



TREN SPASIAL-TEMPORAL AREA TERBANGUN DI KOTA PALU TAHUN (1975-2020)

SPATIO-TEMPORAL TREND ANALYSIS OF BUILT-UP AREA EXPANSION IN PALU CITY (1975-2020)

Yunifar Susanto D. Madusila^{1*}, Iwan Alim Saputra², Rendra Zainal Maliki²

¹Program Studi Magister Penginderaan Jauh, Universitas Gadjah Mada; D. I. Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Tadulako; Palu, Indonesia

*Korespondensi: yunifarsusantodmadusila2001@mail.ugm.ac.id

Info Artikel:

• Artikel Masuk: 07/11/2026

• Artikel diterima: 30/06/2026

• Tersedia Online: 30/06/2026

ABSTRAK

Perkembangan pada kawasan perkotaan mengalami peningkatan pesat terutama di negara berkembang, seperti Indonesia, yang telah mendorong perluasan dari area terbangun secara signifikan. Faktor utamanya didorong oleh peningkatan jumlah penduduk yang menyebabkan permintaan lahan terbangun meningkat, keterbatasan lahan di pusat kota memicu ekspansi ke pinggiran wilayah kota, dan mengorbankan ruang hijau dan lahan produktif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dari dinamika perubahan area terbangun di Kota Palu berbasis spasial-temporal dari tahun 1975 sampai 2020, menghitung laju pertumbuhan, dan mengevaluasi tren pertumbuhan berbasis analisis regresi linear. Data yang digunakan berasal dari dataset GHSL: Build-up-Surface 1975-2030 (P2023A) dengan resolusi spasial 100 m. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan luas area terbangun yang konsisten dari 83,51 km² pada tahun 1975 yang kemudian menjadi 109,73 km² pada tahun 2020, dengan Compound Annual Growth Rate (CAGR) 0,61% per tahun yang termasuk dalam kategori moderat. Pertumbuhan tertinggi pada awal periode 1985-1990 diduga berkaitan dengan program transmigrasi nasional pada era pemerintahan saat itu, dan pertumbuhan melambat pada periode 2015-2020 yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi dan pandemi Covid-19. Model regresi menunjukkan tren pertumbuhan linear dengan koefisien 0,089 km²/tahun dan nilai R² sebesar 0,8977, serta memproyeksikan luas area terbangun sampai tahun 2050 mencapai 128 km². Temuan tersebut menunjukkan pentingnya kebijakan tata ruang yang berkelanjutan dan adaptif untuk mengelola ekspansi perkotaan, terutama pada wilayah yang memiliki keterbatasan fisik seperti Kota Palu, serta menjaga keseimbangan antara pembangunan dan lingkungan perkotaan.

Kata kunci: Analisis spasial-temporal, Area terbangun, Perluasan kawasan terbangun, Dataset GHSL, Kota Palu

ABSTRACT

Urban areas have experienced rapid growth, particularly in developing countries such as Indonesia, leading to a significant expansion of built-up areas. This phenomenon is primarily driven by population growth, which increases the demand for developed land, while limited land availability in city centers encourages urban expansion toward peripheral areas, often at the expense of green spaces and productive land. This study aims to analyze the spatio-temporal dynamics of built-up area change in Palu City from 1975 to 2020, calculate its growth rate, and evaluate long-term growth trends using linear regression analysis. The study utilizes the GHSL Built-up Surface 1975-2030 (P2023A) dataset with a spatial resolution of 100 m. The results indicate a consistent increase in built-up area from 83.51 km² in 1975 to 109.73 km² in 2020, with a Compound Annual Growth Rate (CAGR) of 0.61% per year, which can be classified as moderate growth. The highest growth rate occurred during the 1985-1990 period and was likely associated with the national transmigration program implemented during that era, while growth slowed during 2015-2020 due to the impacts of the 2018 earthquake and the COVID-19 pandemic. The linear regression model revealed a positive growth trend with a coefficient of 0.089 km² per year and an R² value of 0.8977, projecting the built-up area to reach 128 km² by 2050. These findings highlight the importance of sustainable and adaptive spatial planning policies to manage urban expansion, particularly in areas with physical constraints such as Palu City, while maintaining a balance between urban development and environmental sustainability.

Keywords: Spatio-temporal analysis, Urban expansion, Built-up area, GHSL Dataset, Palu City

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, dunia mengalami perluasan perkotaan yang pesat, terutama diakibatkan oleh laju urbanisasi yang mengakibatkan pergeseran populasi dari daerah pedesaan ke daerah perkotaan (Chaolin, 2020). Lebih dari separuh penduduk dunia kini tinggal di wilayah perkotaan, terutama di benua Asia dan Afrika, dan diproyeksikan terus meningkat hingga mencapai sekitar 68% pada tahun 2050 (United Nations et al., 2019). Urbanisasi menyebabkan perluasan area terbangun (*built-up area*) secara signifikan, terutama pada negara berkembang seperti Indonesia (Pravitasari et al., 2024), faktor utamanya adalah lonjakan jumlah penduduk kota menyebabkan permintaan lahan terbangun meningkat, pertumbuhan ekonomi, dan juga keterbatasan lahan di pusat kota yang memaksa ekspansi ke pinggiran kota, yang sering kali mengorbankan lahan produktif dan ruang hijau (Deb et al., 2025; Seto et al., 2011). Fenomena ini menjadi sangat penting untuk dikaji, karena dampaknya pada perencanaan tata ruang, lingkungan, dan keberlanjutan kota.

Pertumbuhan spasial perkotaan merupakan proses ekspansi fisik kota yang di mana ditandai dengan bertambahnya luas kawasan terbangun sebagai respons bertambahnya jumlah penduduk, aktivitas ekonomi, dan pembangunan infrastruktur (Fenta et al., 2017; Khan et al., 2025). Penelitian ini menggunakan istilah area terbangun (*built-up area*) yang merujuk pada permukaan bumi yang ditutupi struktur fisik hasil aktivitas manusia, seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur yang fokus pada elemen fisik di permukaan (Kebede et al., 2022). Dalam kajian perkotaan, area terbangun sering kali digunakan sebagai indikator fisik urbanisasi karena dapat merepresentasikan transformasi ruang dari lahan non-terbangun menjadi area lahan terbangun yang didominasi oleh aktivitas manusia (Asabere et al., 2020; X. Zhang et al., 2022). Oleh karena itu, analisis kecenderungan pertumbuhan kawasan terbangun tidak hanya digunakan dalam mengukur perkembangan fisik kota, namun juga untuk memahami pola ekspansi perkotaan, efisiensi pemanfaatan lahan, dan implikasinya terhadap lingkungan dan tata ruang.

Kota Palu, sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Tengah, sejak dibentuk tanggal 27 September 1978 telah mengalami lonjakan pertumbuhan penduduk dan ekspansi area terbangun, yang berdampak pada perubahan struktur lanskap dan tata ruang kota (Nahumury, 2025). Berdasarkan data hasil sensus penduduk Kota Palu tahun 2020, jumlah penduduk mencapai 373.218 jiwa, jika di total dari data sensus sebelumnya tahun 2000, dan 2010, Kota Palu mengalami peningkatan penduduk dalam kurun waktu 20 tahun sebesar 38,70% (BPS Kota Palu, 2021). Angka peningkatan tersebut menunjukkan adanya perkembangan dinamika sosial dan ekonomi di Kota Palu, yang berbanding lurus dengan kebutuhan area terbangun untuk membangun rumah, infrastruktur, industri dan layanan publik (Jing et al., 2025). Dinamika ini memunculkan tantangan baru, seperti alih fungsi lahan yang tidak terkontrol (*urban sprawl*) (Saputra et al., 2019), peningkatan risiko banjir (Achsani et al., 2023), dan tekanan terhadap ruang terbuka hijau (Wahid et al., 2021).

Berbagai penelitian telah banyak mengkaji dinamika dari pertumbuhan kawasan terbangun dan perubahan penggunaan lahan pada berbagai wilayah dan skala kajian (Santillan & Heipke, 2023; Wu et al., 2024). Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis perubahan dalam rentang waktu yang relatif pendek serta menggunakan data dari berbagai sumber yang berpotensi menimbulkan tidak konsistensi data temporal (Mas et al., 2019; Woodcock et al., 2020). Sementara itu, penelitian mengenai perubahan penggunaan lahan dan area terbangun di Kota Palu juga masih terbatas pada skala lokal dan fokus pada perubahan tutupan lahan pasca bencana (Schiavina et al., 2019; Wirawan et al., 2021). Kajian yang mengkhususkan dalam mengevaluasi kecenderungan perubahan area terbangun dalam jangka panjang menggunakan dataset yang konsisten secara spasial dan temporal masih terbatas. Padahal, informasi mengenai tren historis pertumbuhan area terbangun sangat penting dalam memahami arah perkembangan kota, dan mendukung penyusunan kebijakan tata ruang yang berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mampu menganalisis tren perubahan area terbangun secara spasial-temporal dalam periode yang panjang untuk menyediakan informasi dasar yang lebih komprehensif bagi perencanaan dan pengelolaan wilayah perkotaan.

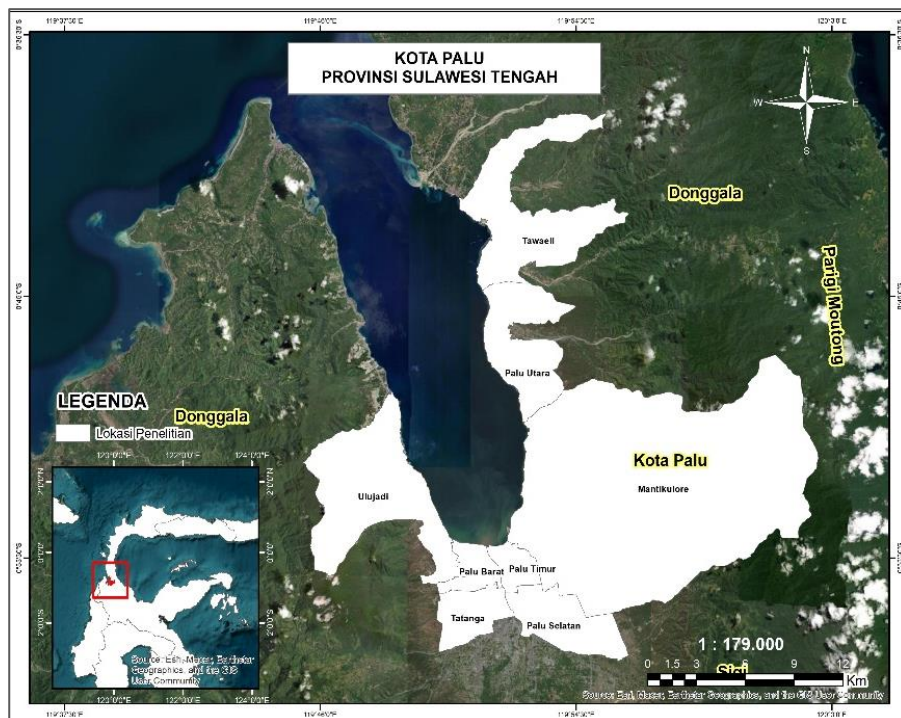
Analisis kecenderungan pertumbuhan kawasan area terbangun umumnya dilakukan menggunakan pendekatan spasial-temporal berbasis penginderaan jauh dengan membandingkan kondisi kawasan

terbangun pada berbagai periode tertentu (A. Zhang et al., 2025). Pendekatan ini memungkinkan untuk mengidentifikasi pola ekspansi, laju pertumbuhan, dan evaluasi kecenderungan perubahan dalam jangka panjang. Namun, ketersediaan data historis penginderaan jauh konvensional sering kali terbatas, belum lagi memerlukan proses yang kompleks, seperti koreksi citra, klasifikasi, harmonisasi sensor dan transformasi lanjutan yang memakan waktu dan membutuhkan keahlian teknis (Herold et al., 2002; Xu & Zheng, 2024). Data GHSL telah banyak digunakan dalam studi pertumbuhan perkotaan pada berbagai skala karena kemampuannya menyediakan area terbangun yang konsisten secara temporal dan spasial sehingga memungkinkan analisis tren jangka panjang (Santillan & Heipke, 2024; Schiavina et al., 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini kami menggunakan dataset GHSL : *Build-up-Surface 1975-2030* (P2023A) yang dapat menjadi pilihan alternatif, dengan resolusi spasial 100 meter dan ketersediaan data lengkap per lima tahun dari tahun 1975 sampai 2020, yang dinilai cocok untuk kajian-kajian perubahan perkotaan yang tidak terlalu membutuhkan detail objek (Corbane et al., 2019; Ehrlich et al., 2021; Melchiorri et al., 2019), sehingga dataset ini dinilai cocok digunakan untuk analisis jangka panjang yang lebih efisien dan konsisten dalam mengamati tren perubahan area terbangun di Kota Palu.

Dengan melihat persoalan dinamika perkotaan di Kota Palu dan adanya ketersediaan data yang memadai untuk menganalisis dinamika tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan bertujuan untuk (1) menganalisis perubahan spasial-temporal area terbangun per lima tahun dari tahun 1975-2020, (2) menghitung laju pertumbuhan area terbangun secara tahunan sebagai indikator intensitas ekspansi wilayah terbangun, dan (3) mengevaluasi kecenderungan perubahan tersebut melalui analisis regresi linear untuk melihat hubungan waktu terhadap luas area terbangun secara statistik. Rangkaian dari analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola pertumbuhan kota dan implikasinya terhadap perencanaan wilayah yang tanggap terhadap perubahan dan berkelanjutan.

2. DATA DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian



Sumber: Analisis, 2025
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah dengan luas 395,1 km², yang berbatasan dengan Kabupaten Donggala di barat dan utara, Kabupaten Sigi di selatan, dan Kabupaten Parigi Moutong di timur. Wilayah ini dipilih karena Kota Palu merupakan kasus kota yang menarik dikaji dalam kajian pertumbuhan perkotaan karena perkembangan pada kawasan lembah yang diapit oleh pegunungan dan teluk sehingga memiliki keterbatasan ruang dalam perluasan area terbangun perkotaan. Sebagai pusat pemerintahan dan kegiatan ekonomi di Sulawesi Tengah, Kota Palu telah mengalami tekanan pembangunan yang tinggi setelah terjadinya bencana gempa bumi, tsunami, dan likuefaksi 2018 yang juga turut mempengaruhi dinamika perkembangan kawasan perkotaan (Erwindy et al., 2021; Jossi et al., 2021; Utami et al., 2021)

2.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan dataset GHSL: *Build-up-Surface 1975-2030 (P2023A)*, yang disusun oleh Joint Reseach Centre (JRC) - European Commission per lima tahun dari tahun 1975 - 2020. Dataset ini berasal dari hasil komposit citra satelit multitemporal landsat dan sentinel-2 yang telah diproses menjadi resolusi spasial 100 m² agar efisien secara komputasi dan tetap akurat untuk analisis spasial pada skala regional hingga perkotaan (Pesaresi & Politis, 2023). Dataset ini memiliki dua band yaitu *build_surface* dan *build_surface_nres*. Band *build_surface* digunakan dalam penelitian ini karena lebih representatif untuk menggambarkan intensitas area terbangun secara keseluruhan di kawasan perkotaan. Spesifikasi dataset dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Band Dataset GHSL: *Global Built-Up Surface (P2023A)*

Nama Band	Satuan	Ukuran Piksel	Periode Data	Deskripsi
built_surface	m ²	100 m	1975–2030	Luas permukaan terbangun per piksel (bangunan dan infrastruktur).
built_surface_nres	m ²	100 m	1975–2030	Luas permukaan terbangun non-permukiman per piksel.

Sumber: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JRC_GHSL_P2023A_GHS_BUILT_S

2.3. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data penelitian ini seluruh prosesnya dilakukan menggunakan *Google Colab* yang telah terintegrasi dengan *Google Earth Engine (GEE)* API, serta menggunakan pustaka *Python* untuk pengolahan dan visualisasi data. Penelitian ini menggunakan pendekatan spasial-temporal untuk memahami suatu dinamika fenomena atau proses perubahan dari waktu ke waktu, sehingga analisis tidak hanya melihat di mana sesuatu terjadi, tetapi juga kapan dan bagaimana perubahannya berlangsung secara bersamaan (Yao et al., 2019). Pendekatan statistik juga digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi dinamika, laju, dan kecenderungan dari perubahan area terbangun.

2.3.1. Klasifikasi Citra

Dataset GHSL diklasifikasikan secara biner menjadi dua kelas, yaitu area terbangun nilai > 0, dan non-terbangun nilai 0, menggunakan fungsi logika *greater that (gt)* pada *Google Earth Engine*. Proses klasifikasi dilakukan setiap tahun pengamatan dengan memotong citra berdasarkan *Region of Interest (ROI)* Administrasi Kota Palu yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Hasil klasifikasi divisualisasikan dalam bentuk peta temporal untuk tiap tahun menggunakan pustaka *geemap* dan *imageio*.

2.3.2. Perhitungan Luas Area Terbangun

Nilai piksel hasil klasifikasi area terbangun dihitung dengan menjumlahkan piksel bernilai 1 di dalam area kajian. Jumlah piksel tersebut kemudian dikonversi ke satuan km² dengan persamaan :

$$A = N \times R \tag{1}$$

Luas area terbangun (A) diperoleh dari hasil perkalian antara jumlah piksel terbangun (N) dengan luas satu piksel (R). Setiap piksel mewakili area seluas 0,01 km² karena ukuran resolusi spasial dataset GHSL 100 x 100 m. Dengan demikian, total luas area terbangun dihitung dari akumulasi seluruh piksel bernilai 1 atau terbangun dikalikan dengan luas area yang di wakili oleh setiap piksel.

2.3.3. Perhitungan Laju Pertumbuhan Area Terbangun (*Growth Rate*)

Laju pertumbuhan area terbangun dihitung menggunakan perbandingan antara perubahan luas area terbangun pada tahun pengamatan tertentu dengan luas area terbangun pada tahun sebelumnya, yang kemudian dikalikan seratus persen (Chen, 2023).

$$GR = \frac{A_t - A_{t-1}}{A_{t-1}} \times 100\% \tag{2}$$

Dalam persamaan tersebut, A_t merupakan luas area terbangun pada tahun ke-t atau periode saat ini, sedangkan A_{t-1} adalah luas area terbangun pada tahun sebelumnya, selisih antara keduanya akan menunjukkan perubahan atau pertambahan luas area terbangun antar periode, dan pembagiannya A_{t-1} menggambarkan perbandingan peningkatan terhadap luas sebelumnya. Hasil akhirnya dinyatakan dalam satuan persen, yang menggambarkan pertumbuhan area terbangun dalam satu periode pengamatan, dalam penelitian ini perlima tahun.

2.3.4. Pertumbuhan Rata-Rata Tahunan (*Compound Annual Growth Rate*)

Compound Annual Growth Rate (CAGR) digunakan untuk menggambarkan rata-rata pertumbuhan area terbangun per tahunnya (Sarkar & Lakshmana, 2024), yang memberikan gambaran umum mengenai kecepatan ekspansi area terbangun per tahun selama periode 1975-2020 secara keseluruhan.

$$CAGR = \left(\frac{A_n}{A_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \tag{3}$$

Luas area terbangun pada tahun awal pengamatan A₀, luas area terbangun pada tahun akhir pengamatan A_n, dan n merupakan jumlah tahunan antar kedua periode. Nilai perbandingan A_n dan A₀ menunjukkan rasio perubahan total antara tahun antara tahun awal dan akhir, sedangkan eksponen dari 1 banding n mengkonversi perubahan tersebut menjadi rata-rata tahun. Hasil akhir dikalikan 100% untuk mendapatkan persentase perubahan rata-rata. Karena tidak ada standar klasifikasi baku yang menggambarkan standar klasifikasi persentase CAGR, maka kami membuat klasifikasi secara mandiri pada Tabel 2, berdasarkan pada pendekatan dari studi pertumbuhan ekonomi dan ekspansi perkotaan (Al-Karkhi, 2024; Prasertsoong & Puttanapong, 2024).

Tabel 2. Klasifikasi Kategori Pertumbuhan (CAGR)

Kategori Pertumbuhan	Rentang	Interpretasi Umum
Rendah / Lambat	< 0.5%	Pertumbuhan sangat lambat atau stagnan
Moderat	0.5% – 1.0%	Pertumbuhan stabil dan terkendali
Cepat	1.0% – 2.0%	Ekspansi perkotaan signifikan
Sangat Cepat	> 2.0%	Ekspansi tinggi, indikasi urban sprawl atau pembangunan intensif

Sumber: Anallisis, 2025

2.3.5. Perhitungan Regresi Linear Sederhana

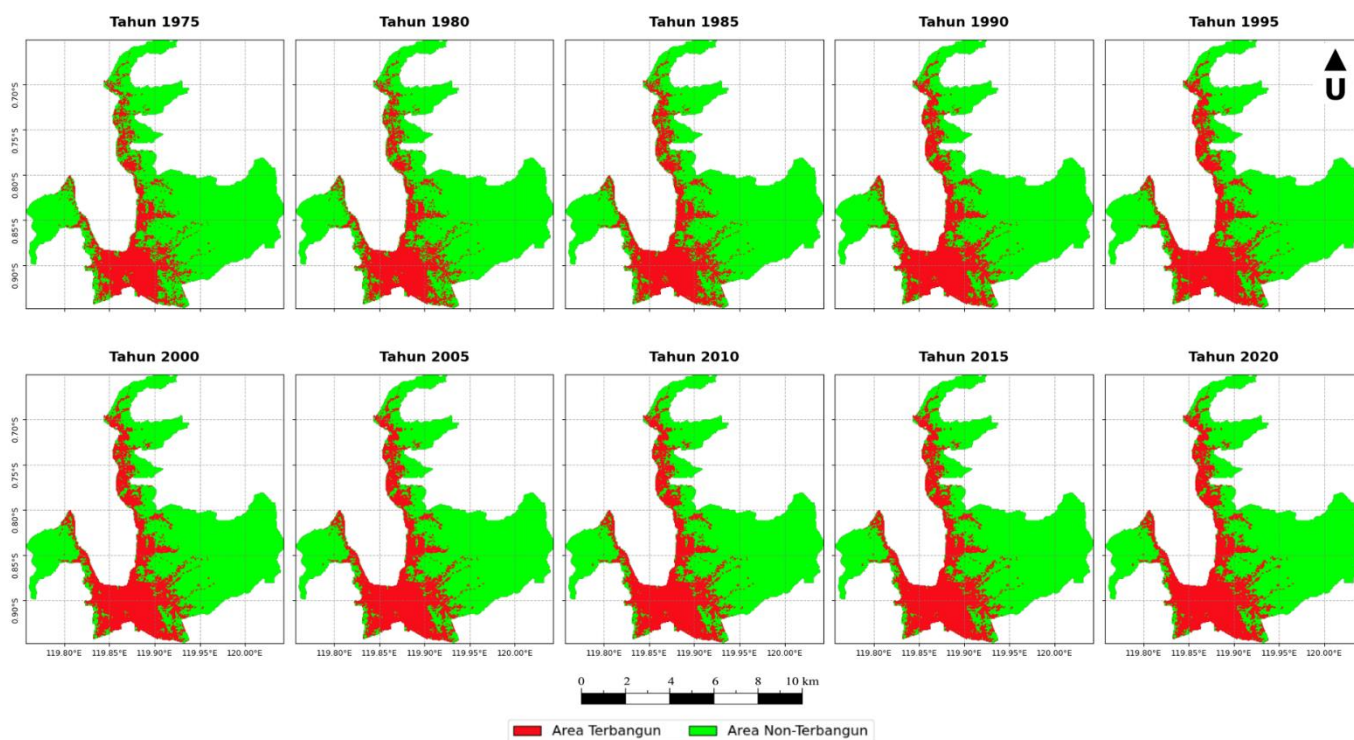
Model regresi linear sederhana digunakan untuk melihat hubungan antara waktu dan luas area terbangun untuk memprediksi tren pertumbuhan dimasa mendatang (Cherry et al., 2019). Model ini dinyatakan dengan persamaan :

$$Y = a + bX \quad (4)$$

Variabel terkait Y yang merepresentasikan luas area terbangun dalam satuan km², sedangkan variabel bebas X adalah waktu atau tahun pengamatan. Nilai *a* merupakan konstanta yang menunjukkan perkiraan luas area terbangun, dan nilai *b* adalah koefisien regresi yang menunjukkan rata-rata perubahan luas area terbangun setiap tahun. Hubungan antara dua variable dinilai menggunakan koefisien determinasi R², yang menunjukkan seberapa besar variasi perubahan luas area terbangun dapat dijelaskan oleh waktu. Semakin mendekati 1 nilai R², maka semakin kuat hubungan linear antara waktu dan pertumbuhan area terbangun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis perubahan spasial-temporal

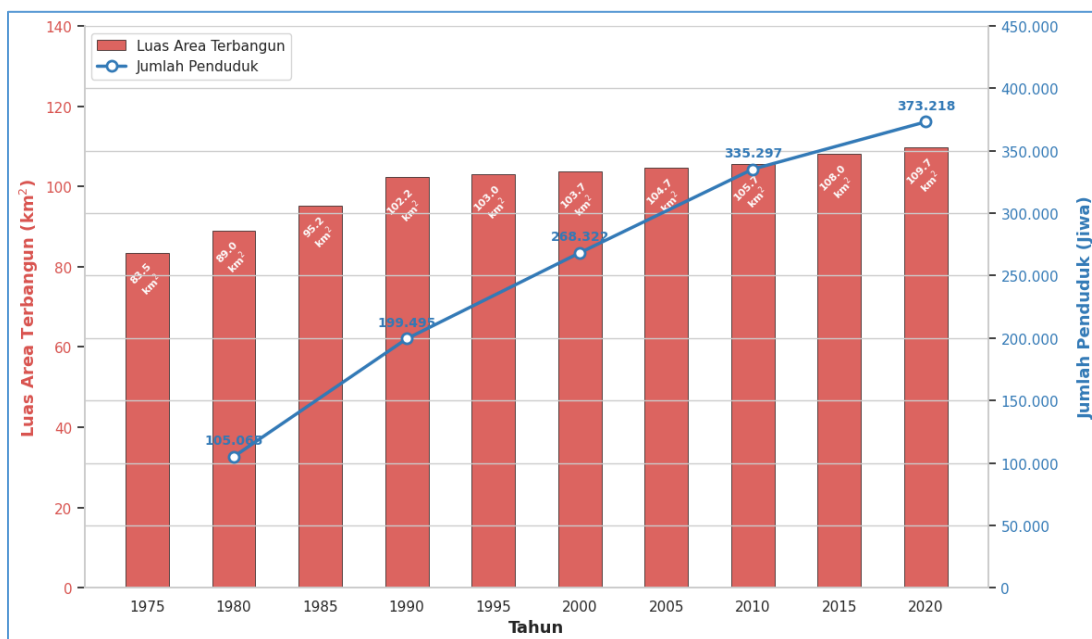


Sumber: Analisis, 2025

Gambar 2. Perubahan Spasial-Temporal Area Terbangun Kota Palu dari Tahun 1975-2020

Setelah dilakukan analisis dan klasifikasi berdasarkan dua kategori utama, yaitu lahan area terbangun dan non-terbangun, hasil analisis spasial-temporal menunjukkan pertambahan jumlah piksel area terbangun terus meningkat dari tahun 1975 sampai 2020 pada interval lima tahun, lihat Gambar 2 dan Tabel 2. Hasil analisis ini merepresentasikan ekspansi kawasan area terbangun secara bertahap di seluruh Kota Palu, yang menandakan bahwa proses urbanisasi di Kota Palu berlangsung secara konsisten dan meluas dari waktu ke waktu. Pada awal periode, area terbangun masih terkonsentrasi di sekitar pusat Kota dan Palu dan kawasan pesisir Teluk Palu. Seiring waktu, area terbangun terus berkembang mengikuti wilayah dataran lembah Palu dan meluas ke beberapa kawasan kaki perbukitan di bagian barat dan timur kota. Pola ini menunjukkan bahwa perkembangan fisik Kota Palu di pengaruhi oleh kondisi morfologi wilayah yang didominasi oleh

lembah memanjang dengan perbukitan di sisi timur dan barat (Patria & Putra, 2020). Meskipun ekspansi kawasan pada beberapa area pada topografi yang lebih tinggi, perkembangan tersebut cenderung terkonsentrasi pada wilayah dengan kemiringan lahan yang relatif landai dan memiliki aksesibilitas yang baik untuk pembangunan permukiman dan infrastruktur (Huang, 2017; Ilies et al., 2019; Zhou et al., 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan spasial area terbangun di Kota Palu tidak hanya sekedar proses urbanisasi, tetapi juga menunjukkan perkembangan kota terhadap karakteristik fisik wilayahnya, sebagaimana dijelaskan oleh (Zhou et al., 2025), bahwa kondisi topografi merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi arah pertumbuhan kawasan perkotaan.



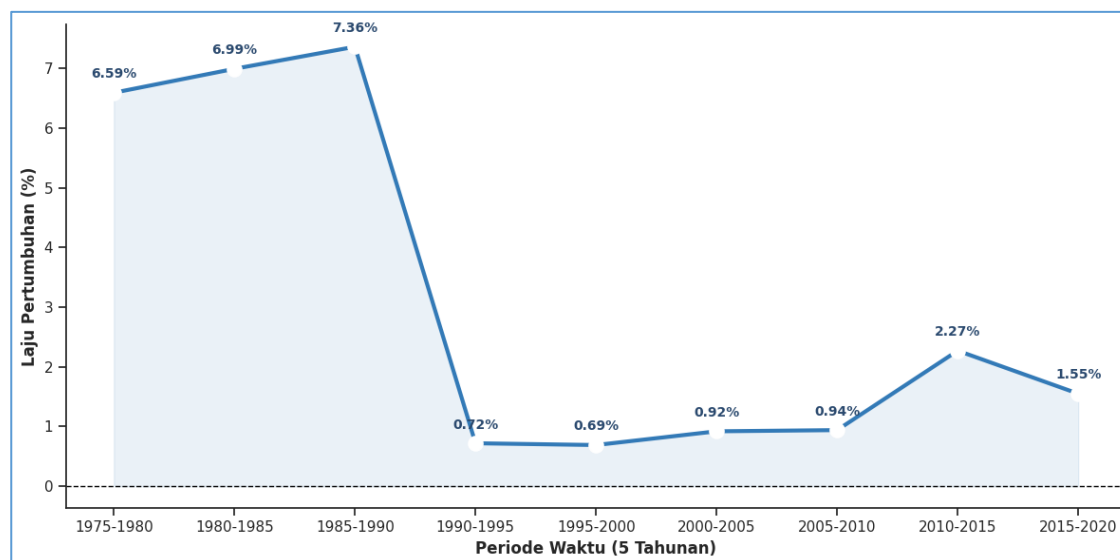
Sumber: Data BPS Kota Palu

Gambar 3. Perubahan luas area terbangun dan pertumbuhan penduduk di Kota Palu 1975-2020

Tren dinamika perkotaan di Kota Palu selama periode 1975-2020 menunjukkan peningkatan luas area terbangun yang relatif konsisten, lihat Gambar 3. Peningkatan tersebut mencerminkan adanya proses urbanisasi dan ekspansi fisik kota yang berlangsung seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, yang meningkat dari 105.000 jiwa tahun 1980 menjadi 372.212 jiwa pada tahun 2020 (BPS Kota Palu, 2021). Bertambahnya luasan area terbangun tidak selalu linear dengan jumlah penduduk, karena area terbangun di representasikan oleh dataset GHSL tidak hanya bangunan hunian, tetapi juga infrastruktur perkotaan lainnya, seperti jalan, pabrik, kawasan perdagangan, industri dan layanan publik (Schiavina et al., 2022). Oleh karena itu, hubungan antara pertumbuhan penduduk dan luas area terbangun tidak selalu bersifat linear, meskipun keduanya tetap menjadi faktor penting yang mendorong perkembangan perkotaan (Shahfahad et al., 2021). Selain itu, jika kita bandingkan secara proporsional, adanya peningkatan jumlah penduduk jauh lebih besar dibandingkan pertambahan luas area terbangun. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perkembangan Kota Palu selama periode pengamatan tidak sepenuhnya didominasi oleh ekspansi spasial ke wilayah baru, tetapi juga melalui adanya pemadatan aktivitas dan pemanfaatan ruang pada kawasan yang telah terbangun. Pola tersebut berbeda dengan karakteristik dari *urban sprawl* yang umumnya ditandai dengan pertumbuhan area terbangun yang lebih cepat dibandingkan pertumbuhan penduduk (Hanberry, 2023). Temuan ini mengindikasikan bahwa adanya peningkatan kebutuhan ruang akibat pertumbuhan penduduk tidak selalu direspons melalui perluasan kawasan terbangun secara proporsional. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kecenderungan pemanfaatan ruang lebih intensif pada kawasan yang telah berkembang, sehingga perkembangan fisik kota berlangsung secara bertahap tanpa menunjukkan gejala adanya indikasi *urban*

sprawl yang dominan selama periode pengamatan.

3.2. Laju dan Rata-rata pertumbuhan Tahunan

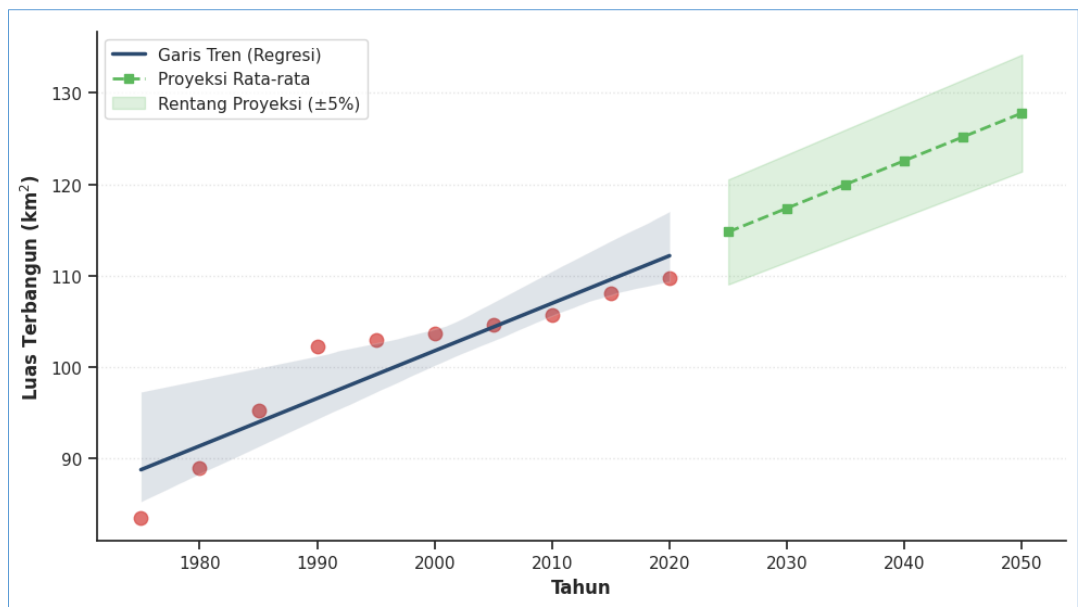


Sumber: Analisis, 2025

Gambar 4. Laju pertumbuhan area terbangun Kota Palu dari tahun 1975-2020

Berdasarkan hasil analisis dari grafik Gambar 4, terlihat laju pertumbuhan area terbangun di Kota Palu telah mengalami lonjakan tinggi terutama periode tahun 1985-1990, yang mencapai lebih dari 6% sebelum kemudian menurun secara signifikan pada periode 1990-1995 dan cenderung stabil rendah sampai 2020. Jika kita kaitkan dalam konteks sejarah demografi Indonesia, maka pertumbuhan tinggi pada awal periode diduga diakibatkan program transmigrasi besar-besaran presiden Soeharto tahun 1970-an sampai 1980-an, yang memindahkan ratusan ribu bahkan jutaan populasi orang dari Pulau Jawa ke luar Jawa, termasuk Kota Palu (Tirtosudarmo, 2007). Kebijakan program transmigrasi tersebut mendorong ekspansi perkotaan peningkatan area terbangun baru, seperti perumahan, infrastruktur, industri dan layanan publik (Ferenanda et al., 2023). Setelah periode tahun 1990-1995 laju pertumbuhan terlihat melambat yang mencerminkan fase dari konsolidasi kota yang fokus terhadap penataan wilayah yang sudah ada, tidak untuk memperluas ke wilayah baru (McCrea & Walters, 2012). Tahun 2020 merupakan pasca bencana gempa bumi yang terjadi pada tahun 2018, yang menyebabkan perubahan struktur perkotaan dan memicu pembangunan infrastruktur kembali. Namun, terlihat peningkatan area terbangun tidak terlalu tinggi, dikarenakan proses pemulihan masih berlangsung dan bersamaan dengan tahun pandemik Covid-19 yang menyebabkan aktivitas pembangunan melambat dan fokus lebih banyak diarahkan pada pemulihan sosial dan ekonomi (Bereitschaft & Scheller, 2020). Secara keseluruhan berdasarkan hasil dari perhitungan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR), tingkat pertumbuhan rata-rata tahunan area terbangun di Kota Palu selama periode 1975-2020 mencapai 0.61% per tahun, yang dikategorikan sebagai pertumbuhan moderat. Temuan ini menunjukkan bahwa dinamika pertumbuhan area terbangun di Kota Palu tidak hanya di pengaruhi oleh faktor internal berupa kebutuhan ruang akibat pertumbuhan penduduk, tetapi juga di pengaruhi oleh faktor eksternal seperti kebijakan pembangunan dan kejadian bencana. Program transmigrasi pada periode awal pengamatan berperan sebagai pendorong percepatan ekspansi kawasan terbangun, sedangkan gempa bumi dan pandemi cenderung memperlambat laju pertumbuhan pada periode akhir. Meskipun demikian, perubahan tersebut lebih memengaruhi intensitas pertumbuhan pada periode tertentu daripada mengubah arah perkembangan kawasan terbangun secara keseluruhan.

3.3. Evaluasi kecenderungan perubahan area terbangun



Sumber: Analisis, 2025

Gambar 5. Hasil regresi linear area terbangun vs waktu dengan ekstrapolasi

Berdasarkan hasil grafik Gambar 5 regresi linear antara luas area terbangun dan waktu, maka diperoleh koefisien regresi sebesar 0,0896 km²/tahun dengan nilai R² sebesar 0,8977. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 89,77% variasi perubahan luas area terbangun dapat dijelaskan oleh faktor waktu, yang menunjukkan adanya kecenderungan pertumbuhan yang relatif konsisten selama periode pengamatan. Meskipun terdapat adanya fluktuasi pertumbuhan yang dipengaruhi oleh berbagai peristiwa, seperti program transmigrasi pada periode awal pembangunan serta bencana gempa bumi tahun 2018 dan pandemi COVID-19 pada periode akhir pengamatan, nilai R² yang tinggi menunjukkan adanya perkembangan kawasan terbangun di Kota Palu secara keseluruhan tetap didominasi oleh proses urbanisasi jangka panjang. Temuan ini menunjukkan bahwa perkembangan kawasan area terbangun di Kota Palu lebih didominasi oleh proses urbanisasi jangka panjang dibandingkan oleh perubahan yang bersifat temporer. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa pertumbuhan area terbangun pada kota berkembang umumnya mengikuti pola peningkatan yang stabil seiring bertambahnya kebutuhan ruang dan juga aktivitas perkotaan (Sun et al., 2020; Wei et al., 2023). Namun, dibandingkan dengan kota-kota besar lainnya di Indonesia yang mengalami *urban sprawl* secara cepat seperti Jakarta (Sarker et al., 2024), Semarang (Khoirunisa & Yuwono, 2023), dan Lampung (Ansar & Vries, 2024), pertumbuhan area terbangun di Kota Palu cenderung berlangsung lebih moderat dengan nilai CAGR sebesar 0.61% per tahun. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik fisik Kota Palu yang berkembang pada wilayah lembah dan kaki perbukitan, sehingga ekspansi kawasan terbangun relatif terbatas. Oleh karena itu, meskipun model menunjukkan luas area terbangun diproyeksikan terus meningkat 128 km² sampai tahun 2050, arah pertumbuhan kota diperkirakan akan tetap mengikuti pola perkembangan bertahap dan terkonsentrasi pada kawasan yang telah berkembang sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis spasial-temporal, laju pertumbuhan, dan regresi linear terhadap area terbangun di Kota Palu dari tahun 1975 sampai 2020, dapat disimpulkan bahwa luas area terbangun di Kota Palu mengalami peningkatan secara konsisten selama periode pengamatan, meskipun mengalami fluktuasi pada periode tertentu, karena faktor kebijakan pemerintahan dan kebencanaan. Lonjakan pertumbuhan tertinggi terjadi pada tahun 1980-an, yang diduga karena faktor kebijakan program transmigrasi pada

pemerintahan era itu, sementara perlambatan pertumbuhan terlihat pasca bencana gempa Palu 2018 dan pandemi Covid-19. Secara statistik, tingkat pertumbuhan rata-rata tahunan area terbangun (CAGR) mencapai 0,61% per tahun, yang termasuk dalam kategori pertumbuhan moderat. Tren pertumbuhan area terbangun terlihat cenderung linear dengan nilai R^2 sebesar 0.8977 yang mengindikasikan bahwa perkembangan kawasan terbangun di Kota Palu lebih didominasi oleh proses urbanisasi jangka panjang dibandingkan oleh faktor-faktor temporer. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa area terbangun dapat digunakan sebagai indikator yang efektif dalam merepresentasikan dinamika pertumbuhan spasial perkotaan dalam jangka panjang, serta menunjukkan bahwa keterbatasan fisik wilayah dan gangguan kebencanaan tidak menghentikan ekspansi perkotaan, melainkan lebih memengaruhi laju dan dinamika pertumbuhannya. Oleh karena itu kedepannya dibutuhkan strategi tata ruang yang baik untuk mengendalikan ekspansi yang terus berlanjut, untuk menjaga keseimbangan antara pembangunan kota dan daya dukung dari lingkungannya. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan dataset GHSL mampu menyediakan informasi historis yang konsisten untuk memantau perkembangan kawasan terbangun dalam jangka panjang, sehingga berpotensi dalam mendukung proses perencanaan dan evaluasi pembangunan perkotaan berbasis data.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *European Commission, Joint Research Centre (JRC)* yang telah menyediakan data terbuka GHSL: *Global Human Settlement Layer (Built-Up Surface 1975–2030, P2023A)* sebagai sumber utama dalam penelitian ini.

6. REFERENSI

- Achsan, A. C., Rizkhi, & Sri Mulyati. (2023). Autokorelasi Spasial Kepadatan Bangunan dan Sebaran Genangan Banjir Kawasan Pesisir Kota Palu. *Jurnal Peweka Tadulako*, 2(2), 220–227. <https://doi.org/10.22487/peweka.v2i2.17>
- Al-Karkhi, M. I. (2024). Statistical Analysis and Open Innovation in Economic Growth of Scottish Business SMEs for Sustainable Development. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(2), 100275. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100275>
- Ansar, Z., & Vries, W. T. de. (2024). Urban Sprawl Symptoms in Bandar Lampung Suburban Area, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 11(2), 205–222. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.11.2.205-222>
- Asabere, S. B., Acheampong, R. A., Ashiagbor, G., Beckers, S. C., Keck, M., Erasmi, S., Schanze, J., & Sauer, D. (2020). Urbanization, land use transformation and spatio-environmental impacts: Analyses of trends and implications in major metropolitan regions of Ghana. *Land Use Policy*, 96, 104707. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104707>
- Bereitschaft, B., & Scheller, D. (2020). How Might the COVID-19 Pandemic Affect 21st Century Urban Design, Planning, and Development? *Urban Science*, 4(4), 56. <https://doi.org/10.3390/urbansci4040056>
- BPS Kota Palu. (2021). *Hasil Sensus Penduduk 2020 Kota Palu* (No. 07/01/72/Th. XXIV; Berita Resmi Statistik). Badan Pusat Statistik.
- Chaolin, G. (2020). Urbanization. In A. Kobayashi (Ed.), *International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition)* (pp. 141–153). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102295-5.10355-5>
- Chen, Y. (2023). Stage Division of Urban Growth Based on Logistic Model of Fractal Dimension Curves. *Results in Physics*, 53, 106940. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106940>
- Cherry, L., Mollendor, D., Eisenstein, B., Hogue, T. S., Peterman, K., & McCray, J. E. (2019). Predicting Parcel-Scale Redevelopment Using Linear and Logistic Regression—The Berkeley Neighborhood Denver, Colorado Case Study. *Sustainability*, 11(7), 1882. <https://doi.org/10.3390/su11071882>
- Corbane, C., Pesaresi, M., Kemper, T., Politis, P., Florczyk, A. J., Syrris, V., Melchiorri, M., Sabo, F., & Soille, P. (2019). Automated Global Delineation of Human Settlements from 40 Years of Landsat Satellite Data Archives. *Big Earth Data*, 3(2), 140–169. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1625528>
- Deb, P., Jha, R. K., Kumar, N., Kumar Vishal, M., Praise Shukla, D., Kalita, P. K., & Kanta Singh, L. (2025). Analyzing Land Use Land Cover Dynamics Under Rapid Urbanization Using Multi-temporal Satellite Imageries and Geospatial Technology for Jamshedpur City in India. *Advances in Space Research*, 75(3), 2810–2825. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.11.059>

- Ehrlich, D., Freire, S., Melchiorri, M., & Kemper, T. (2021). Open and Consistent Geospatial Data on Population Density, Built-Up and Settlements to Analyse Human Presence, Societal Impact and Sustainability: A Review of GHSL Applications. *Sustainability*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su13147851>
- Erwindy, J., Asdak, C., Suganda, B. R., & Hadian, M. S. D. (2021). *Integrated Assessment of Urban Land Carrying Capacity (ULCC) for Reducing Earthquake Risk Disaster in Palu City*. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-764274/v1>
- Fenta, A. A., Yasuda, H., Haregeweyn, N., Belay, A. S., Hadush, Z., Gebremedhin, M. A., & Mekonnen, G. (2017). The Dynamics of Urban Expansion and Land Use/land Cover Changes Using Remote Sensing and Spatial Metrics: The Case of Mekelle City of Northern Ethiopia. *International Journal of Remote Sensing*, 38(14), 4107–4129. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1317936>
- Ferenanda, M. S., Sumirat, A. G., Tyaningsih, S., Arfiani, F. R., & Rona, M. R. N. (2023). Analisis Yuridis Pada Dampak Program Transmigrasi Nasional Terhadap Kemajuan Sosial Ekonomi. *Jurnal Relasi Publik*, 1(4), 22–30. <https://doi.org/10.59581/jrp-widyakarya.v1i4.1790>
- Hanberry, B. B. (2023). Urban Land Expansion and Decreased Urban Sprawl at Global, National, and City Scales during 2000 to 2020. *Ecosystem Health and Sustainability*, 9, 0074. <https://doi.org/10.34133/ehs.0074>
- Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Describe Structures and Changes in Urban Land Uses. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 34(8), 1443–1458. <https://doi.org/10.1068/a3496>
- Huang, G. (2017). Modeling Urban Spatial Growth in Mountainous Regions of Western China. *Mountain Research and Development*, 37(3), 367–376. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00078.1>
- Ilies, N. M., Moldovan, I. M., & Moldovan, S. V. (2019). Geotechnical Behavior of Underground House Models. *Eur. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., ECSMGE - Proc. 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0814>
- Jing, D., Song, Q., Liu, H., Jiang, Z., He, X., Ge, C., & Li, D. (2025). Spatial-temporal Evolution of the Allometric Relationship Between Urban Economic and Health Resources in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *PLOS ONE*, 20(1), e0314315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314315>
- Jossi, E., Chay, A., Bombom, R., & Mohamad, S. (2021). Integrated Assessment of Urban Land Carrying Capacity (ULCC) for Reducing Earthquake Risk Disaster in Palu City. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*, 30(4), 525–536. <https://doi.org/10.22630/PNIKS.2021.30.4.44>
- Kebede, T. A., Hailu, B. T., & Suryabagavan, K. V. (2022). Evaluation of Spectral Built-Up Indices for Impervious Surface Extraction Using Sentinel-2A MSI imageries: A case of Addis Ababa city, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 8, 100568. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100568>
- Khan, D., Khan, N., Choudhury, U., Singh, S. K., Kanga, S., Kumar, P., & Meraj, G. (2025). Urban Expansion and Spatial Growth Patterns in Lucknow: Implications for Sustainable Development (1991–2021). *Sustainability*, 17(1), 227. <https://doi.org/10.3390/su17010227>
- Khoirunisa, R., & Yuwono, B. (2023). Urban Flood and Its Correlation with Built-up Area in Semarang, Indonesia. *Smart City*, 3(2). <https://doi.org/10.56940/sc.v3.i2.2>
- Mas, J.-F., Nogueira de Vasconcelos, R., & Franca-Rocha, W. (2019). Analysis of High Temporal Resolution Land Use/Land Cover Trajectories. *Land*, 8(2), 30. <https://doi.org/10.3390/land8020030>
- McCrea, R., & Walters, P. (2012). Impacts of Urban Consolidation on Urban Liveability: Comparing an Inner and Outer Suburb in Brisbane, Australia. *Housing, Theory and Society*, 29(2), 190–206. <https://doi.org/10.1080/14036096.2011.641261>
- Melchiorri, M., Pesaresi, M., Florczyk, A. J., Corbane, C., & Kemper, T. (2019). Principles and Applications of the Global Human Settlement Layer as Baseline for the Land Use Efficiency Indicator—SDG 11.3.1. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020096>
- Nahumury, A. J. (2025). Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Pasca Gempa Palu Berdasarkan Indeks Vegetasi dari Citra Satelit Landsat 8 Menggunakan Teknik Supervised Classification dalam Sistem Informasi Geografi. *Jurnal Sistem Informasi dan Sains Teknologi*.
- Patria, A., & Putra, P. S. (2020). Development of the Palu–Koro Fault in NW Palu Valley, Indonesia. *Geoscience Letters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-020-0150-2>
- Pesaresi, M., & Politis, P. (2023). GHS-BUILT-S R2023A - GHS Built-Up Surface Grid, Derived from Sentinel2 Composite and Landsat, Multitemporal (1975–2030). European Commission, Joint Research Centre. <https://doi.org/10.2905/9Fo6F36F-4B11-47EC-ABBo-4F8B7B1D72EA>
- Prasertsoong, N., & Puttanapong, N. (2024). Predicting Urban Land Expansion and Local Economic Growth by Integrating CLUE-S and Economic Model: An Application to Ban Chang District, Thailand. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s41651-024-00204-1>

- Pravitasari, A. E., Indraprahasta, G. S., Rustiadi, E., Rosandi, V. B., Stanny, Y. A., Wulandari, S., Priatama, R. A., & Murtadho, A. (2024). Dynamics and Predictions of Urban Expansion in Java, Indonesia: Continuity and Change in Mega-Urbanization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ijgi13030102>
- Santillan, J. R., & Heipke, C. (2023). Using GHSL to Analyze Urbanization and Land-Use Efficiency in the Philippines from 1975-2020: Trends and Implications for Sustainable Development. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 10(1-W1-2023), 413–422. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-413-2023>
- Santillan, J. R., & Heipke, C. (2024). Assessing Patterns and Trends in Urbanization and Land Use Efficiency Across the Philippines: A Comprehensive Analysis Using Global Earth Observation Data and SDG 11.3.1 Indicators. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 92(5), 569–592. <https://doi.org/10.1007/s41064-024-00305-y>
- Saputra, I., Rahmawati, & Listiqowati, I. (2019). Urban Sprawl In Palu City. *Tadulako Science and Technology Journal*, 1, 12–25.
- Sarkar, R., & Lakshmana, C. M. (2024). Measuring Urbanisation, Growth of Urban Agglomeration, Urban Growth Sustainability and Role of Urban Primacy in India. *Journal of Asian and African Studies*, 59(2), 377–390. <https://doi.org/10.1177/00219096221111360>
- Sarker, T., Fan, P., Messina, J. P., Mujahid, N., Aldrian, E., & Chen, J. (2024). Impact of Urban built-up volume on Urban environment: A Case of Jakarta. *Sustainable Cities and Society*, 105, 105346. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105346>
- Schiavina, M., Melchiorri, M., Corbane, C., Florczyk, A. J., Freire, S., Pesaresi, M., & Kemper, T. (2019). Multi-Scale Estimation of Land Use Efficiency (SDG 11.3.1) across 25 Years Using Global Open and Free Data. *Sustainability*, 11(20), 5674. <https://doi.org/10.3390/su11205674>
- Schiavina, M., Melchiorri, M., Corbane, C., Freire, S., & Batista e Silva, F. (2022). Built-Up Areas are Expanding Faster than Population Growth: Regional Patterns and Trajectories in Europe. *Journal of Land Use Science*, 17(1), 591–608. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2022.2055184>
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLOS ONE*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Shahfahad, Mourya, M., Kumari, B., Tayyab, M., Paarcha, A., Asif, & Rahman, A. (2021). Indices Based Assessment of Built-Up Density and Urban Expansion of Fast Growing Surat City Using Multi-Temporal Landsat Data Sets. *GeoJournal*, 86(4), 1607–1623. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10148-w>
- Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic Uneven Urbanization of Large Cities Throughout the World in Recent Decades. *Nature Communications*, 11(1), 5366. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19158-1>
- Tirtosudarmo, R. (2007). *Mencari Indonesia: Demografi-politik pasca-Soeharto*. Yayasan Obor Indonesia.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, & Population Division. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. United Nations. <https://www.unpopulation.org>
- Utami, W., Muzil, A., Andriawan, D., Saputra, M. D., & Ratnasari, W. Y. (2021). Spatial Analysis of Residential Development in Palu City. *Tunas Geografi*, 9(2), 89–98. <https://doi.org/10.24114/tgeo.v9i2.20001>
- Wahid, A., Triutari, A., & Setiawan, B. (2021). Green Space Based on Oxygen Needs Post-Disaster in Palu City, Central Sulawesi, Indonesia. *Advances in Biological Sciences Research*. Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19). <https://doi.org/10.2991/absr.k.210408.001>
- Wei, G., He, B.-J., Sun, P., Liu, Y., Li, R., Ouyang, X., Luo, K., & Li, S. (2023). Evolutionary Trends of Urban Expansion and Its Sustainable Development: Evidence from 80 Representative Cities in the Belt and Road Initiative Region. *Cities*, 138, 104353. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104353>
- Wirawan, R. R., Hasibuan, H. S., & Tambunan, R. P. (2021). Suitability of Post-Disaster Coastal Land Cover with Spatial Pattern Plan of Palu City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 940(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/940/1/012004>
- Woodcock, C. E., Loveland, T. R., Herold, M., & Bauer, M. E. (2020). Transitioning from Change Detection to Monitoring with Remote Sensing: A Paradigm Shift. *Remote Sensing of Environment, Time Series Analysis with High Spatial Resolution Imagery*, 238, 111558. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111558>
- Wu, Y., Han, Z., Koko, A. F., & Zhang, S. (2024). Spatio-temporal Analysis of the Driving Factors of Urban Land Use Expansion in China: A study of the Yangtze River Delta region. *Open Geosciences*, 16(1). <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0609>
- Xu, J., & Zheng, Y. (2024). Remote Sensing Data Analysis for Urban Planning and Land Use Change. *Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*, 3, 20–25. <https://doi.org/10.62051/gwpk5m73>

- Yao, H., Liu, Y., Wei, Y., Tang, X., & Li, Z. (2019). Learning from Multiple Cities: A Meta-Learning Approach for Spatial-Temporal Prediction. *The World Wide Web Conference, WWW '19*, 2181–2191. <https://doi.org/10.1145/3308558.3313577>
- Zhang, A., Tariq, A., Quddoos, A., Naz, I., Aslam, R. W., Barboza, E., Ullah, S., & Abdullah-Al-Wadud, M. (2025). Spatio-Temporal Analysis of Urban Expansion and Land Use Dynamics Using Google Earth Engine and Predictive Models. *Scientific Reports*, 15(1), 6993. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92034-4>
- Zhang, X., Du, S., Zhou, Y., & Xu, Y. (2022). Extracting Physical Urban Areas of 81 Major Chinese Cities from High-Resolution Land Uses. *Cities*, 131, 104061. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104061>
- Zhou, L., Dang, X., Mu, H., Wang, B., & Wang, S. (2021). Cities are going uphill: Slope Gradient Analysis of Urban Expansion and Its Driving Factors in China. *Science of the Total Environment*, 775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145836>
- Zhou, L., Jiang, Y., Zhou, C., Liu, Z., & Sun, Q. (2025). Spatial Characteristics and Driving Factors of Gradient Expansion of Mountainous Towns in China. *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica*, 80(10), 2692–2707. <https://doi.org/10.11821/dlxb202510009>