

Analisis lahan terbangun dan pertumbuhan penduduk di Kota Makassar menggunakan Google Earth Engine

Analysis of built-up land and population growth in Makassar City using Google Earth Engine

Irwansyah Sukri^{1*}, Muhammad Yusuf¹, Dinil Qaiyimah¹, Fadil Muhammad², dan Haris¹

¹Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Bisnis Digital, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

*Email korespondensi: irwansyah.s@unm.ac.id

Abstrak. Urbanisasi yang pesat di Kota Makassar telah menyebabkan perubahan signifikan dalam penggunaan lahan terbangun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara perubahan lahan terbangun dan pertumbuhan penduduk di Kota Makassar antara tahun 2000 hingga 2020. Metode penelitian menggunakan data citra satelit Landsat yang diakses melalui Google Earth Engine (GEE), dengan menerapkan Normalized Difference Built-up Index (NDBI) dan Modified Normalized Water Index (MNDWI) untuk mendeteksi area terbangun. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada lahan terbangun di beberapa kecamatan, terutama di Biringkanaya, Tamalanrea, dan Manggala, sejalan dengan peningkatan populasi yang signifikan di wilayah tersebut. Namun, wilayah seperti Tallo dan Tamalate, meskipun mencatat pertumbuhan penduduk yang lebih tinggi, menunjukkan tingkat perubahan lahan terbangun yang lebih rendah. Fenomena ini disebabkan oleh keterbatasan lahan kosong, tingkat kepadatan yang telah tinggi, serta prioritas pembangunan yang berbeda. Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa urbanisasi di Makassar perlu dikelola dengan hati-hati melalui kebijakan perencanaan ruang yang mempertimbangkan pembangunan berkelanjutan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah untuk merumuskan kebijakan tata ruang yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: GEE; NDBI; Pembangunan Berkelanjutan; Penggunaan Lahan; Urbanisasi

Abstract. Rapid urbanization in Makassar City has led to significant changes in built-up land use. This study aims to analyze the changes in built-up land in Makassar City from 2000 to 2020 and identify its relationship with population growth. The research utilized Landsat satellite imagery accessed through Google Earth Engine (GEE), employing the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and Modified Normalized Water Index (MNDWI) to detect built-up areas. The findings reveal a significant increase in built-up areas, particularly in the districts of Biringkanaya, Tamalanrea, and Manggala, corresponding with substantial population growth in these regions. However, areas such as Tallo and Tamalate, despite recording higher population growth, showed lower rates of change in built-up areas. This phenomenon is due to limited vacant land, already high-density levels and different development priorities. The implications of this study highlight the need for careful urban planning in Makassar, integrating spatial planning policies that consider sustainable development. The results are expected to serve as a reference for local governments in formulating more effective and sustainable spatial planning policies.

Keywords: GEE; Land Use; NDBI; Sustainable Development; Urbanization

1. Pendahuluan

Kota Makassar, sebagai salah satu kota besar di bagian timur Indonesia, telah mengalami pertumbuhan populasi yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Pertumbuhan penduduk sering kali mendorong kebutuhan akan tempat tinggal, infrastruktur, dan fasilitas umum, sehingga memicu urbanisasi yang pesat [1,2]. Di sisi lain, proses ini membawa konsekuensi lingkungan dan sosial yang perlu dikelola dengan baik untuk menjamin keberlanjutan kota. Dalam konteks urbanisasi, pertumbuhan penduduk sering kali menyebabkan ekspansi kota yang tidak terencana, yang berdampak pada pola penggunaan lahan [3,4]. Analisis demografi dan pembangunan infrastruktur dalam penggunaan lahan perkotaan menjadi penting, di mana hal berkontribusi pada peningkatan penggunaan lahan [5,6].

Hubungan antara pertumbuhan penduduk dan perubahan kawasan terbangun telah menjadi perhatian berbagai penelitian sebelumnya. Secara teori, peningkatan populasi berbanding lurus dengan meningkatnya tekanan terhadap penggunaan lahan, yang sering kali mengarah pada konversi lahan pertanian dan ruang terbuka hijau menjadi area pemukiman dan infrastruktur [7]. Studi oleh Ouédraogo et al. [8] di Burkina Faso dan Andit Tid, Ethiopia [9] menunjukkan bahwa dinamika populasi berpengaruh signifikan terhadap perubahan tutupan lahan. Namun, penelitian di Kabupaten Cirebon menunjukkan bahwa dampak pertumbuhan penduduk terhadap alih fungsi lahan relatif kecil [10], tergantung pada konteks lokal. Perbedaan ini menyoroti kompleksitas hubungan antara faktor demografi dan penggunaan lahan, yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik wilayah.

Di Kota Makassar, kawasan-kawasan seperti Biringkanaya, Tamalanrea, dan Manggala telah mencatat pertumbuhan kawasan terbangun yang signifikan. Tren ini bertepatan dengan peningkatan populasi di wilayah tersebut, menunjukkan adanya keterkaitan erat antara pertumbuhan penduduk dan perubahan tata ruang kota. Proses ini, meskipun mencerminkan kemajuan ekonomi, juga menimbulkan tantangan lingkungan, seperti peningkatan suhu permukaan, penurunan kualitas udara, dan kehilangan keanekaragaman hayati. Secara sosial, perubahan ini dapat memperburuk ketimpangan ekonomi dan meningkatkan tekanan pada infrastruktur perkotaan.

Oleh karena itu, pemantauan perubahan penggunaan lahan, khususnya lahan terbangun, menjadi aspek penting [11] dalam perencanaan dan pengelolaan kota yang berkelanjutan. Di tengah berkembangnya teknologi penginderaan jauh, citra satelit telah menjadi alat yang sangat penting untuk memahami dinamika penggunaan lahan [6]. Salah satu platform yang inovatif dalam analisis data satelit adalah Google Earth Engine (GEE), yang memungkinkan pemrosesan data skala besar dengan tingkat efisiensi tinggi. Untuk mendeteksi area terbangun, dua indeks utama digunakan, yaitu Normalized Difference Built-up Index (NDBI) dan Modified Normalized Water Index (MNDWI).

NDBI, yang dikembangkan oleh Xu [12], secara khusus dirancang untuk mengidentifikasi area terbangun di perkotaan dengan memanfaatkan nilai pantulan pada pita inframerah dekat (NIR) dan inframerah gelombang pendek (SWIR). Indeks ini memanfaatkan reflektansi yang lebih tinggi dari permukaan terbangun pada pita SWIR dibandingkan dengan vegetasi, yang sangat penting untuk pemetaan perkotaan yang akurat [13]. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa NDBI secara efektif membedakan area terbangun dari jenis tutupan lahan lainnya, dan menunjukkan korelasi yang kuat dengan metrik urbanisasi [14,15]. Sebagai contoh, penelitian di berbagai wilayah perkotaan, termasuk Beijing dan Kolkata, telah memvalidasi keampuhan NDBI dalam memetakan perluasan wilayah perkotaan dan menilai perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu [16,17].

Sebaliknya, MNDWI, yang juga diperkenalkan oleh Xu [12], meningkatkan deteksi badan air dengan memodifikasi Normalized Difference Water Index (NDWI) tradisional. MNDWI menggunakan band hijau dan SWIR untuk meminimalkan pengaruh area terbangun dan vegetasi terhadap deteksi air [18]. Indeks ini telah terbukti sangat efektif dalam menggambarkan badan air di lanskap perkotaan, di mana area terbangun dapat mengaburkan indeks air tradisional [19].

Informasi yang akurat mengenai tren dan pola perubahan lahan terbangun masih kurang [20] termasuk kota Makassar. Banyak studi yang telah membahas perubahan penggunaan lahan, namun penelitian yang memanfaatkan GEE dalam skala spasial yang lebih rinci untuk Kota Makassar masih terbatas. Keterbatasan tersebut yakni dalam memberikan analisis yang komprehensif tentang dampak urbanisasi terhadap lahan terbangun dengan pendekatan teknologi modern seperti GEE. Platform ini merupakan sebuah platform berbasis *cloud* yang memungkinkan analisis data citra satelit dengan cepat dan efisien. Kebaruan penelitian

terletak pada penggunaan teknologi terkini untuk analisis spasial yang dapat memberikan gambaran wawasan baru tentang dinamika urbanisasi di Kota Makassar. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi kebijakan pengelolaan ruang kota yang lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara perubahan lahan terbangun dan pertumbuhan penduduk di Kota Makassar dari tahun 2000 hingga 2020. Hasilnya diharapkan dapat membantu pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan tata ruang yang berkelanjutan untuk mengelola urbanisasi yang semakin pesat. Dengan memahami dinamika ini, diharapkan Kota Makassar dapat mengelola urbanisasinya secara berkelanjutan, baik dari aspek sosial, ekonomi, maupun lingkungan.

2. Metode

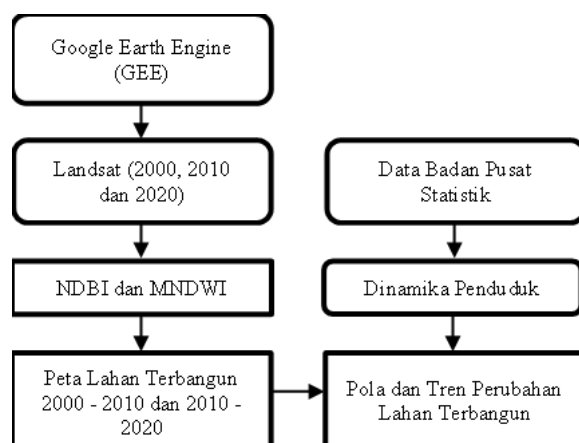
Penelitian ini dilakukan di Kota Makassar, merupakan kota terbesar di Indonesia bagian timur, yang memiliki dinamika urbanisasi yang pesat. Ruang lingkup penelitian ini mencakup seluruh area administratif Kota Makassar (Gambar 1), dengan fokus pada lahan terbangun di setiap kecamatan. Populasi penelitian adalah seluruh wilayah lahan terbangun dalam periode 20 tahun yang dianalisis, sementara sampel diambil dari subset citra satelit di area yang menunjukkan perubahan signifikan. Data sekunder berupa statistik demografi dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang juga digunakan untuk mendukung analisis faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan lahan terbangun.



Gambar 1. Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

Data utama penelitian ini adalah citra satelit Landsat untuk tahun 2000, 2010, dan 2020, yang diakses melalui Google Earth Engine (GEE). Citra satelit ini kemudian diolah untuk menghasilkan komposit tahunan yang merepresentasikan kondisi lahan pada tahun-tahun

yang ditentukan. Untuk mendeteksi area terbangun, dua indeks utama digunakan, yaitu *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) dan *Modified Normalized Water Index* (MNDWI). NDBI digunakan untuk mengidentifikasi area terbangun dengan memanfaatkan perbedaan spektral antara saluran NIR dan SWIR, sementara MNDWI digunakan untuk mengurangi pengaruh air yang dapat mengganggu klasifikasi lahan. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 2.



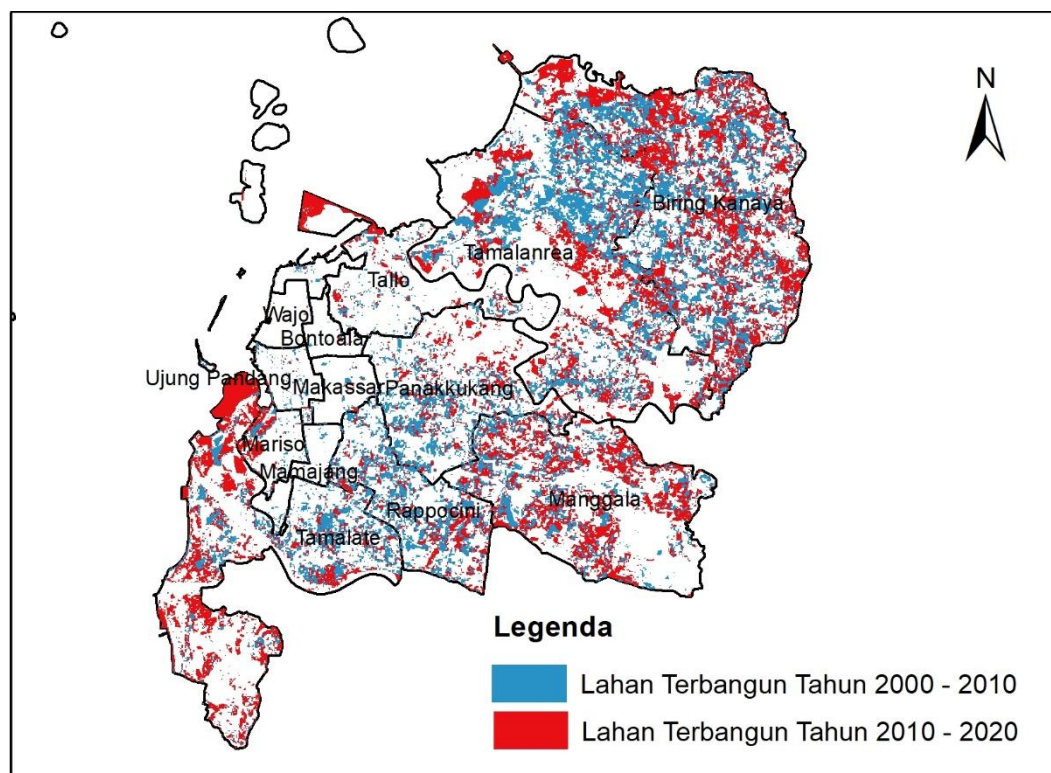
Gambar 2. Diagram alir.

Teknik pengumpulan data melibatkan pengunduhan dan pemrosesan citra Landsat dari GEE, yang kemudian dianalisis menggunakan algoritma NDBI dan MNDWI. Setelah klasifikasi lahan terbangun selesai, analisis spasial dilakukan untuk mengidentifikasi pola dan tren perubahan lahan terbangun [6,21]. Analisis tumpang tindih dilakukan untuk membandingkan distribusi lahan terbangun pada rentan tahun 2000 - 2010 dan 2010 - 2020, sementara analisis faktor menggunakan data sekunder dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab perubahan tersebut.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Hasil identifikasi perubahan lahan terbangun

Pemantauan lahan terbangun pada penelitian ini yakni dengan melakukan analisis citra Landsat memanfaatkan platform Google Earth Engine (GEE). Analisis citra dilakukan dengan menerapkan algoritma NDBI dan MNDWI. Hasil analisis citra pada wilayah penelitian disajikan pada Gambar 3.

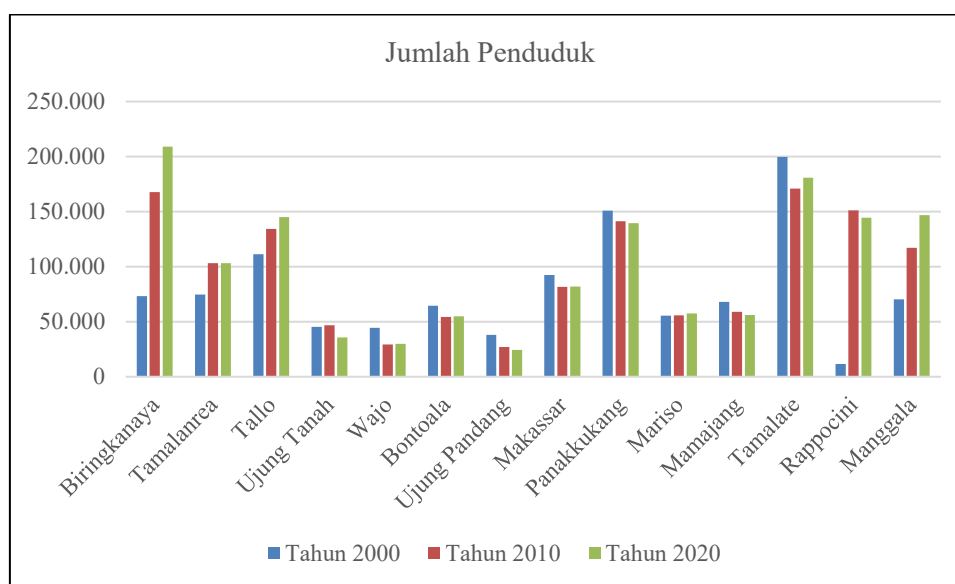


Gambar 3. Lahan terbangun Kota Makassar periode tahun 2000 – 2020.

Gambar 3 menunjukkan perubahan lahan terbangun di suatu wilayah dari tahun 2000 hingga 2020. Terlihat jelas bahwa ada peningkatan signifikan dalam pembangunan lahan dari tahun 2000 hingga 2020. Wilayah yang terbangun pada periode 2010-2020 (ditandai dengan warna merah) tampak lebih luas dan tersebar dibandingkan dengan periode 2000-2010 (ditandai dengan warna biru). Ini menunjukkan adanya pertumbuhan urbanisasi atau pembangunan infrastruktur yang cukup pesat dalam dekade terakhir. Hal ini sejalan dengan temuan Hakiki et al. [22] bahwa pertumbuhan penduduk menunjukkan adanya urbanisasi yang terus berlangsung di Kota Makassar.

3.2. Relasi antara perubahan lahan terbangun dengan penambahan penduduk

Penambahan lahan terbangun di Kota Makassar mencerminkan tren urbanisasi dan perkembangan infrastruktur. Pertambahan jumlah penduduk berarti lebih banyak permintaan akan perumahan, fasilitas umum, dan infrastruktur [6]. Di wilayah dengan pertumbuhan penduduk yang pesat, sering kali kita melihat ledakan dalam pembangunan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Dengan bertambahnya penduduk, juga muncul tekanan untuk mengembangkan wilayah agar dapat mengakomodasi jumlah orang yang lebih banyak [23]. Ini termasuk pengembangan area perumahan baru, sekolah, rumah sakit, pusat perbelanjaan, dan jalan raya. Dan sering kali, ini menyebabkan perubahan besar dalam penggunaan lahan dan lingkungan. Dinamika penduduk setiap kecamatan pada wilayah penelitian disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perubahan jumlah penduduk perkecamatan Kota Makassar periode tahun 2000 – 2020 [24,25].

Berdasarkan data populasi pada Gambar 4, bahwa hubungan pertumbuhan penduduk dengan lahan terbangun di setiap kecamatan menunjukkan 1). Biringkanaya, pada tahun 2000, jumlah penduduk sekitar 75.000 dan meningkat signifikan menjadi hampir 250.000 pada tahun 2020. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini sangat mungkin berkontribusi pada peningkatan lahan terbangun di wilayah ini, karena lebih banyak penduduk berarti kebutuhan akan perumahan, fasilitas umum, dan infrastruktur meningkat. 2). Tamalanrea, dari sekitar 50.000 pada tahun 2000 menjadi sekitar 170.000 pada tahun 2020. Mirip dengan Biringkanaya, peningkatan penduduk yang signifikan kemungkinan mendorong pembangunan lahan yang besar selama dua dekade terakhir. 3). Bontoala, Tallo, Wajo, Makassar, Mariso, Mamajang, Panakkukang, dan Ujung Pandang, kecamatan-kecamatan ini menunjukkan pertumbuhan penduduk yang lebih stabil dan tidak sebanyak dua wilayah sebelumnya. Populasi di wilayah ini mungkin tidak menunjukkan peningkatan yang besar dalam lahan terbangun, mencerminkan stabilitas atau sedikit perubahan dalam urbanisasi. 4). Tamalate dan Rappocini, kedua wilayah ini juga menunjukkan peningkatan signifikan dalam jumlah penduduk dari tahun 2000 hingga 2020. Peningkatan ini kemungkinan besar berhubungan dengan peningkatan lahan terbangun di wilayah tersebut, karena kebutuhan akan tempat tinggal dan infrastruktur meningkat dengan pertumbuhan penduduk. 5). Manggala, dari sekitar 40.000 pada tahun 2000 menjadi hampir 200.000 pada tahun 2020. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini berkontribusi pada peningkatan lahan terbangun yang cukup besar di wilayah studi.

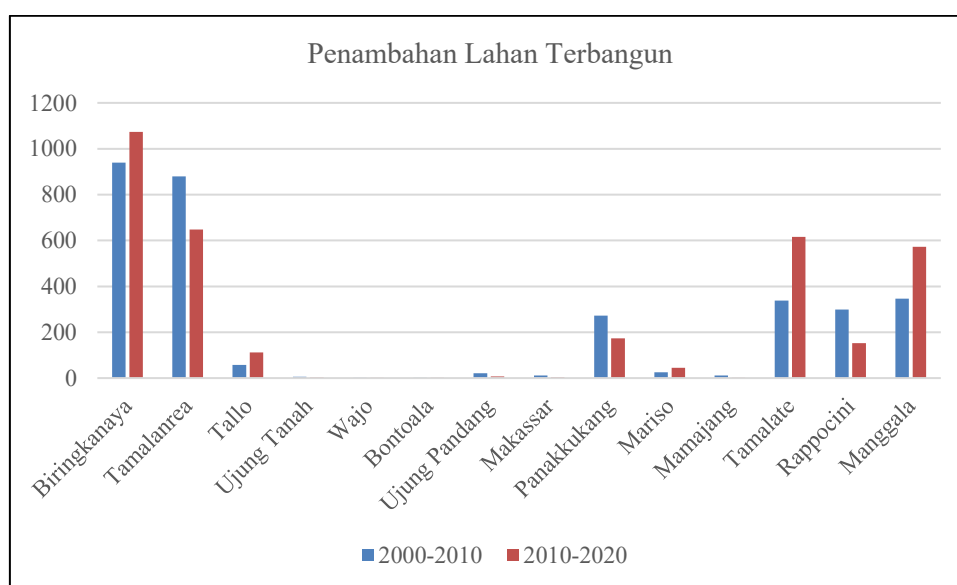
Hasil analisis menunjukkan peningkatan signifikan lahan terbangun pada wilayah Biringkanaya dan Tamalanrea, yang sejalan dengan literatur sebelumnya mengenai hubungan antara pertumbuhan penduduk dan urbanisasi [5]. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan populasi

cenderung mendorong perubahan penggunaan lahan secara lebih intensif di wilayah Biringkanaya dan Tamalanrea.

Peningkatan area terbangun yang signifikan di Kota Makassar sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk, terutama pada periode 2010-2020. Hal ini sejalan dengan temuan Ouédraogo et al. [8] di Burkina Faso, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk mendorong perubahan penggunaan lahan. Namun, hasil ini berbeda dari penelitian di Kabupaten Cirebon [10] yang menunjukkan dampak alih fungsi lahan yang lebih kecil, mungkin karena konteks perkotaan dan perdesaan yang berbeda.

3.3. Implikasi terhadap perkotaan

Pembangunan lahan yang pesat memiliki berbagai implikasi. Pertama, jika lahan yang tadinya hijau berubah menjadi area terbangun, bisa berdampak pada lingkungan. Misalnya, penurunan kualitas udara karena peningkatan polusi dari transportasi dan industri, serta potensi peningkatan suhu [26]. Kedua, perubahan ini bisa mempengaruhi keanekaragaman hayati, terutama jika habitat alami terganggu atau hilang [27]. Dari sisi sosial ekonomi, pertumbuhan ini bisa menunjukkan peningkatan ekonomi dan urbanisasi, namun juga dapat menimbulkan masalah, seperti kemacetan lalu lintas, meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur, dan potensi masalah sosial lainnya, seperti ketimpangan ekonomi. Penambahan lahan terbangun di wilayah studi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik penambahan lahan terbangun di Makassar periode Tahun 2000 – 2020.

Gambar 5 menunjukkan grafik batang tentang penambahan lahan terbangun berdasarkan kecamatan dari tahun 2000-2010 dan 2010-2020. Dari grafik, kita bisa melihat beberapa pola penting, yaitu:

- a. Biringkanaya dan Tamalanrea: Kedua wilayah ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam pembangunan lahan pada kedua periode, dengan peningkatan yang lebih besar pada periode 2010-2020. Peningkatan lahan terbangun di wilayah tersebut terutama melibatkan konversi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun [28].
- b. Bontoala, Tallo, Ujung Tanah, Wajo, Makassar, Mariso, Mamajang, Panakkukang, dan Ujung Pandang: Wilayah-wilayah ini menunjukkan penambahan lahan terbangun yang relatif kecil pada kedua periode, yang mungkin menunjukkan stabilitas atau kurangnya ekspansi urbanisasi di daerah-daerah tersebut.
- c. Tamalate dan Rappocini: Ada peningkatan signifikan pada periode 2010-2020 dibandingkan dengan periode sebelumnya, yang menunjukkan percepatan pembangunan di dekade terakhir.
- d. Manggala: Wilayah ini juga menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kedua periode, dengan peningkatan yang lebih besar pada periode 2010-2020, yang mungkin menunjukkan adanya proyek pembangunan besar atau perubahan kebijakan penggunaan lahan. Proyek-proyek tersebut mencakup pembangunan perumahan dan komersial yang telah mengubah lahan yang sebelumnya tidak dikembangkan menjadi lahan terbangun [29].

Secara umum kecamatan dengan pertumbuhan penduduk yang cepat cenderung menunjukkan peningkatan yang lebih besar dalam lahan terbangun, mengingat kebutuhan untuk memenuhi permintaan perumahan, fasilitas umum, dan infrastruktur. Pola ini dapat digunakan untuk merencanakan pembangunan kota Makassar yang lebih baik di masa depan, mengingat dampak lingkungan dan sosial yang dapat ditimbulkan. Hasil penelitian ini dapat membantu pemerintah Kota Makassar dalam mengidentifikasi wilayah-wilayah yang memerlukan intervensi untuk pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan. Area seperti Biringkanaya dan Tamalanrea, yang menunjukkan peningkatan signifikan dalam lahan terbangun, perlu menjadi fokus kebijakan konservasi ruang terbuka hijau agar dampak negatif urbanisasi dapat diminimalkan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam pembangunan lahan terbangun di wilayah tertentu dari tahun 2000 hingga 2020 di Makassar, terutama di kecamatan-kecamatan seperti Biringkanaya, Tamalanrea, Tamalate, Rappocini, dan Manggala. Faktor utama yang mendorong peningkatan ini adalah pertumbuhan penduduk yang pesat, yang mendorong peningkatan kebutuhan akan perumahan, fasilitas umum, dan infrastruktur. Penelitian ini menunjukkan bahwa urbanisasi dan peningkatan jumlah penduduk memicu konversi lahan, terutama di daerah dengan ketersediaan ruang terbuka untuk pembangunan. Namun, terdapat perbedaan pola pada kecamatan seperti Tallo mengalami pertumbuhan penduduk yang lebih tinggi dibandingkan Tamalanrea tetapi perubahan lahan terbangunnya lebih rendah, sama halnya terjadi di Tamalate. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan oleh karakteristik geografis, sosial ekonomi, dan kebijakan tata ruang setiap wilayah. Tallo, misalnya telah berkembang sebagai kawasan permukiman, sehingga ruang untuk ekspansi lahan terbangun relatif terbatas. Sebaliknya, Tamalanrea

dengan ketersediaan lahan terbangun yang lebih besar, menawarkan peluang yang lebih luas untuk pengembangan perumahan dan infrastruktur baru.

Penelitian ini memberikan wawasan penting untuk perencanaan tata ruang dan pengembangan kebijakan pembangunan yang berkelanjutan. Dengan memahami faktor-faktor yang mendorong urbanisasi dan dampaknya, pembuat kebijakan dapat merancang intervensi yang lebih efektif untuk mengelola pertumbuhan kota, meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Penelitian selanjutnya akan memprediksi arah pembangunan wilayah penelitian.

Referensi

- [1] Chen L, Yu L, Yin J, Xi M. Impact of Population Density on Spatial Differences in the Economic Growth of Urban Agglomerations: The Case of Guanzhong Plain Urban Agglomeration, China. *Sustainability* 2023;15:14601. <https://doi.org/10.3390/su151914601>.
- [2] Tripathi S. Do Large Agglomerations Lead to Economic Ggrowth? Evidence from Urban India. *Rev Urban Reg Dev Stud* 2013;25:176–200. <https://doi.org/10.1111/rurd.12014>.
- [3] Hamal S, Chauhan R, Thakuri S. Effect of Urbanization on Land Surface Temperature: A Case Study of Kathmandu Valley. *Geogr Base* 2022;39–52. <https://doi.org/10.3126/tgb.v9i1.55427>.
- [4] Thapa RB, Murayama Y. Examining Spatiotemporal Urbanization Patterns in Kathmandu Valley, Nepal: Remote Sensing and Spatial Metrics Approaches. *Remote Sens* 2009;1:534–56. <https://doi.org/10.3390/rs1030534>.
- [5] Raharti R, Burhanudin, Kartinah, Jebarus B. Economic Analysis of Urban Land Use in Yogyakarta City. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2022;1030:012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1030/1/012012>.
- [6] Sukri I, Harini R, Sudrajat S. Effect of Transportation Infrastructure on Built-up Area Using Prediction of Land Use/Cover Change: Case Study of Yogyakarta International Airport, Indonesia. *Indones J Geogr* 2022;55:1. <https://doi.org/10.22146/ijg.68216>.
- [7] Ningal T, Hartemink AE, Bregt AK. Land Use Change and Population Growth in the Morobe Province of Papua New Guinea between 1975 and 2000. *J Environ Manage* 2008;87:117–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.006>.
- [8] Ouedraogo I, Tigabu M, Savadogo P, Compaoré H, Odén PC, Ouadba JM. Land Cover Change and its Relation with Population Dynamics in Burkina Faso, West Africa. *L Degrad Dev* 2010;21:453–62. <https://doi.org/10.1002/ldr.981>.
- [9] Temima I, Bethel G, Fikrey T. Spatio-Temporal Dynamic of Land Use and Land Cover in Andit Tid Watershed, Wet Frost/Afro-Alpine Highland of Ethiopia. *Edelweiss Appl Sci Technol* 2021;5:33–8. <https://doi.org/10.33805/2576-8484.192>.
- [10] Indrianawati -, Mahdiyyah ND. Dampak Pertumbuhan Penduduk Terhadap Alih Fungsi Lahan Pertanian di Kabupaten Cirebon Tahun 2010-2016. *Reka Geomatika* 2020;2019. <https://doi.org/10.26760/jrg.v2019i1.3706>.

- [11] Sukri I, Harini R. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Kulon Progo Menggunakan Citra Landsat 7 Tahun 2011 dan Landsat 8 Tahun 2019. Semin. Nas. Geogr. IV Magister Geogr. UGM., Sept., 2021, p. 255–63.
- [12] Xu H. A New Index for Delineating Built-Up Land Features in Satellite Imagery. *Int J Remote Sens* 2008;29:4269–76. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>.
- [13] Sun Q, Wu Z, Tan J. The Relationship between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover in Guangzhou, China. *Environ Earth Sci* 2012;65:1687–94. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1145-2>.
- [14] Ghosh DK, Mandal AC, Majumder R, Patra P, Bhunia GS. Analysis for Mapping of Built-Up Area Using Remotely Sensed Indices – A Case Study of Rajarhat Block in Barasat Sadar Sub-Division in West Bengal (India). *J Landsc Ecol* 2018;11:67–76. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2018-0007>.
- [15] Zhao X, Liu J, Bu Y. Quantitative Analysis of Spatial Heterogeneity and Driving Forces of the Thermal Environment in Urban Built-up Areas: A Case Study in Xi'an, China. *Sustainability* 2021;13:1870. <https://doi.org/10.3390/su13041870>.
- [16] Nie Z, Chan KKY, Xu B. Preliminary Evaluation of the Consistency of Landsat 8 and Sentinel-2 Time Series Products in An Urban Area—An Example in Beijing, China. *Remote Sens* 2019;11:2957. <https://doi.org/10.3390/rs11242957>.
- [17] Khan A, Chatterjee S, Akbari H, Bhatti SS, Dinda A, Mitra C, et al. Step-wise Land-class Elimination Approach for Extracting Mixed-type Built-up Areas of Kolkata Megacity. *Geocarto Int* 2019;34:504–27. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1408704>.
- [18] Chandra Vaddiraju S, Bhavana K, Shaik A, Akhila R, Sreeja K. Extraction of Waterbodies using Support Vector Machine and Spectral Indices. *Ecol Environ Conserv* 2022;886–90. <https://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i02.046>.
- [19] Szabó S, Gács Z, Balázs B. Specific Features of NDVI, NDWI and MNDWI as Reflected in Land Cover Categories. *Landsc Environ* 2016;10:194–202. <https://doi.org/10.21120/LE/10/3-4/13>.
- [20] Ruslisan R, Zahira FS, Dharmasanti R. Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Terbangun Terhadap Kesesuaian Rancangan Tata Ruang Wilayah Menggunakan Regresi Logistic Binner Berdasar Data Spasial dan Penginderaan Jauh di Kota Semarang. *CoUSD Proc.*, Semarang: 2015, p. 51–67.
- [21] Mohamed MA. Monitoring of Temporal and Spatial Changes of Land Use and Land Cover in Metropolitan Regions through Remote Sensing and GIS. *Nat Resour* 2017;08:353–69. <https://doi.org/10.4236/nr.2017.85022>.
- [22] Hakiki PN, Yudoyono A, Akil A. Perkembangan Urban Sprawl Kota Makassar Tahun 2008-2018. *J Wil Kota Marit (Journal Reg Marit City Stud* 2019;7:350–60.
- [23] Leishman C, Liang W, Sim N. The Impact of Urban Population on Housing Cost: the Case of Australia. *Npj Urban Sustain* 2023;3:57. <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00136-7>.
- [24] Badan Pusat Statistik Kota Makassar. Makassar Dalam Angka 2011. Makassar: 2012.
- [25] Badan Pusat Statistik Kota Makassar. Kota Makassar Dalam Angka 2021. Makassar: 2022.

- [26] Fath MA. Pengaruh Kualitas Udara dan Kondisi Iklim terhadap Perekonomian Masyarakat (Literature Review). *Media Gizi Kesmas* 2021;10:329. <https://doi.org/10.20473/mgk.v10i2.2021.329-342>.
- [27] Kondratyeva A, Knapp S, Durka W, Kühn I, Vallet J, Machon N, et al. Urbanization Effects on Biodiversity Revealed by a Two-Scale Analysis of Species Functional Uniqueness vs. Redundancy. *Front Ecol Evol* 2020;8:1–16. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00073>.
- [28] Rakhim A, Rumata NA, Damayanti R. Identification of Land Change in Makassar City. *Am J Eng Res* 2023;12:167–75.
- [29] Ashari AF. Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan Serta Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya (Studi Kasus Kota Makassar 2011-2019): Spatial Analysis of Land Use Changes and The Affecting Factors (Case Study of Makassar City 2011-2019). *J Ecosolum* 2021;10:70–81.