiliki 38 provinsi dengan 7.288 kecamatan, yang berarti rata-rata terjadi 8 kematian per kecamatan akibat pencemaran udara.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proyeksi dinamika penduduk dan perubahan penutupan lahan di kawasan Pesisir Kecamatan Bumi Waras, Kota Bandar Lampung, hingga tahun 2033 menggunakan pendekatan Sistem Dinamik. Analisis difokuskan pada tiga kelurahan: Kangkung, Bumi Waras, dan Sukaraja yang merupakan kelurahan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di Pesisir Kecamatan Bumi Waras. Penelitian menggunakan dua variabel utama yaitu dinamika penduduk dan penutupan lahan, dengan mempertimbangkan sub-variabel berupa tingkat kematian akibat polusi udara dan kebutuhan ruang per kapita. Melalui pendekatan Sistem Dinamik, penelitian ini akan memodelkan hubungan antara pertumbuhan penduduk dengan perubahan luasan lahan terbangun dan non-terbangun di wilayah studi.

Metode Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan kombinasi data primer dan sekunder sebagai sumber informasi. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan di Pesisir Kecamatan Bumi Waras untuk mengidentifikasi kondisi eksisting wilayah, yang dibagi menjadi dua kategori: lahan terbangun dan lahan non-terbangun. Sementara itu, data sekunder berupa data kependudukan digunakan sebagai dasar analisis untuk memprediksi pertumbuhan penduduk di masa mendatang. Rincian jenis dan sumber data yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Kebutuhan Data

Metode Pengumpulan Data	Jenis Data	Sumber Data
Data Primer		
Observasi	Kondisi Eksisting Wilayah Pesisir Teluk Lampung	Hasil Observasi Lapangan
Data Sekunder		
Dokumen Instansional	Data Pertambahan Penduduk Data Kelahiran Penduduk Data Kematian Penduduk Data Migrasi Masuk dan Migrasi Penduduk	BPS Kota Bandar Lampung Kantor Kelurahan di Kelurahan Kangkung, Kelurahan Bumi Waras dan Kelurahan Sukaraja
Website USGS Glovis	Data Citra Satelit Landsat 8 OLI Tahun 2013, 2016, 2019 dan 2021	USGS Glovis

Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis Sistem Dinamik untuk memprediksi kondisi masa depan wilayah studi. Menurut Firmansyah & Suryani (2017), Sistem Dinamik merupakan metode analisis yang mempelajari perubahan sistem seiring waktu dengan mempertimbangkan faktor eksternal dan tujuan sistem yang akan dibangun. Dalam implementasinya, penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak *Powersim* untuk melakukan simulasi pemodelan Sistem Dinamik. Berdasarkan Purnomo (2012, dalam Azhari, 2019), pemodelan Sistem Dinamik dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang mencakup:

a. Identifikasi isu, tujuan dan batasan
   Tahap ini bertujuan untuk mengetahui pada tahap mana pemodelan perlu untuk dilakukan.
b. Konseptualisasi model
c. Pada tahap ini konsep mulai dimodelkan dengan mengidentifikasi variabel yang terlibat serta dikelompokkan berdasarkan kategori (tidak wajib) selanjutnya mencari hubungan antara variabel dengan metode diagram kotak dan panah, diagram sebab-akibat, diagram stok *(stock)* dan aliran *(flow).*
d. Spesifikasi model
   Spesifikasi model bertujuan untuk merumuskan permasalahan pada setiap relasi yang ada dengan menggunakan model konseptual.
e. Evaluasi model
   Evaluasi model terdiri dari uji validitas struktur dan uji validitas kinerja. Pada uji validitas struktur dilakukan pengamatan dengan membandingkan dunia nyata dengan pemodelan. Pada uji validitas kinerja terdiri dari 2 fase, pertama membandingkan perilaku model dengan data pada kondisi nyata. Apabila model

yang didapat memiliki fungsi bilangan acak, model harus dieksekusi agar dapat diamati keragaman dari hasil pemodelan tersebut. Selanjutnya, dilakukan tahapan yang bertujuan untuk memvalidasi dengan uji statistik Barlas, 1996 (*dalam* Siubelan, 2015).

f. Penggunaan model
Penggunaan model dapat dipakai untuk menguji sebuah hipotesis, karena sifatnya yang sulit untuk diuji dalam sistem nyata. Sehingga model ini dapat dipakai dalam pengembangan perencanaan di dalam kasus pemodelan partisipatif.

Hasil dan Pembahasan

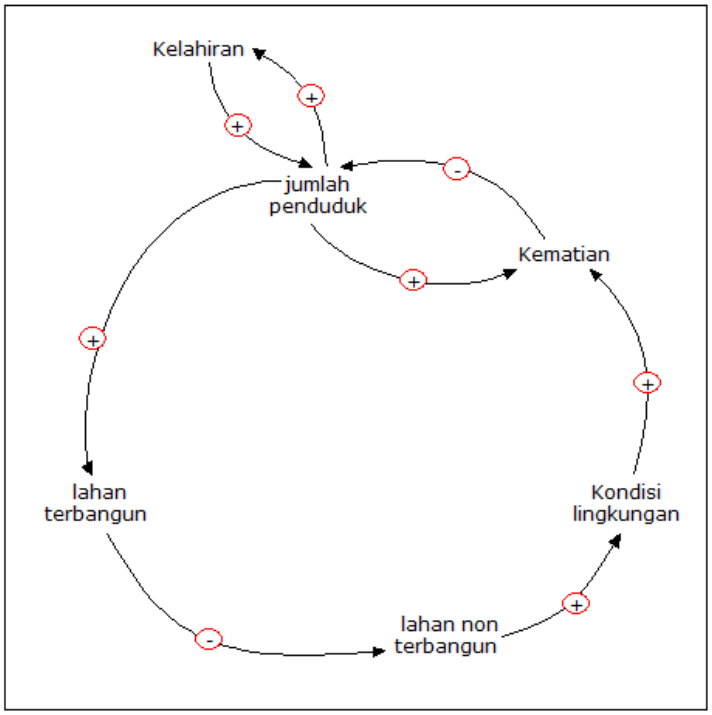
Identifikasi Isu, Tujuan dan Batasan

Kawasan Pesisir Kota Bandar Lampung meliputi empat kecamatan: Bumi Waras, Panjang, Teluk Betung Selatan, dan Teluk Betung Timur. Data BPS Kota Bandar Lampung 2021 menunjukkan bahwa Kecamatan Bumi Waras mencatat kepadatan penduduk tertinggi di antara keempat kecamatan pesisir tersebut pada tahun 2020. Zahrotunisa & Wicaksono (2017) mengemukakan bahwa perkembangan kota umumnya ditandai dengan bertambahnya lahan terbangun sebagai indikator aktivitas kehidupan, yang seringkali berdampak pada berkurangnya lahan non-terbangun. Penelitian Marfuah, Rahman, & Asbi (2023) mengungkapkan perubahan signifikan dalam penggunaan lahan di Pesisir Kecamatan Bumi Waras selama periode 2013-2021. Lahan non-terbangun mengalami penurunan hingga tersisa hanya 56,85 Ha atau sekitar 23% dari total area. Perubahan paling drastis terjadi di Kelurahan Sukaraja dengan penambahan lahan terbangun sebesar 18,60 Ha (16%), sementara di Kelurahan Kangkung, lahan non-terbangun tersisa hanya 1,3%. Fenomena ini merupakan konsekuensi langsung dari pertumbuhan penduduk yang mendorong peningkatan kebutuhan lahan terbangun di Pesisir Kecamatan Bumi Waras.

Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung 2021-2041 menetapkan ketentuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebesar 30% dari total luas wilayah, yang terbagi menjadi 10% RTH Privat dan 20% RTH Publik. Mengacu pada kebijakan ini, kawasan Pesisir Kecamatan Bumi Waras seharusnya memiliki minimum 75,24 Ha lahan non-terbangun atau RTH. Berdasarkan validasi model yang dilakukan, kondisi lahan non-terbangun yang berada di bawah ketentuan 30% dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan di wilayah tersebut. Berkurangnya lahan non-terbangun akibat pertumbuhan penduduk berkontribusi pada peningkatan kadar karbondioksida (CO^2) di udara (Indriyani dkk, 2016). Dalam konteks ini, Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki fungsi vital sebagai paru-paru kota dan area rekreasi masyarakat dengan kemampuannya menyerap CO^2 (Setyani, Sitorus, & Panuju, 2017). Data global menunjukkan sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahun akibat polusi udara, dengan Indonesia mencatat sekitar 60.000 kasus per tahun (Fitrilia & Hanifa, 2019). Berdasarkan data BPS (2024), Indonesia yang terdiri dari 38 provinsi dengan 7.288 kecamatan, memiliki rata-rata 8 kematian per kecamatan akibat pencemaran udara. Untuk menganalisis permasalahan ini, pendekatan Sistem Dinamik dapat digunakan untuk memprediksi hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan pertumbuhan penduduk (Siubelan, 2015). Metode ini efektif dalam menjabarkan hubungan sebab-akibat dari berbagai permasalahan terkait (Asyiawati, 2002 dalam Ekawati & Nesti, 2019).

Konseptualisasi Model

Pada penelitian ini terdapat dua variabel penting yaitu dinamika penduduk dan penutupan lahan, hubungan antara dua variabel tersebut akan di simbolkan dengan (+) untuk pengaruh positif dan (-) untuk pengaruh negatif. Berikut merupakan *causal loop* yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 1. *Casual Loop* Model Dinamika Penduduk dan Penutupan Lahan Wilayah Pesisir Kecamatan Bumi Waras

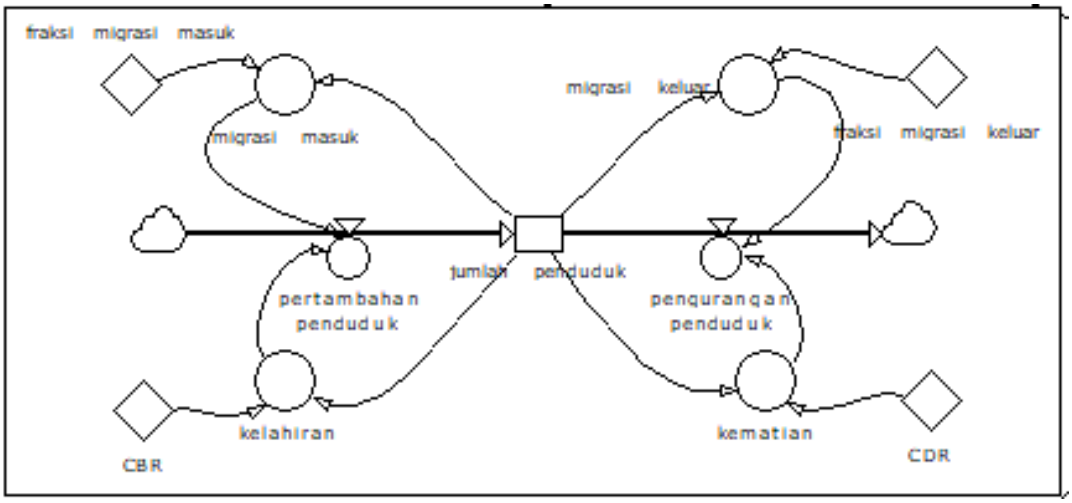
Causal Loop merupakan alat analisis untuk menggambarkan permasalahan kompleks dengan menghubungkan berbagai faktor terkait. Menurut Riza dkk (2020), metode ini menggunakan sistem umpan balik untuk membantu mengembangkan strategi pemecahan masalah. Dalam konteks dinamika penduduk, terdapat faktor internal dan eksternal yang saling mempengaruhi. Faktor internal meliputi kelahiran (hubungan positif) dan kematian (hubungan negatif), sedangkan faktor eksternal mencakup migrasi masuk (hubungan positif) dan migrasi keluar (hubungan negatif). Hubungan positif menunjukkan peningkatan angka dinamika penduduk, sementara hubungan negatif mengindikasikan penurunan.

Variabel penutupan lahan terbagi menjadi dua sub-variabel: lahan terbangun dan lahan non-terbangun. Rosyid dkk (2021) menjelaskan bahwa pertumbuhan penduduk memiliki hubungan positif dengan lahan terbangun karena meningkatnya kebutuhan pembangunan fasilitas di tengah keterbatasan lahan. Namun, menurut Aji dkk (2020), peningkatan lahan terbangun berhubungan negatif dengan lahan non-terbangun karena alih fungsi lahan untuk pembangunan infrastruktur dan fasilitas ekonomi mengurangi fungsi ekologis lahan non-terbangun. Hubungan antara lahan non-terbangun dan dinamika penduduk dihubungkan oleh fraksi lingkungan, khususnya pencemaran udara. Berkurangnya lahan non-terbangun dapat menurunkan kualitas hidup masyarakat melalui peningkatan pencemaran udara, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian dan penurunan jumlah penduduk.

Spesifikasi Model

Model Sistem Dinamik dalam penelitian ini terbagi menjadi dua komponen yang saling terkait: model dinamika penduduk dan model penutupan lahan. Kedua model ini memiliki hubungan yang saling mempengaruhi satu sama lain melalui berbagai variabel yang terhubung.

1. Sub model dinamika penduduk



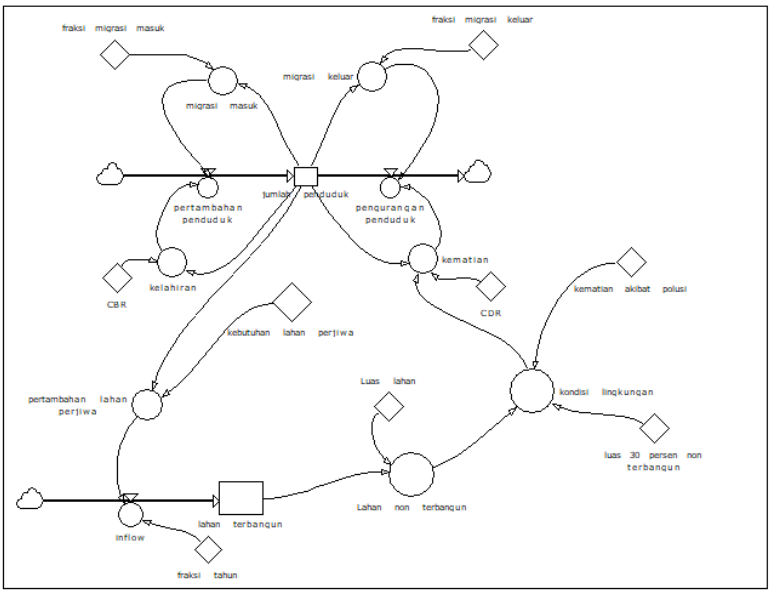
Gambar 2. Flow Diagram Sub Model Dinamika Penduduk

Berikut merupakan persamaan dari sub-model dinamika penduduk (bahasa *Powersim*):

Init Jumlah penduduk = 39.665<<jiwa>>
Flow Jumlah penduduk = +dt*(pertambahan penduduk)- dt*(pengurangan penduduk)
Doc Jumlah penduduk = Jumlah penduduk Kota Bandar Lampung tahun ke-0 (2013)
Aux Migrasi masuk = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi masuk
Aux Kelahiran = Jumlah penduduk*CBR
Aux Migrasi Keluar = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi keluar
Aux Kematian = jumlah penduduk * CDR
Aux Pertambahan penduduk = Migrasi masuk + kelahiran
Aux Pengurangan penduduk = migrasi keluar + kematian
Cons CBR = 1,4% / tahun
Cons CDR = 0,38% / tahun
Cons Fraksi migrasi masuk = 0,003% / tahun
Cons Fraksi migrasi keluar = 0,002% / tahun

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, model dinamika penduduk dirancang menggunakan pendekatan Sistem Dinamik untuk memprediksi perubahan jumlah penduduk dengan mempertimbangkan dua faktor utama: faktor pertambahan dan pengurangan penduduk. Faktor pertambahan meliputi kelahiran (CBR - *Crude Birth Rate*) yang menggambarkan tingkat kelahiran dalam populasi dan migrasi masuk yang menunjukkan arus perpindahan penduduk yang masuk ke wilayah studi. Sementara faktor pengurangan mencakup kematian (CDR - *Crude Death Rate*) yang menggambarkan tingkat kematian dalam populasi dan migrasi keluar yang menunjukkan arus perpindahan penduduk yang meninggalkan wilayah studi. Diagram sistem menunjukkan jumlah penduduk sebagai variabel utama yang berada di tengah, dipengaruhi oleh empat arus (*flow*) yang membentuk *loop* tertutup. Setiap *loop* menggambarkan bagaimana masing-masing faktor berkontribusi terhadap perubahan jumlah penduduk secara dinamis. Model ini kemudian menjadi faktor penentu dalam analisis model penutupan lahan, menunjukkan keterkaitan langsung antara dinamika populasi dengan perubahan pola penutupan lahan di wilayah studi.

2. Sub model penutupan lahan



Gambar 3. Flow Diagram Sub Model Penutupan Lahan

Berikut merupakan persamaan dari sub model penutupan lahan (bahasa *Powersim*):

Init Jumlah penduduk = 39.665<<jiwa>>
Flow Jumlah penduduk = +dt*(pertambahan penduduk)- dt*(pengurangan penduduk)
Doc Jumlah penduduk= Jumlah penduduk Kota Bandar Lampung tahun ke-0 (2013)
Aux Migrasi masuk = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi masuk
Aux Kelahiran = Jumlah penduduk*CBR
Aux Migrasi Keluar = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi keluar
Aux Kematian =(jumlah penduduk * CDR) + fraksi lingkungan
Aux Pertambahan penduduk = Migrasi masuk + kelahiran
Aux Pengurangan penduduk = migrasi keluar + kematian
Cons CBR = 1,4% / tahun
Cons CDR = 0,38% / tahun
Cons Fraksi migrasi masuk = 0,003% / tahun
Cons Fraksi migrasi keluar = 0,002% / tahun
Init Luas terbangun = 150,08 <<Ha>>
Flow Inflow = +*dt(pertambahan lahan per jiwa) / fraksi tahun
Doc Luas Terbangun = luas lahan terbangun Pesisir Kecamatan Bumi Waras tahun ke-0 (2013)
Aux Pertambahan lahan per jiwa = Jumlah penduduk*kebutuhan lahan per jiwa
Cons Fraksi tahun = 1 tahun
Aux Lahan non terbangun = luas lahan- lahan terbangun
Aux fraksi lingkungan = (IF('Lahan non terbangun'<'luas 30 persen non terbangun';'kematian akibat polusi'))
Cons Luas lahan = 250,08 Ha
Cons Luas 30 persen non terbangun = 75,24 Ha
Cons Kematian akibat polusi = 8 jiwa/tahun

Seperti terlihat pada Gambar 3, model penutupan lahan mengintegrasikan model dinamika penduduk sebagai variabel utama yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan. Pertambahan penduduk menjadi aliran masuk yang mempengaruhi peningkatan lahan terbangun, yang secara langsung berdampak pada pengurangan lahan non-

terbangun. Dalam model ini, analisis kebutuhan lahan dihitung berdasarkan kebutuhan per jiwa, yang menghasilkan rate (tingkat) pertambahan lahan terbangun. Nilai lahan non-terbangun diperoleh dengan mengurangi total luas lahan (konstanta) dengan luas lahan terbangun. Model ini juga mempertimbangkan batasan kritis lahan non-terbangun sebesar 30% (75,24 Ha). Ketika luas lahan non-terbangun berada di bawah ambang batas ini, terjadi feedback negatif berupa pengurangan penduduk sebesar 8 jiwa per tahun akibat peningkatan polusi udara.

Evaluasi Model

Evaluasi model dinamika penduduk dan penutupan lahan dilakukan melalui tiga tahapan sistematis menurut Azhari (2019): melakukan pengamatan untuk membandingkan model dengan kondisi nyata atau model serupa yang tersedia, menganalisis perilaku model dengan memverifikasi kesesuaian nilai model terhadap kondisi nyata, dan membandingkan perilaku model dengan data empiris dari kondisi nyata.

1. Hasil simulasi

Hasil simulasi sub-model dinamika penduduk menunjukkan tren peningkatan jumlah penduduk di kawasan Pesisir Kecamatan Bumi Waras selama periode 2013-2030.

Tabel 2. Jumlah Penduduk Berdasarkan Hasil Simulasi

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2013	39.665	2024	44.322
2014	40.070	2025	44.766
2015	40.479	2026	45.215
2016	40.892	2027	45.669
2017	41.310	2028	46.127
2018	41.732	2029	46.590
2019	42.158	2030	47.058
2020	42.588	2031	47.530
2021	43.015	2032	48.008
2022	43.446	2033	48.490
2023	43.882		

Hasil simulasi dinamika penduduk dipengaruhi oleh dua faktor utama: faktor pertambahan (meliputi angka kelahiran dan migrasi masuk) dan faktor pengurangan (meliputi angka kematian dan migrasi keluar). Model ini juga memperhitungkan fraksi lingkungan, di mana terjadi pengurangan penduduk sebesar 8 jiwa per tahun akibat polusi udara ketika luas lahan non-terbangun berada di bawah ambang batas kritis 75,24 Ha.

Tabel 3. Luas Lahan Terbangun Berdasarkan Hasil Simulasi

Tahun	Luas Lahan Terbangun (Ha)	Tahun	Luas Lahan Terbangun (Ha)
2013	150,08	2024	194,17
2014	153,89	2025	198,42
2015	157,73	2026	202,72
2016	161,62	2027	207,06
2017	165,55	2028	211,44
2018	169,51	2029	215,87
2019	173,52	2030	220,35
2020	177,57	2031	224,86

Tahun	Luas Lahan Terbangun (Ha)	Tahun	Luas Lahan Terbangun (Ha)
2021	181,65	2032	229,43
2022	185,78	2033	234,03
2023	189,95		

Tabel 3 menunjukkan terjadinya peningkatan luas lahan terbangun yang berbanding lurus dengan pertambahan jumlah penduduk. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan populasi menjadi faktor pendorong utama ekspansi lahan terbangun. Namun, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, peningkatan lahan terbangun berbanding terbalik dengan luas lahan non-terbangun, di mana terjadi penurunan signifikan akibat alih fungsi lahan.

Tabel 4. Luas Lahan Non Terbangun Berdasarkan Hasil Simulasi

Tahun	Luas Lahan Non Terbangun (Ha)	Tahun	Luas Lahan Non Terbangun (Ha)
2013	100,71	2024	56,63
2014	96,91	2025	52,38
2015	93,07	2026	48,08
2016	89,18	2027	43,74
2017	85,25	2028	39,36
2018	81,29	2029	34,93
2019	77,28	2030	30,45
2020	73,23	2031	25,94
2021	69,15	2032	21,37
2022	65,02	2033	16,77
2023	60,85		

Hasil simulasi mengungkapkan terjadinya penurunan drastis luas lahan non-terbangun sebagai konsekuensi dari pertumbuhan penduduk yang mendorong alih fungsi lahan. Data menunjukkan bahwa luas lahan non-terbangun mengalami penurunan signifikan dari 100,71 Ha pada tahun 2013, dan diproyeksikan akan tersisa hanya 16,77 Ha pada tahun 2033. Penyusutan sebesar 83,94 Ha dalam kurun waktu 20 tahun ini menggambarkan laju konversi lahan yang sangat pesat di wilayah tersebut.

2. Uji validitas struktur

Validasi struktur model, menurut Forrester (1968, dalam Siubelan 2015), merupakan proses untuk memastikan kesesuaian antara model yang dibuat dengan kondisi nyata di lapangan. Validasi ini mencakup tiga aspek utama: batasan sistem, variabel pembentuk sistem, dan asumsi interaksi dalam sistem. Proses validasi struktur dilakukan melalui dua bentuk pengujian.

a. Uji validitas konstruksi

Uji validitas konstruksi merupakan proses untuk memastikan akurasi struktur model simulasi dengan kondisi nyata (Sushil, 1993 dalam Siubelan, 2015). Dalam konteks penelitian ini, model dibangun dengan fokus pada dua variabel utama: dinamika penduduk dan penutupan lahan di wilayah Pesisir Kecamatan Bumi Waras.

Karakteristik wilayah pesisir yang mudah diakses menyebabkan munculnya berbagai aktivitas (Bohari, 2010). Model yang dikembangkan menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara dinamika penduduk dan perubahan penutupan lahan. Hidayah & Soharyo (2018) menegaskan bahwa pertumbuhan penduduk menjadi pendorong utama perubahan

penutupan lahan, sementara Mudhofir (2010) mengidentifikasi bahwa pembangunan dapat memicu alih fungsi dari lahan terbangun menjadi non-terbangun. Siubelan (2015) menambahkan bahwa tingginya pertumbuhan penduduk mendorong intensitas pembangunan yang menghasilkan ruang terbangun di wilayah pesisir.

Bohari (2010) memperingatkan bahwa pembangunan yang tidak terkendali dapat merusak lingkungan dan menurunkan kualitas hidup masyarakat. Hubungan antara jumlah penduduk, lahan terbangun, dan lahan non-terbangun dapat dianalisis menggunakan regresi linear, yang mendukung validitas teoritis dari struktur model dinamik yang dikembangkan dalam penelitian ini.

b. Uji kestabilan struktur

Uji kestabilan struktur model merupakan tahap evaluasi yang dilakukan dengan memeriksa dimensi persamaan model untuk memastikan bahwa model dapat merepresentasikan sistem nyata secara akurat (Sushil, 1993 dalam Siubelan, 2015). Dalam penelitian ini, model terdiri dari dua sub-model yang saling terintegrasi: dinamika penduduk dan penutupan lahan. Kedua sub-model ini membentuk respon matematis yang saling berkaitan satu sama lain. Berikut adalah persamaan matematis untuk kedua sub-model tersebut:

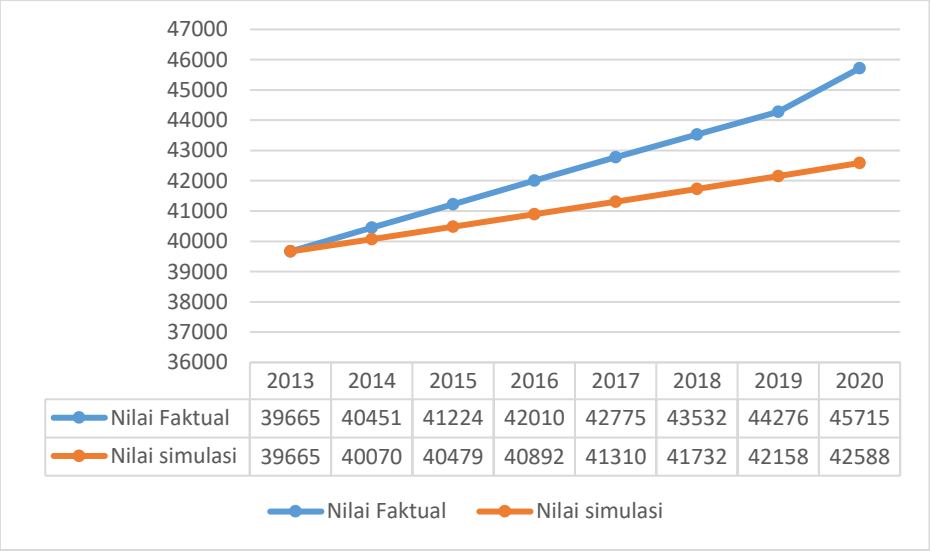
Init	Jumlah penduduk = 39.665<<jiwa>>
Flow	Jumlah penduduk = +dt*(pertambahan penduduk)- dt*(pengurangan penduduk)
Doc	Jumlah penduduk= Jumlah penduduk Kota Bandar Lampung tahun ke-0 (2013)
Aux	Migrasi masuk = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi masuk
Aux	Kelahiran = Jumlah penduduk*CBR
Aux	Migrasi Keluar = Jumlah penduduk * Fraksi migrasi keluar
Aux	Kematian =(jumlah penduduk * CDR) + fraksi lingkungan
Aux	Pertambahan penduduk = Migrasi masuk + kelahiran
Aux	Pengurangan penduduk = migrasi keluar + kematian
Cons	CBR = 1,4% / tahun
Cons	CDR = 0,38% / tahun
Cons	Fraksi migrasi masuk = 0,003% / tahun
Cons	Fraksi migrasi keluar = 0,002% / tahun
Init	Luas terbangun = 150,08 <<Ha>>
Flow	Inflow = +*dt(pertambahan lahan per jiwa) / fraksi tahun
Doc	Luas Terbangun = luas lahan terbangun Pesisir Kecamatan Bumi Waras tahun ke-0 (2013)
Aux	Pertambahan lahan per jiwa = Jumlah penduduk*kebutuhan lahan per jiwa
Cons	Fraksi tahun = 1 tahun
Aux	Lahan non terbangun = luas lahan- lahan terbangun
Aux	fraksi lingkungan = (IF('Lahan non terbangun'<'luas 30 persen non terbangun';'kematian akibat polusi'))
Cons	Luas lahan = 250,08 Ha
Cons	Luas 30 persen non terbangun = 75,24 Ha
Cons	Kematian akibat polusi = 8 jiwa/tahun

Model Sistem Dinamik dalam penelitian ini menggunakan beberapa komponen dan notasi kunci dalam persamaannya. Setiap level atau Init dipengaruhi oleh dua faktor: pertambahan (ditandai dengan simbol flow "+") dan pengurangan (ditandai dengan simbol flow "-"). Penelitian menggunakan satuan waktu tahunan, dengan unit pengukuran "jiwa" untuk sub-model dinamika penduduk dan "Ha" (Hektar) untuk sub-model penutupan lahan.

Fungsi kondisional IF digunakan untuk mengasumsikan kejadian berdasarkan nilai benar atau salah. Pada Auxiliary fraksi lingkungan, fungsi IF diterapkan untuk menggambarkan kondisi ketika luas lahan non-terbangun berada di bawah ambang batas 30% (sesuai RTRW Kota Bandar Lampung), yang mengakibatkan pengurangan penduduk sebesar 8 jiwa per tahun. Meskipun terdapat berbagai peubah dan dimensi dalam sistem, semuanya saling berkaitan dan konsisten, sehingga model ini dapat secara efektif merepresentasikan hubungan antara dinamika penduduk dan penutupan lahan.

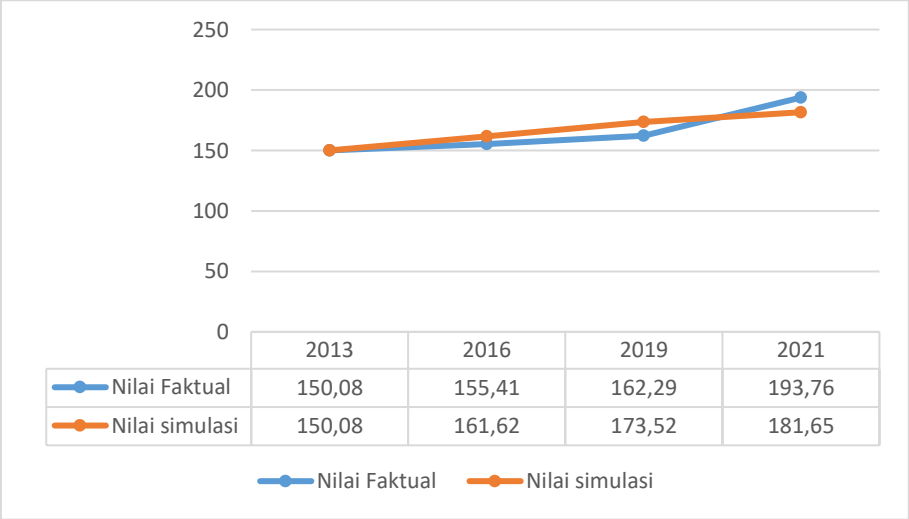
3. Uji validitas kinerja model

Validasi kinerja model dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian antara model yang dibuat dengan kondisi aktual di lapangan. Menurut Talitha & Berliyana (2022), model dianggap valid jika mampu merepresentasikan data faktual secara akurat. Berikut adalah perbandingan antara hasil simulasi model dengan data aktual:



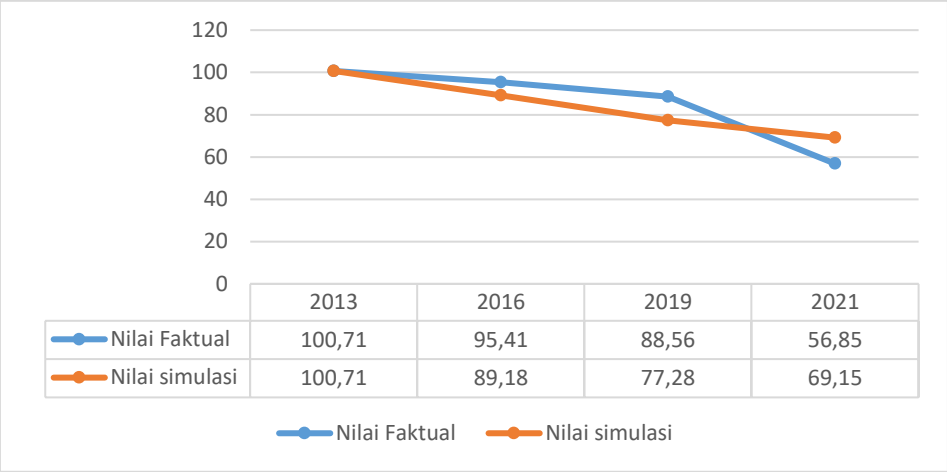
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nilai Faktual	39665	40451	41224	42010	42775	43532	44276	45715
Nilai simulasi	39665	40070	40479	40892	41310	41732	42158	42588

Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Nilai Aktual Sub Model Dinamika Penduduk



	2013	2016	2019	2021
Nilai Faktual	150,08	155,41	162,29	193,76
Nilai simulasi	150,08	161,62	173,52	181,65

Gambar 5. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Nilai Aktual Lahan Terbangun Sub Model Penutupan Lahan



Sumber : Hasil Olahan Penulis, 2022

Gambar 6. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Nilai Aktual Lahan Non Terbangun Sub Model Penutupan Lahan

Hasil analisis perbandingan menunjukkan bahwa ketiga grafik memiliki kesesuaian pola antara nilai aktual dan nilai simulasi. Hal ini mengindikasikan bahwa model dinamika penduduk dan penutupan lahan yang dikembangkan dapat merepresentasikan kondisi eksisting dengan baik. Malaka, Purwanto, & Zein (2015) mengusulkan dua metode untuk mengevaluasi validitas kinerja model:

1. Absolute Mean Error (AME) - untuk mengukur penyimpangan nilai rata-rata antara hasil simulasi dan data faktual
2. Absolute Variation Error (AVE) - untuk menganalisis penyimpangan nilai variansi simulasi terhadap data faktual

Tabel 5. Uji Validitas Kinerja Sub Model Dinamika Penduduk

Tahun	Nilai Aktual	Nilai Simulasi
2013	39.665	39.665
2014	40.451	40.070
2015	41.224	40.479
2016	42.010	40.892
2017	42.775	41.310
2018	43.532	41.732
2019	44.276	42.158
2020	45.715	42.588
Mean	42.456	41.111
AME	0,032697465	
Variansi	2025,53217	1022,947946
AVE	0.980093101	

Tabel 6. Uji Validitas Kinerja Lahan Terbangun Sub Model Penutupan Lahan

Tahun	Nilai Aktual	Nilai Simulasi
2013	150,08	150,08
2016	155,41	161,62
2019	162,29	173,52
2021	193,76	181,65
Mean	165,38	166,71
AME	0,008056958	
Variansi	19,56581458	13,80874693
AVE	-0,294241143	

Tabel 7. Uji Validitas Kinerja Lahan Terbangun Sub Model Penutupan Lahan

Tahun	Nilai Aktual	Nilai Simulasi
2013	100,71	100,71
2016	95,41	89,18
2019	88,56	77,28
2021	56,85	96,16
Mean	85,3825	90,8325
AME	0.06383	
Variansi	19,66116	10,20373
AVE	-0,48102	

Hasil uji validitas model menunjukkan nilai penyimpangan yang sangat rendah (<10%) untuk semua komponen yang diuji, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5, 6, dan 7. Nilai Absolute Mean Error (AME) untuk masing-masing komponen adalah: dinamika penduduk sebesar 0,03%, lahan terbangun sebesar 0,008%, dan lahan non-terbangun sebesar 0,06%. Sementara nilai Absolute Variation Error (AVE) untuk masing-masing komponen adalah: dinamika penduduk sebesar 0,98%, lahan terbangun sebesar -0,29%, dan lahan non-terbangun sebesar -0,48%. Rendahnya nilai penyimpangan ini membuktikan bahwa model yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam merepresentasikan perubahan yang terjadi pada kondisi aktual.

Penggunaan Model

Hasil simulasi menunjukkan adanya korelasi positif antara pertambahan penduduk dan peningkatan lahan terbangun, yang didorong oleh meningkatnya kebutuhan ruang masyarakat. Temuan ini sejalan dengan teori Siubelan (2015) yang menyatakan bahwa tingginya pertumbuhan penduduk mendorong intensifikasi pembangunan untuk mengakomodasi aktivitas penduduk, yang menghasilkan berbagai bentuk ruang terbangun di wilayah pesisir.

Namun, ekspansi ruang terbangun ini mengakibatkan berkurangnya lahan non-terbangun akibat alih fungsi lahan. Bohari (2010) memperingatkan bahwa tanpa pengelolaan yang tepat, berbagai bentuk pemanfaatan wilayah pesisir dapat menimbulkan

dampak negatif terhadap lingkungan yang pada akhirnya menurunkan kualitas hidup masyarakat. Kondisi ini menunjukkan pentingnya keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan di kawasan pesisir.

Hasil simulasi menunjukkan penurunan drastis lahan non-terbangun di Pesisir Kecamatan Bumi Waras, yang diproyeksikan akan tersisa hanya 16,77 Ha (6,5% dari total luas wilayah) pada tahun 2033. Penurunan ini, jika tidak dikendalikan dengan tepat, dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat. Berkurangnya lahan non-terbangun, terutama area bervegetasi dan ruang terbuka, mengurangi kapasitas penyerapan karbondioksida (CO2) di wilayah tersebut. Peningkatan kadar CO2 dapat menyebabkan kematian hingga 8 jiwa per hektar. Selain itu, minimnya lahan resapan air akibat berkurangnya lahan terbuka meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir. Untuk mengatasi permasalahan ini, pemerintah perlu menerapkan kebijakan pembatasan pembangunan dan pembukaan lahan baru di wilayah pesisir. Langkah ini penting untuk meminimalisir konversi lahan non-terbangun dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan yang dapat mengancam keselamatan penduduk.

Kesimpulan

Kawasan Pesisir Kecamatan Bumi Waras, yang meliputi Kelurahan Kangkung, Bumi Waras, dan Sukaraja, memiliki kepadatan penduduk tertinggi di Kota Bandar Lampung. Kondisi ini mendorong percepatan perubahan lahan yang, jika tidak terkendali, dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan berdampak pada kematian penduduk. Untuk menganalisis fenomena ini, penelitian menggunakan pendekatan Sistem Dinamik yang memproyeksikan dinamika penduduk dan perubahan lahan, dengan fokus pada dua variabel utama: dinamika penduduk dan penutupan lahan (terbangun dan non-terbangun).

Berdasarkan proyeksi model *Powersim*, populasi di Pesisir Kecamatan Bumi Waras diperkirakan akan mencapai 48.490 jiwa pada tahun 2033. Pertumbuhan ini akan mendorong ekspansi lahan terbangun hingga 234,03 Ha (93,5% dari total area), menyisakan hanya 16,77 Ha (6,5%) lahan non-terbangun. Kondisi ini tidak memenuhi ketentuan RTRW Kota Bandar Lampung yang mewajibkan penyediaan minimal 30% (75,24 Ha) Ruang Terbuka Hijau (RTH) di kawasan tersebut. Lebih lanjut, kondisi ini berpotensi meningkatkan angka kematian akibat polusi udara dari rata-rata 8 jiwa per kecamatan per tahun yang tercatat saat ini. Fenomena perubahan lahan di kawasan pesisir tidak hanya terjadi di Kecamatan Bumi Waras, tetapi juga di daerah lain seperti Kota Kupang. Penelitian Siubelan (2015) mengungkapkan bahwa Kota Kupang mengalami perubahan fungsi lahan seluas 836,53 Ha selama periode 1999-2013, didorong oleh pertambahan penduduk yang meningkatkan kebutuhan permukiman dan menghasilkan timbunan sampah. Hilangnya ekosistem pesisir seperti hutan bakau dan muara sungai semakin memperburuk pencemaran udara dan meningkatkan angka kematian.

Sebagai negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, Indonesia menghadapi tantangan serupa di berbagai wilayah pesisirnya. Di tengah upaya penyusunan dokumen penataan ruang nasional, penelitian semacam ini dapat memberikan masukan berharga untuk pengembangan kebijakan penataan ruang kawasan pesisir yang lebih baik. Pertumbuhan penduduk yang pesat memang mendorong kebutuhan ruang dan mengakibatkan alih fungsi lahan non-terbangun menjadi lahan terbangun. Oleh karena itu, proses pembangunan perlu memprioritaskan aspek lingkungan untuk menjamin keberlanjutannya.

Daftar Pustaka

Agustri, M. P., & Asbi, A. M. (2020). Tingkat Risiko Bencana Banjir di Kota Bandar Lampung dan Upaya Pengurangannya berbasis Penataan Ruang . *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 23-28.

Aji, G. P., Ardiansyah, M., & Gunawan, A. (2020). Perubahan dan Prediksi Penggunaan Lahan Ruang Terbuka Hijau di Kota Depok. *Journal IPB*, 95-100.

Aldian, R., Zuryani, E., & Ulni, A. Z. (2022). Perubahan Garis Pantai Sebagai Akibat dari Abrasi dan Akresi di Kawasan Pesisir Pantai Barat Sumatera Barat. *Social, Humanities, and Education Studies (SHEs): Conference Series*, 153-161.

Azhari, D. (2019). Kajian Pengembangan Infrastruktur Hijau dengan Metode Sistem Dinamik Untuk Kota Bandar Lampung yang Berkelanjutan. *Lampung Selatan: Institut Teknologi Sumatera*.

Bohari, R. (2010). Model Kebijakan Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu dan Berkelanjutan di Perairan Pantai Makassar Sulawesi Selatan. *Bogor: Insitut Pertanian Bogor*.

Christiawan, P. I., & Budiarta, I. G. (2017). Entitas Permukimah Kumuh di Wilayah Pesisir . *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora,* 178-187.

Damai, A. A. (2003). Pendekatan Sistem Untuk Penataan Ruang Pesisir Kota Bandar Lampung. *Bogor : Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor*.

Ekawati, I., & Nesti, L. (2019). Penentuan Lokasi Agroindustri Kopra di Kabupaten Mentawai dengan Simulasi Sistem Dinamik . *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* , 147-153.

Firmansyah, A., & Suryani, E. (2017). Model Sistem Dinamik Untuk Pengembangan Smart Economy (Studi Kasus : Kota Surabaya). *Jurnal Teknik ITS*, 276-281.

Fitrilia, I., & Hanifa, S. (2019). Abaikan Polusi Udara Sebabkan Penurunan Kualitas Hidup Manusia. *UGM Public Health Symposium*.

Handayani, W., & Waskitaningsih, N. (2019). Kependudukan Dalam Perencanaan Wilayah dan Kota . *Semarang : Teknosain*.

Hidayah, Z., & Soharyo, O. S. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Wilayah Pesisir Selat Sunda. *Jurnal ilmiah Rekayasa*, 19-30.

Hidayati, N., Putra, A., Dewita, M. & Framujiastri, N. E., 2020. Dampak Dinamika Kependudukan Terhadap Lingkungan. *Jurnal Kependudukan dan Pembangunan Lingkungan*, Volume 2/2020, pp. 33-42.

Ilmi, W. Z., Asbi, A. M., & Syam, T. (2020). Identifikasi Kapasitas Penanggulangan Pada Kawasan Informal Pesisir Kota Bandarlampung dalam Menghadapi Dampak Perubahan Iklim. *Jurnal Pengembangan Kota*, 177-187.

Indriyani, L., Sabaruddin, L., Rianse, U., & Baco, L. (2016). Management of Green Open Space (RTH) in Kendari to Reduce Air Pollution. *European Journal of Sustainable Development*, 403-408.

Kementerian Kelautan dan Perikanan Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang (2018). *Refleksi-2017-dan outlook-2018-membangun-dan-menjaga-ekosistem-laut-indonesia bersama-ditjen-pengelolaan-ruang-laut* https://kkp.go.id/djprl/artikel/2798- [Diakses 2 November 2021].

Lozi, A., & Rahmad, R. (2018). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Penginderaan Jauh di Pantai Cermin, Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Tugas Geografi*, 69-76.

Malaka, H., Purwanto, M. J., & Zein, A. (2015). Analisis Sistem Dinamik Neraca Air di Pulau Tidore. *Media Neliti*, 125-135.

Marfuah, C. A., Rahman, Y., & Asbi, A. M. (2023). Dinamika Penutupan Lahan Pesisir Kecamatan Bumi Waras Kota Bandar Lampung 2013-2021. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)*, 33-40.

Mudhofir, M. (2010). Analisis Perubahan Penutupan Lahan Kota Sukabumi, Jawa Barat Dengan Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG). *Bogor : Institut Pertanian Bogor*.

Oprasmani, E., Amelia, T. & Muhartati, E., 2020. Membangun Masyarakat Peduli Lingkungan Pesisir Melalui Edukasi Kepada Masyarakat Kota Tanjungpinang Terkait Pelestarian Daerah Pesisir. *Jurnal pengabdian masyarakat,* Volume 3 No 2, pp. 67-73.

Riza, H., Arwanto, Mukti, S. H., & P, A. A. (2020). Analisis Penyebaran dan Komparasi Skenario Kebijakan Penanggulangan Covid-19 Berbasis Sistem Dinamik. *Jurnal Sistem Cerdas,* 206-215.

Rosyid, M. F., Yusup, Y., & Wijayanti, P. (2021). Pengaruh Pertumbuhan Penduduk Terhadap Perubahan. *Geadidaktika*, 120-137.

Setyani, W., Sitorus, S. R., & Panuju, D. R. (2017). Analisis Ruang Terbuka Hijau dan Kecukupannya di Kota Depok. *Buletin Tanah dan Lahan*, 121-127.

Siubelan, Y. C. (2015). Dinamika Penggunaan Lahan di Kawasan Pesisir Kota Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Bogor: Institut Pertanian Bogor*.

Talitha, T., & Berliyana, R. (2022). Model Simulasi Sistem Produksi Dengan Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik guna Meningkatkan Kapasitas Produksi Pabrik Tebu. *Jurnal UPN Veteran Yogyakarta*, 228-237.

Wang, H., & Tassinary, L. G. (2019). Effects of Greenspace Morphology on Mortality at the Neighbourhood Level : A Cross-Sectional Ecological Study. *Lancet Planet Health*, 460-468.

Zahrotunisa, S., & Wicaksono, P. (2017). Prediksi Spasial Perkembangan Lahan Terbangun . *JOIN*, 30-35.