

DINAMIKA TUTUPAN LAHAN DAN CADANGAN KARBON: TANTANGAN BAGI RENCANA TATA RUANG

Sukma Dyah Aini¹, Doddy Aditya Iskandar²

¹ Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

¹ Email : ainidyahsukma@gmail.com

Diterima (received): 30 April 2025

Disetujui (accepted): 27 April 2026

ABSTRAK

Indonesia sebagai salah satu negara dengan tutupan hutan terluas dan menempati urutan ketiga dengan keanekaragaman hayati. Berdasarkan data periodik tahun 2001 hingga 2022, jumlah tutupan ekosistem hutan terus menurun hingga 11%. Data BPS Indonesia menunjukkan nilai deforestasi 514.835 hektar sejak 2013 hingga 2022, dengan laju deforestasi tertinggi terdapat di Sumatera dan Kalimantan yang mencapai 200.336 sampai 203.713 hektar. Kalimantan, sebagai penyumbang tutupan hutan terbesar, mengalami deforestasi yang signifikan hingga 14,68%. Hilangnya tutupan hutan akibat deforestasi ini menjadi sorotan penting, mengingat peran hutan sebagai penyedia jasa ekosistem. Layanan ini mencakup penyediaan makanan dan kayu, regulasi iklim melalui serapan dan siklus karbon, serta pelestarian warisan budaya lokal seperti studi yang disampaikan Ranganathan (2008), Locatelli (2016) dan Potschin (2016). Oleh karena itu, penelitian ini akan memprediksi cadangan karbon dari berbagai skenario prediksi tutupan lahan dengan menggunakan QGIS, ArcGIS Pro, TerrSet dan InVEST. Prediksi cadangan karbon ini akan dibandingkan dengan kebijakan tata ruang yang telah ada untuk meninjau implikasinya terhadap rencana pola ruang.

Kata Kunci : *Jasa Ekosistem Hutan, Cadangan Karbon, Prediksi Tutupan Lahan, Kebijakan Tata Ruang*

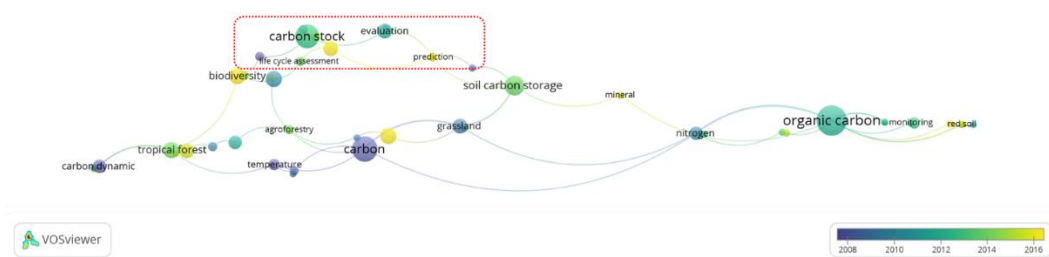
A. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki tutupan hutan yang luas dan menempati urutan ketiga kekayaan biodiversitas dunia (KLHK, 2022). Menurut Global Forest Watch dan World Resources Institute (2024), negara ini memiliki 93,8 juta hektar hutan primer pada tahun 2001. Pada periode 2001 hingga 2022, area ini telah berkurang signifikan dan estimasi kehilangan mencapai 10,5 juta hektar atau sekitar 11%. Data BPS RI (2023) menunjukkan rata-rata deforestasi sejak tahun 2013 hingga 2022 mencapai 514.835 hektar. Kalimantan yang berkontribusi sebesar 14,68% terhadap total tutupan hutan nasional juga mengalami deforestasi yang signifikan. Laju deforestasi tertinggi terjadi di Pulau Sumatera (203.713 hektar per tahun) dan Pulau Kalimantan (200.336 hektar per tahun).

Indonesia memiliki tutupan hutan yang luas dan menempati urutan ketiga kekayaan biodiversitas dunia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Menurut Global (Global Forest Watch & World Resources Institute (2024), negara ini memiliki 93,8 juta hektar hutan primer pada tahun 2001. Pada periode 2001 hingga 2022, area ini telah berkurang signifikan dan estimasi kehilangan mencapai 10,5 juta hektar atau sekitar 11%. Data BPS RI (2023) menunjukkan rata-

rata deforestasi sejak tahun 2013 hingga 2022 mencapai 514.835 hektar. Kalimantan yang berkontribusi sebesar 14,68% terhadap total tutupan hutan nasional juga mengalami deforestasi yang signifikan. Laju deforestasi tertinggi terjadi di Pulau Sumatera (203.713 hektar per tahun) dan Pulau Kalimantan (200.336 hektar per tahun). Oleh karena itu, diperlukan upaya perlindungan terhadap kawasan konservasi salah satunya adalah ekosistem hutan. Hutan sebagai sebuah ekosistem menyediakan jasa ekosistem yang berperan penting termasuk produksi pangan, regulasi iklim melalui siklus dan penyerapan karbon, serta pelestarian budaya lokal (Locatelli, 2016, 2016; Ranganathan & World Resources Institute, 2008, 2008).

Sejalan dengan studi Locatelli (2016) dan (Potschin et al., 2016), bahwa Costanza et al. (1997) telah lebih dulu mengulas pentingnya valuasi jasa ekosistem dan sumber daya alam untuk menjaga cadangan jasa ekosistem yang tersisa di tengah pembangunan. Selain itu, studi Deere et al. (2018) juga menjelaskan bagaimana penilaian jasa ekosistem, khususnya hutan, sebagai kontributor manfaat ekologis. Lebih lanjut mengenai pentingnya jasa ekosistem hutan ini, dapat diukur potensinya melalui identifikasi potensi cadangan karbon menggunakan indeks spektral penginderaan jauh (Fryer & Williams, 2021; He et al., 2022; Oktian et al., 2021; Yu et al., 2023). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh salah satunya adalah melalui implementasi sistem informasi geografis atau Geographic Information System (GIS) sebagai alat untuk membantu proses pengambilan keputusan perencanaan. Pemanfaatan teknologi ini telah diulas oleh Renger et al. (2002) yang menerangkan bahwa GIS mampu memberikan representasi dinamika bum. Reljić et al. (2017) juga menjelaskan bahwa prosedur teknis GIS mampu menilai karakter lanskap seperti mengidentifikasi tipologi, pemetaan, serta menilai kondisi lingkungan. Dengan demikian, dalam konteks keruangan maka pemetaan dapat menjadi salah satu alat pengambilan keputusan sesuai tujuan yang diharapkan, salah satunya adalah manajemen barang publik. Barang publik bersifat kolektif dikelola oleh pemerintah untuk mengantisipasi kegagalan pasar Flyvbjerg et al. (2002), termasuk ekosistem hutan serta nilai yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, diperlukan peran rencana tata guna lahan—rencana tata ruang—yang rasionalis sebagai dasar pengambilan keputusan demi kepentingan kesejahteraan sosial (Faludi, 1973). Oleh karena itu, rencana tata ruang memainkan peranan penting sebagai instrument pengambilan keputusan yang mempertimbangkan nilai keberlanjutan dan keseimbangan sosial, ekonomi dan lingkungan (Gehl, 2010; United Nations, 2015). Dengan demikian, penelitian ini akan menelaah bagaimana prediksi sebaran spasial cadangan karbon pada lokasi studi serta diskrepansinya terhadap rencana tata ruang wilayah yang ada.



Gambar 1. Analisis Bibliometrik Keterbaruan Penelitian: Cadangan Karbon & Rencana Tata Ruang

Sumber: Analisis penulis (2024)

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi sebaran spasial potensi cadangan karbon berdasarkan tutupan lahan di Kalimantan Barat serta diskrepansinya terhadap rencana tata ruang. Metode pada penelitian ini mengintegrasikan identifikasi tutupan lahan melalui penginderaan jauh, prediksi tutupan lahan melalui analisis spasial, serta pemodelan ekosistem untuk prediksi cadangan karbon masa depan. Adapun tahapan penelitian ini terdiri dari: (1) prediksi perubahan tutupan lahan dengan data dasar citra satelit, (2) prediksi cadangan karbon berdasarkan prediksi tutupan lahan. Lokasi studi penelitian ini adalah Kalimantan Barat, lebih spesifik pada Kabupaten Bengkayang, Kota Pontianak, Kota Singkawang, Kabupaten Kubu Raya, Kabupaten Landak, Kabupaten Mempawah, dan Kabupaten Sambas.

1. Prediksi Perubahan Tutupan Lahan dengan Data Dasar Citra Satelit

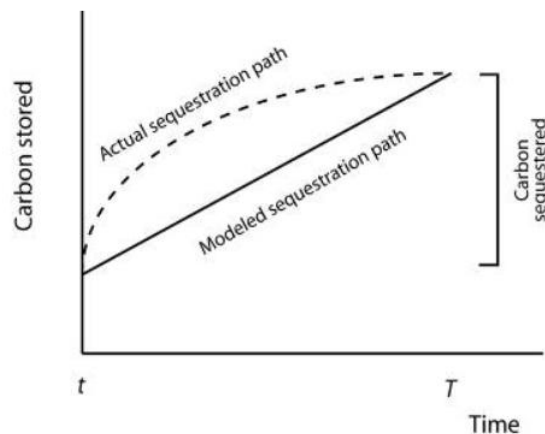
Analisis prediksi perubahan tutupan lahan dilakukan melalui dua tahapan yakni pertama identifikasi tutupan lahan eksisting dengan rentang tahun tertentu sebagai data dasar, kedua adalah analisis prediksi perubahan tutupan lahan dengan perumusan skenario tertentu.

- a. Identifikasi tutupan lahan dilakukan dengan dua data dasar citra satelit pada tahun 2014-2024. Citra satelit yang digunakan sebagai data dasar adalah LANDSAT 8 dan 9. Identifikasi ini dilakukan melalui pendekatan indeks spektral untuk mendapatkan informasi tutupan vegetasi, kawasan terbangun, lahan terbuka, serta badan air. Lebih detail pada penelitian ini menggunakan beberapa indeks spektral seperti Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) dan Built-up Index (BUI).
- b. Analisis prediksi perubahan tutupan lahan. Analisis ini dilakukan melalui pendekatan multi-layer perceptron (MLP) TerrSet dengan beberapa skenario yang dilakukan: (1) skenario yang tumbuh mengikuti tren pada tahun sebelumnya atau business as usual, (2) skenario dengan mempertimbangkan kawasan yang harus dilindungi (skenario ideal). Perbedaan kedua skenario tersebut terletak pada masukan (input) data faktor pendorong dan faktor penghambat pertumbuhan pada tutupan lahan. Dimana pada skenario business as usual hanya mempertimbangkan pertumbuhan secara linear, sementara pada skenario kedua mempertimbangkan adanya potensi pertumbuhan serta faktor

penghambat (kawasan lindung berdasarkan rencana tata ruang dan kawasan pertanian).

2. Prediksi Cadangan Karbon berdasarkan Prediksi Tutupan Lahan

Analisis prediksi cadangan karbon dilakukan melalui InVEST. Beberapa variabel yang digunakan sebagai masukan analisis prediksi cadangan karbon adalah tutupan lahan eksisting, prediksi tutupan lahan pada tahun tertentu, serta nilai kantong karbon. Model ini mampu memprediksi prediksi cadangan karbon dalam satuan metrik ton per hektar (t/ha) yang ditumpangtindih pada peta prediksi tutupan lahan (Sharp et al., 2018). Selain itu, model ini memiliki limitasi dengan asumsi pertumbuhan linear tanpa mempertimbangkan kompleksitas faktor biodiversitas.



Gambar 2. Skema Pemodelan Prediksi Cadangan Karbon pada InVEST

Sumber: The Natural Capital Project (2024)

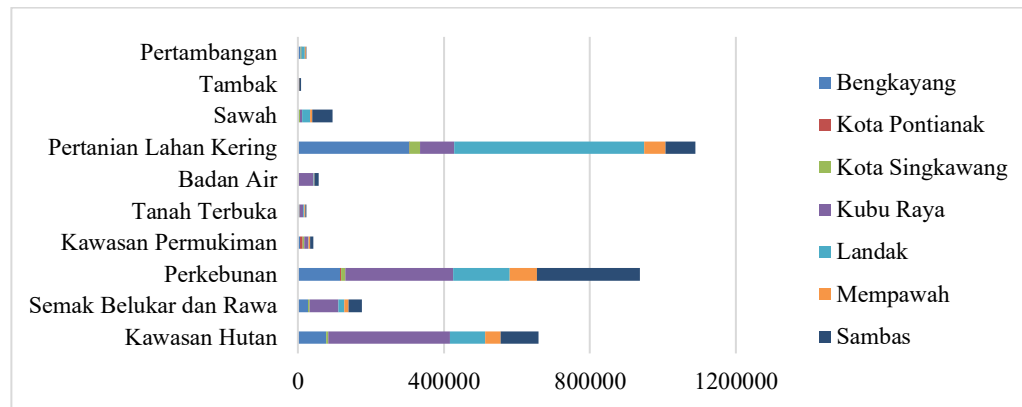
3. Analisis Komparatif Prediksi Cadangan Karbon Masa Depan dan Rencana Tata Ruang

Analisis komparatif pada penelitian ini dilakukan untuk melihat perbandingan antara hasil permodelan pada masa mendatang dan rencana tata ruang yang telah ada. Analisis ini merupakan pintu untuk menjawab hipotesis rencana tata ruang lahir untuk keberlanjutan ruang.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

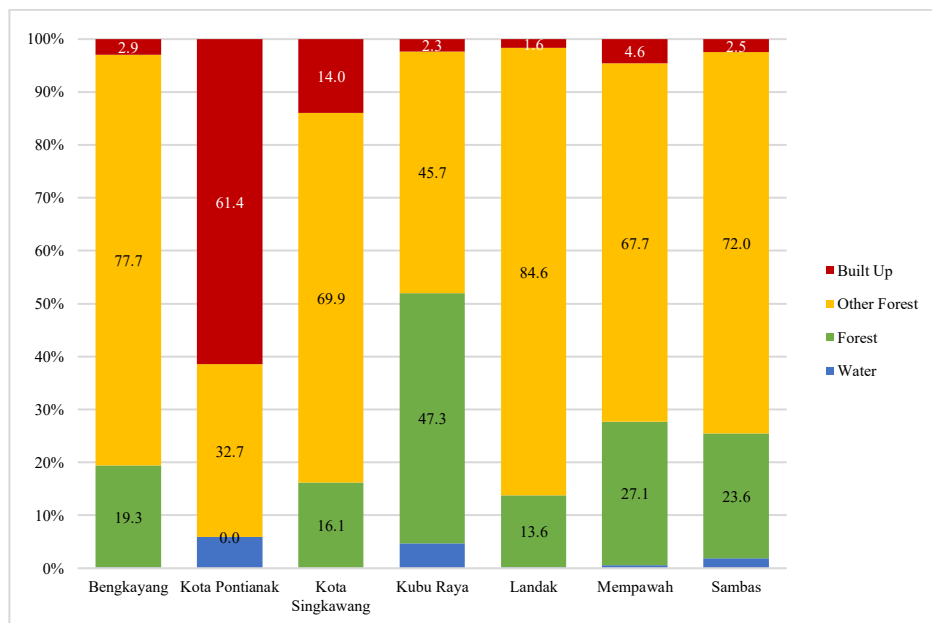
1. Karakteristik Tutupan Lahan Eksisting

Karakteristik tutupan lahan eksisting pada kawasan ini didominasi oleh kawasan perkebunan, pertanian kering, tutupan hutan, rumput dan rawa. Serta sisanya adalah kawasan permukiman, lahan terbuka, badan air, dan kawasan tambang.



Grafik 1. Karakteristik Tutupan Lahan Eksisting
Sumber: WebGIS KLHK (2020)

Adanya limitasi analisis spasial, menjadikan generalisasi karakteristik tutupan lahan menjadi (1) kawasan terbangun dan terbuka (built-up) yang terdiri atas kawasan permukiman, lahan terbuka, dan kawasan tambang, (2) vegetasi selain hutan (other forest) mencakup sawah, pertanian kering, serta perkebunan, (3) kawasan hutan (forest) melingkupi hutan serta semak belukar dan rawa yang menyatu dengan tutupan hutan, serta (4) badan air (water) mencakup sungai dan danau. Lebih detail mengenai persebaran spasial tutupan lahan eksisting dapat ditinjau pada Gambar 3a.

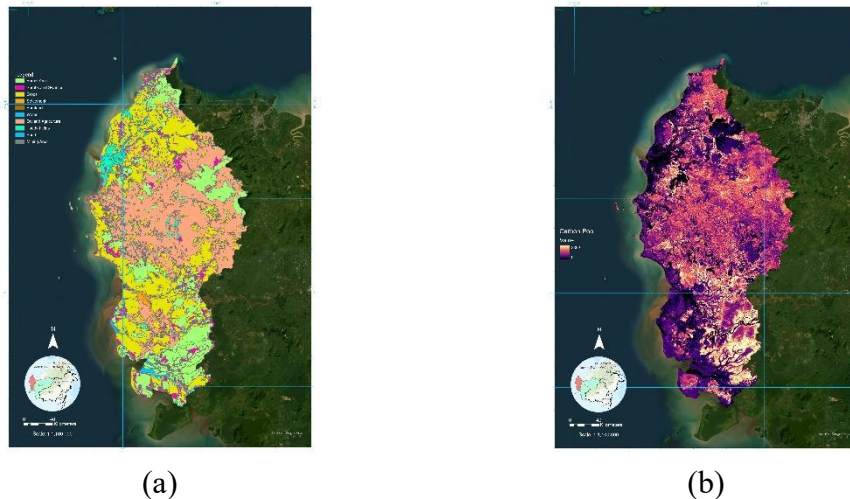


Grafik 2. Persentase Generalisasi Tutupan Lahan Eksisting
Sumber: Analisis penulis (2024)

2. Karakteristik Kantong Karbon Eksisting

Ekosistem hutan merupakan salah satu sumber kantong karbon. Setidaknya ada beberapa jenis kantong karbon yang meliputi karbon tanah dan biomassa di atas

tanah. Rincian lebih lanjut mengenai karakteristik kantong karbon ini dijelaskan pada Gambar 3b.



Gambar 3. (a) Peta Tutupan Lahan Eksisting (b) Peta Kantong Karbon Eksisting
Sumber: (a) Analisis penulis diolah dari WebGIS KLHK, 2020 (b) Analisis penulis diolah dari Spawn & Gibbs (2020)

3. Prediksi Perubahan Tutupan Lahan 2044

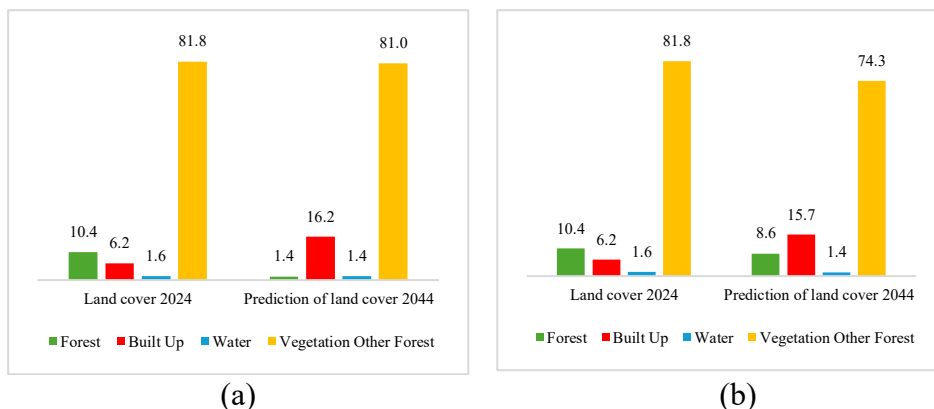
Prediksi perubahan tutupan lahan mencakup dua skenario, yakni skenario *business as usual* dan skenario ideal.

a) Skenario *business as usual*

Hasil analisis prediksi perubahan tutupan lahan skenario ini menunjukkan kenaikan tren pada lahan terbangun dan terbuka (*built-up*) sebesar 10%, penurunan tutupan hutan sebesar 9%, serta tutupan vegetasi selain hutan cenderung konstan.

b) Skenario ideal

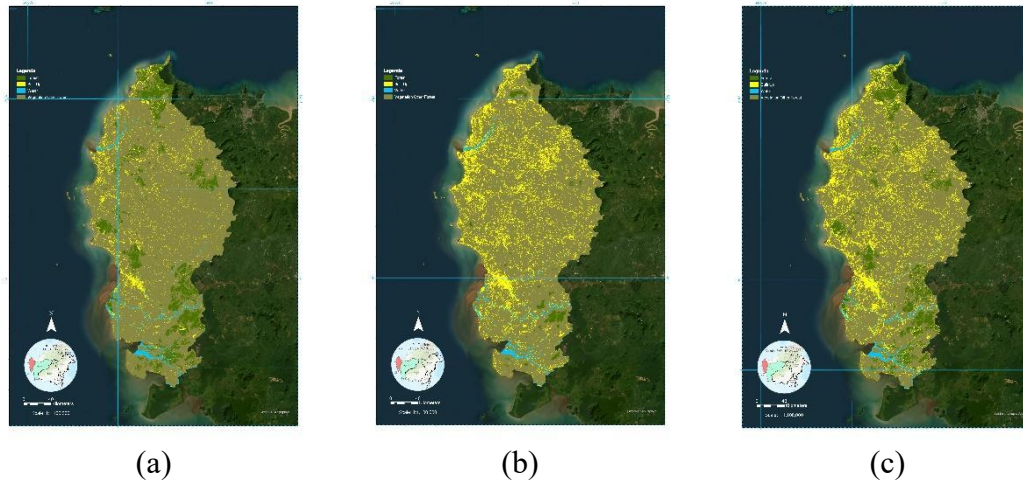
Hasil analisis dari skenario yang diasumsikan ideal, menunjukkan kenaikan tren pada lahan terbangun dan terbuka sebesar 9,5%, penurunan tutupan hutan sebesar 1,8% serta tutupan vegetasi lain selain hutan.



Grafik 3. (a) Persentase perubahan tutupan lahan berdasarkan skenario *business as usual*;
 (b) Persentase perubahan tutupan lahan berdasarkan skenario ideal.

Sumber: Analisis penulis (2024)

Berdasarkan kedua skenario ini, dapat disimpulkan bahwa skenario ideal cenderung dapat melindungi tutupan hutan meskipun terdapat kawasan yang terus tumbuh. Secara detail dapat ditinjau pada Gambar 4 yang menjelaskan sebaran spasial prediksi perubahan tutupan lahan.



Gambar 4. Peta tutupan lahan eksisting 2024; (b) Peta prediksi tutupan lahan 2044 berdasarkan skenario *business as usual*; (c) Peta prediksi tutupan lahan 2044 berdasarkan skenario ideal

Sumber: Analisis penulis (2024)

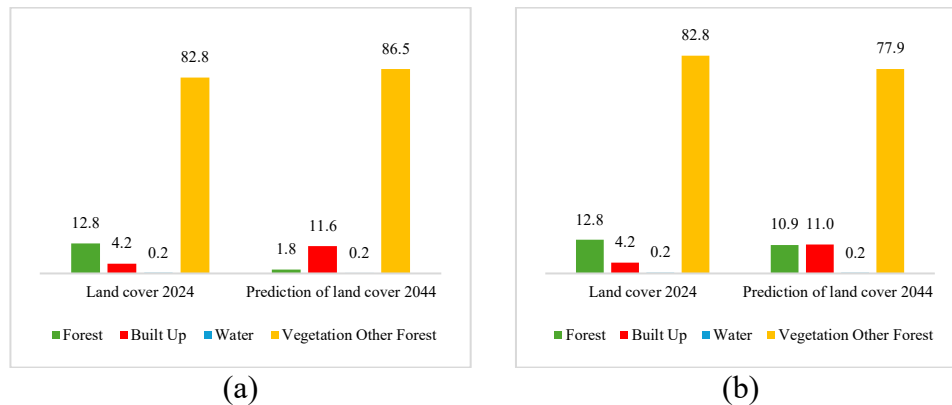
4. Sebaran Spasial Potensi Cadangan Karbon 2044 berdasarkan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan

a) Skenario *business as usual*

Pada skenario ini, prediksi cadangan karbon pada kantong karbon hutan menunjukkan penurunan 11%, tren kenaikan pada kantong karbon vegetasi selain hutan (perkebunan dan pertanian) sebesar 0,3% serta 3,7% pada kantong karbon kawasan terbangun dan terbuka.

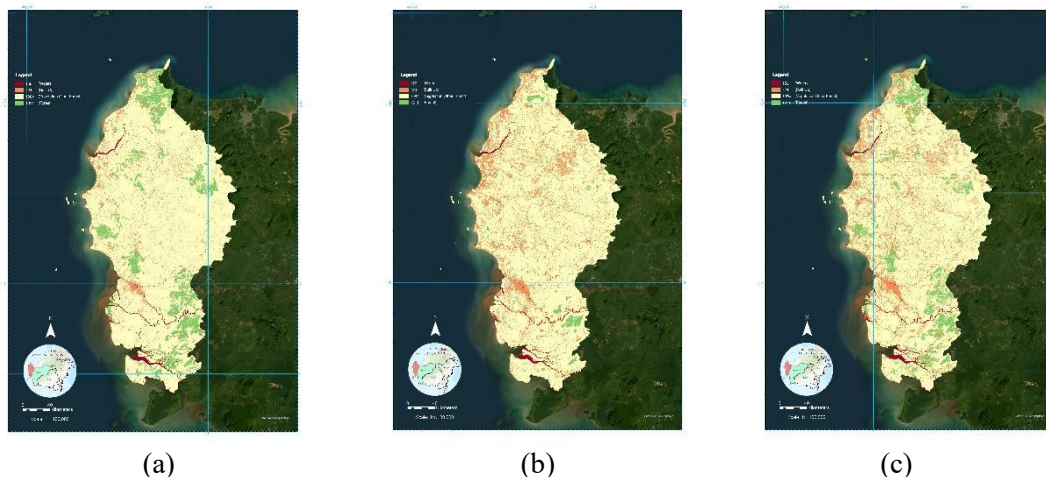
b) Skenario ideal

Skenario ini menunjukkan prediksi penurunan cadangan karbon pada kantong karbon hutan sebesar 1,9% dan vegetasi selain hutan (4,9%), serta adanya peningkatan pada kantong karbon kawasan terbangun dan terbuka sebesar 7%.



Grafik 4. (a) Persentase Potensi Cadangan Karbon berdasarkan Skenario *Business as Usual*; (b) Persentase Potensi Cadangan Karbon berdasarkan Skenario Ideal.
Sumber: Analisis penulis (2024)

Berdasarkan data hasil analisis prediksi potensi cadangan karbon memiliki kemiripan pola terhadap prediksi perubahan penggunaan lahan, dimana cadangan karbon pada tutupan ekosistem hutan tetap cenderung menurun meski menggunakan skenario ideal. Lebih detail merupakan sebaran spasial potensi cadangan karbon pada 2044.

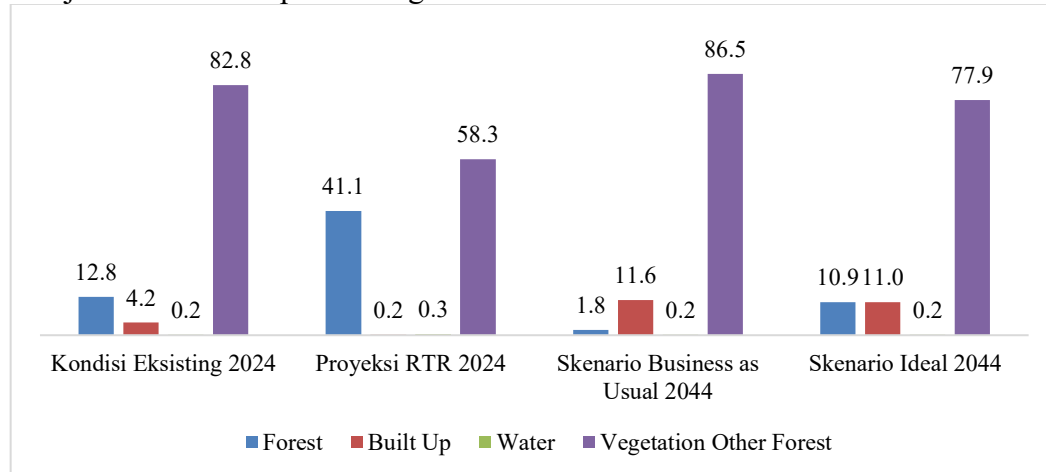


Gambar 5. (a) Peta Cadangan Karbon Eksisting 2024; (b) Peta Potensi Perubahan Cadangan Karbon 2044 berdasarkan Skenario *Business as Usual*; (c) Peta Potensi Perubahan Cadangan Karbon 2044 berdasarkan Skenario Ideal.

Dari penelitian ini, skenario ideal menunjukkan skema pengelolaan lahan yang lebih optimal dan berkelanjutan karena mampu mempertahankan kawasan lindung serta menjaga nilai jasa ekosistem, salah satunya adalah potensi stok karbon. Hal ini terlihat dari perbandingan *business as usual*—yang hanya mengikuti tren pertumbuhan tanpa intervensi—dengan skenario ideal yang mempertimbangkan keberadaan kawasan lindung dalam perencanaan pertumbuhan wilayah. Temuan ini sejalan dengan berbagai studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa pendekatan proyeksi perubahan lahan dapat digunakan sebagai alat pertimbangan dalam

pengambilan keputusan perencanaan ruang (Al-shalabi et al., 2013; Fu et al., 2015; Guan et al., 2011; Kesaulija et al., 2021; Mitsova et al., 2011; Pratomoatmojo, 2018; Tang et al., 2005).

Diagram berikut memperlihatkan prediksi cadangan karbon berdasarkan dinamika perubahan lahan, termasuk kondisi eksisting dan proyeksi RTRW yang menjadi acuan dasar perbandingan.



Gambar 6. Perbandingan Persentase Prediksi Cadangan Karbon pada Berbagai Tutupan Lahan berdasarkan Kondisi Eksisting 2024, Ekspektasi Rencana Tata Ruang 2024, Prediksi Skenario *Business as Usual* 2044, Prediksi Skenario Ideal 2044
Sumber: Analisis penulis (2024)

Berdasarkan hasil analisis, dapat dilihat bahwa seluruh skenario mengalami penurunan cadangan karbon pada ekosistem hutan—paling drastis pada skenario *business as usual*. Meskipun skenario ideal telah mencoba mengunci keberadaan kawasan lindung, adanya tekanan pertumbuhan tidak menghilangkan risiko hilangnya ekosistem hutan. Namun, keberadaan intervensi kebijakan seperti kawasan lindung pada rencana tata ruang dapat menekan risiko tersebut.

D. KESIMPULAN

Benang merah temuan penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi cadangan karbon pada ekosistem hutan mengalami penurunan signifikan, terutama pada skenario *business as usual* yang mencerminkan pola pembangunan tanpa intervensi perlindungan lahan. Sebaliknya, skenario ideal yang mempertimbangkan keberadaan kawasan lindung mampu menahan laju penurunan cadangan karbon secara lebih efektif. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya tata ruang sebagai instrumen kebijakan dalam menjaga fungsi ekosistem hutan, tidak hanya dalam konteks konservasi ekologis, tetapi juga dalam mitigasi perubahan iklim.

Studi ini berkontribusi dalam memperkuat pendekatan integratif antara dinamika perubahan lahan dan estimasi cadangan karbon sebagai dasar untuk evaluasi kebijakan tata ruang. Hasil yang diperoleh mendukung literatur sebelumnya mengenai urgensi penggunaan model prediktif dalam perencanaan

ruang (Al-shalabi et al., 2013; Fu et al., 2015; Mitsova et al., 2011), sekaligus menambahkan dimensi ekologi sebagai variabel pertimbangan kebijakan. Implikasi kebijakan yang dihasilkan menekankan perlunya penguatan perlindungan kawasan lindung dalam rencana tata ruang serta peningkatan kapasitas pemerintah dalam memanfaatkan data spasial dalam proses perencanaan dan pengendalian pemanfaatan ruang.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melahirkan model prediktif yang lebih akurat, dengan menambahkan multi-faktor seperti dinamika ekonomi, tekanan demografis, dan perubahan iklim yang lebih kompleks. Kajian lanjutan juga dapat mengintegrasikan penilaian ekonomi terhadap jasa ekosistem. Dengan pendekatan yang lebih komprehensif, perencanaan tata ruang diharapkan dapat memainkan peran yang lebih strategis dalam mendukung pembangunan rendah emisi dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S., & Al-Sharif, A. A. A. (2013). Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: The case of Sana'a metropolitan city, Yemen. *Environmental Earth Sciences*, 70(1), 425–437. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2137-6>
- Costanza, R., Limburg, K., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., & Grasso, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *NATURE*, 387.
- Deere, N. J., Guillera-Arroita, G., Baking, E. L., Bernard, H., Pfeifer, M., Reynolds, G., Wearn, O. R., Davies, Z. G., & Struebig, M. J. (2018). High Carbon Stock forests provide co-benefits for tropical biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 997–1008. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13023>
- Flyvbjerg, B., Richardson, T., & Penington, M. (2002). *Planning futures: New directions for planning theory* (M. Tewdwr-Jones & P. Allmendinger, Eds.). Routledge.
- Fryer, J., & Williams, I. D. (2021). Regional carbon stock assessment and the potential effects of land cover change. *Science of The Total Environment*, 775, 145815. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145815>
- Fu, B., Zhang, L., Xu, Z., Zhao, Y., Wei, Y., & Skinner, D. (2015). Ecosystem services in changing land use. *Journal of Soils and Sediments*, 15(4), 833–843. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1082-x>
- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.
- Global Forest Watch & World Resources Institute. (2024). *Forest Pulse: The Latest on the World's Forests*. <https://research.wri.org/id/gfr/latest-analysis-deforestation-trends>
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222(20–22), 3761–3772. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009>

- He, Y., Xia, C., Shao, Z., & Zhao, J. (2022). The Spatiotemporal Evolution and Prediction of Carbon Storage: A Case Study of Urban Agglomeration in China's Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Land*, 11(6), 858. <https://doi.org/10.3390/land11060858>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *The State of Indonesia's Forests 2022 Towards FOLU Net Sink 2030*. Ministry of Environment and Forestry Republic of Indonesia.
- Kesaulija, F. F., Aipassa, M. I., Sumaryono, M., & Suhardiman, A. (2021). *Modeling Land Cover Change Using Markov Chain-Cellular Automata in Sorong, West Papua Province*: Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19), Kalimantan Timur, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/absr.k.210408.026>
- Locatelli, B. (2016). Ecosystem Services and Climate Change. In M. Potschin, R. Haines-Young, R. Fish, & R. K. Turner (Eds.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services* (1st ed., pp. 481–490). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315775302-42>
- Mitsova, D., Shuster, W., & Wang, X. (2011). A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.001>
- Oktian, S. H., Setyaningsih, L., Anen, N., & Adinugroho, W. C. (2021). KARAKTERISTIK SPASIAL DAN POTENSI CADANGAN KARBON DI BENTANG ALAM MBELILING NUSA TENGGARA TIMUR. *Jurnal Nusa Sylva*, 21(2), 65. <https://doi.org/10.31938/jns.v21i2.366>
- Potschin, M., Haines-Young, R. H., Fish, R., & Turner, R. K. (Eds.). (2016). *Routledge handbook of ecosystem services*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Pratomoatmojo, N. A. (2018). Permodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata dan Sistem Informasi Geografis dengan Menggunakan LanduseSim. *Jurnal Penataan Ruang*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.12962/j2716179X.v13i1.7064>
- Ranganathan, J. & World Resources Institute (Eds.). (2008). *Ecosystem services: A guide for decision makers*. World Resources Institute.
- Reljić, D. T., Miočić-Stošić, V. K., Butula, S., & Andlar, G. (2017). *An Overview of GIS Applications in Landscape Planning*. 1(27).
- Renger, R., Cimetta, A., & Rogan, S. (2002). Geographic Information Systems (GIS) as an Evaluation Tool. *AMERICAN JOURNAL OF EVALUATION*.
- Spawn, S. A., & Gibbs, H. K. (2020). *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010* (Version 1, p. 9810.740697000001 MB) [GTiff]. ORNL Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1763>
- Tang, Z., Engel, B. A., Pijanowski, B. C., & Lim, K. J. (2005). Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 76(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.01.006>

- The Natural Capital Project. (2024). *inVEST: Carbon Storage and Sequestration* [Computer software]. <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/carbonstorage.html>
- Yu, Y., Guo, B., Wang, C., Zang, W., Huang, X., Wu, Z., Xu, M., Zhou, K., Li, J., & Yang, Y. (2023). Carbon storage simulation and analysis in Beijing-Tianjin-Hebei region based on CA-plus model under dual-carbon background. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1), 2173661. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2173661>