

Analisis efisiensi penggunaan lahan perkotaan untuk pembangunan berkelanjutan dengan citra satelit di Jawa Barat

Analysis of urban land use efficiency for sustainable development using satellite imagery in West Java

Rahadian Eka Bagus Indra Rinangku¹, Elfina Dea Rosalita¹, Nindy Nur Setiawati¹, Diva Putra Pratama¹, Sri Nurmala Ningsih¹ dan Fitri Kartiasih^{1*}

¹ Politeknik Statistika STIS, Jakarta Timur, Indonesia

*Email korespondensi: fkartiasih@stis.ac.id

Abstrak. Pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi meningkatkan kebutuhan lahan, sementara ketersediaannya terbatas. Urbanisasi di Provinsi Jawa Barat sebagai provinsi dengan populasi terbesar di Indonesia sangat penting untuk diteliti. Dalam urbanisasi, perubahan penggunaan lahan tak terhindarkan dan mempengaruhi lahan terbangun di wilayah perkotaan. Penelitian ini menggunakan Landsat 8 yang membawa muatan dua sensor Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS) sehingga cocok digunakan sebagai sumber data citra satelit yang andal. Perbandingan antar wilayah dan antar periode sangat dibutuhkan sebagai landasan pengambilan keputusan untuk mewujudkan urbanisasi yang berkelanjutan. Nilai Rate of Change (ROC) digunakan untuk mengukur perbandingan antar periode waktu. Perkotaan di Jawa Barat mengalami laju konsumsi lahan lebih tinggi dibanding pertumbuhan penduduk, namun ada efisiensi penggunaan lahan pada periode 2018-2020 dibanding 2016-2018 dengan penurunan laju LCRPGR sebesar 49.92%. Korelasi LCR dan PGR menunjukkan tren positif namun sangat lemah, menunjukkan adanya faktor lain yang mempengaruhi laju penggunaan lahan perkotaan di Jawa Barat.

Kata Kunci: Citra Satelit; LCRPGR; Pembangunan Berkelanjutan; Penggunaan Lahan

Abstract. Population growth and economic development increase land demand, while land availability remains limited. Urbanization in West Java Province as the most

populous province in Indonesia, is crucial to study. Urbanization inevitably leads to land use changes, which impact built-up areas in urban regions. This study utilized Landsat 8 imagery, equipped with the Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS), making it a reliable source of satellite data. Spatial and temporal comparisons are essential as a foundation for informed decision-making to achieve sustainable urbanization. The Rate of Change (ROC) value were used to assess changes across different time periods. Urban areas in West Java experienced higher land consumption rates compared to population growth; however, there was improved land-use efficiency during 2018–2020 compared to 2016–2018, marked by a decrease in the LCRPGR rate by 49.92%. The correlation between the Land Consumption Rate (LCR) and Population Growth Rate (PGR) showed a positive but very weak trend, indicating other influencing factors on the rate of urban land use in West Java.

Keywords: Satellite Imagery; LRCPPGR; Sustainable Development; Land Use

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk serta perkembangan ekonomi mengakibatkan terjadinya fenomena meningkatnya kebutuhan lahan, sementara ketersediaan lahan terbatas [1]. Kebutuhan akan lahan yang meningkat akan memberikan dampak terhadap pemanfaatan dan penggunaan lahan di kawasan perkotaan [2]. Dalam perkembangan wilayah perkotaan, perubahan penggunaan tutupan merupakan hal yang umum terjadi dan tidak dapat dihindari [3]. Namun, adanya pemanfaatan lahan di wilayah perkotaan memberikan dampak tersendiri bagi wilayah perkotaan yaitu semakin terbatas dan kurangnya ruang untuk perumahan yang mengakibatkan cenderung mengambil wilayah pinggiran perkotaan [4]. Dalam perkembangannya, sebagian besar perubahan penggunaan lahan yang terjadi menggunakan lahan pertanian menjadi lahan non pertanian sehingga terjadilah urbanisasi [5].

Urbanisasi didefinisikan sebagai proses perubahan lingkungan hidup manusia menjadi ke arah kehidupan perkotaan [6]. Dari pendekatan geografis, urbanisasi adalah meningkatnya proporsi penduduk yang tinggal di daerah perkotaan karena adanya proses peningkatan konsentrasi penduduk. Sedangkan secara pendekatan ekonomi politik, urbanisasi merupakan transformasi sosial ekonomi sebagai akibat dari ekspansi kapitalisme [7]. Proses pengkotaan dalam urbanisasi memiliki dua arti, baik perubahan unsur fisik serta sosial ekonomi dan budaya [8]. Suatu wilayah dapat disebut sebagai perkotaan jika memenuhi tiga syarat yaitu memiliki kepadatan penduduk sebanyak lebih dari 5000 penduduk per km², memiliki setidaknya 8 fasilitas di wilayah tersebut, serta hanya kurang dari 25% penduduk yang bekerja di sektor pertanian [9].

Keberhasilan sebuah pembangunan juga ditentukan dengan memperhatikan pembangunan berkelanjutan yang tidak merusak lingkungan [10]. Urbanisasi termasuk ke dalam *goals* ke-11 *Sustainable Development Goals* (SDGs) dengan menjadikan kota dan pemukiman inklusif, aman, berketahanan dan berkelanjutan. Sesuai target 11.3 yaitu meningkatkan urbanisasi yang inklusif dan berkelanjutan serta kapasitas perencanaan dan pengelolaan pemukiman manusia yang partisipatif, terpadu, dan berkelanjutan pada tahun 2030. Terdapat dua

indikator dalam target 11.3 dimana indikator pertama adalah rasio tingkat konsumsi lahan terhadap tingkat pertumbuhan penduduk. Indikator tersebut diklasifikasikan sebagai indikator *tier II* oleh PBB, karena metodologi perhitungannya sudah diterima secara global namun datanya tidak tersedia secara berkala [11].

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia yang tengah menghadapi tantangan besar terkait urbanisasi yang cepat. Sebagai negara yang mengalami lonjakan penduduk dengan pesat, angka mobilitas penduduk di Indonesia akan mengalami peningkatan [12]. Menurut data BPS, pada tahun 2022 jumlah penduduk Indonesia yang tinggal di wilayah perkotaan sebesar 56,4% [13]. Urbanisasi yang berlebih dapat meningkatkan angka kemiskinan, pemukiman kumuh dan terjadinya *urban crime*, selain itu akan terjadi kurangnya sumber daya manusia di desa karena besarnya angka urbanisasi [14].

Pulau Jawa menjadi wilayah dengan tingkat urbanisasi tertinggi. Menurut data BPS, sebanyak 65,8% dari penduduk perkotaan berada di Pulau Jawa [13]. Hal ini menyebabkan Pulau Jawa menjadi wilayah dengan jumlah dan kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia. Jawa Barat merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia dengan 49.405.800 penduduk dan provinsi terpadat kedua setelah Daerah Khusus Jakarta dengan kepadatan

1.379 penduduk per km² [15,16]. Tingginya tingkat urbanisasi ini berdampak pada perubahan pola pembangunan. Perubahan pola pembangunan akibat dari urbanisasi dapat dihitung menggunakan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). NDBI merupakan indeks yang digunakan untuk mengetahui area lahan terbangun [17]. Prinsip dasar dari algoritma NDBI adalah dengan membandingkan antara band *Short-Wave Infrared* (SWIR 1), di mana pada citra Landsat 8 *band* yang digunakan adalah band 6 dan band 8 [18]. Sumber data yang digunakan adalah citra satelit Landsat 8 karena merupakan versi satelit Landsat yang sudah dilengkapi dengan *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) memungkinkan koreksi atmosfer panjang gelombang termal dan pengambilan suhu permukaan dan emisivitas yang lebih andal [19]. Landsat 8 juga digunakan dalam deteksi lahan terbangun dengan NDBI pada studi analitik suhu permukaan tanah dengan NDVI dan NDBI menggunakan data Landsat 8 OLI dan TIRS di kota Florence dan Naples, Italia [20]. Selain itu, NDBI juga telah digunakan dalam berbagai studi untuk pemetaan pembangunan perkotaan menggunakan data Landsat 8 [21].

Land Consumption Rate to Population Growth Rate (LCRPGR) cocok digunakan untuk menganalisis penggunaan lahan di wilayah perkotaan, karena menghitung rasio antara laju penggunaan lahan terhadap laju pertumbuhan penduduk. *Land Consumption Rate* (LCR) merupakan laju perubahan penggunaan lahan selama periode waktu tertentu di wilayah perkotaan. Sementara *Population Growth Rate* (PGR) adalah laju pertumbuhan penduduk untuk periode waktu tertentu [22]. Rasio ini memberi gambaran seberapa efisien penggunaan lahan digunakan seiring pertumbuhan penduduk. Gambaran tersebut berguna dalam perencanaan dan pembuatan kebijakan perkotaan dan mengidentifikasi area penggunaan lahan yang perlu disesuaikan dengan pertumbuhan populasi tanpa konsumsi lahan yang

berlebihan. Pemantauan LCRPGR secara spasiotemporal dapat mengevaluasi pola pembangunan perkotaan dengan meninjau aspek-aspek pembangunan yang berkelanjutan [23].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis spasiotemporal terkait efisiensi penggunaan lahan yang diakibatkan oleh urbanisasi di 9 kota Provinsi Jawa Barat dengan menggunakan *Land Consumption Rate to Population Growth Rate* (LCRPGR), menghitung LCR dengan pendekatan data citra satelit Landsat 8 karena data terkait perubahan luas lahan terbangun belum tersedia secara resmi hingga saat ini, mengeksplorasi hubungan antara penggunaan lahan perkotaan dan pertumbuhan populasi guna menilai keberlanjutan, mengetahui kota manakah yang perlu diperhatikan perkembangannya melalui nilai LCRPGR, menggabungkan data *official statistics* dan data penginderaan jauh untuk memberikan hasil yang sesuai dalam pembentukan kebijakan. Tidak hanya itu, penelitian ini memberikan informasi terkait seluruh kota yang ada di Jawa Barat sehingga dapat merepresentasikan pengaruh urbanisasi terhadap perkembangan penduduk dan penggunaan lahan pada level provinsi.

Penelitian ini memiliki karakteristik baru dari penelitian yang ada sebelumnya. Pertama, penelitian ini merupakan penelitian pertama yang menggunakan analisis spasiotemporal pada nilai LCRPGR di Indonesia. Penelitian ini menggabungkan data *official statistics* berupa data penduduk setiap kota di Provinsi Jawa Barat dan data citra satelit untuk mendapatkan luas lahan terbangun. Kedua, penelitian ini merupakan penelitian pertama terkait SDGs 11.3.1 yang melibatkan seluruh kota dalam satu provinsi, khususnya di Jawa Barat. Penelitian terkait SDGs 11.3.1 di Indonesia pernah dilakukan untuk menganalisis *urban change* di Kota Manggar [22]. Cakupan wilayah pada penelitian ini lebih luas daripada penelitian sebelumnya. Ketiga, penelitian ini merupakan penelitian pertama di seluruh kota provinsi Jawa Barat yang menggunakan data citra satelit untuk menghasilkan luas lahan terbangun dari indeks spektral *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) yang dikumpulkan dalam dua periode, yaitu 2016 – 2018 dan 2018 – 2020. Perbedaan periode akan digunakan untuk analisis temporal. Pada [22], indeks spektral yang digunakan adalah *Impervious surface index* (ISI), *Night Time Light index* (NTL), dan *Water Frequency index* (WFI) serta data penduduk diperoleh dari *Gridded Population of the World V4*. Keterbaruan penelitian ini lebih terfokus pada indeks spektral yang digunakan serta cakupan lokus yang lebih luas sehingga dapat memberikan kontribusi yang cukup signifikan dalam pengambilan kebijakan.

2. Metode

2.1. Data dan sumber data

Lokasi penelitian yang dipilih pada penelitian ini adalah seluruh Kota di Provinsi Jawa Barat, yaitu Kota Bandung, Kota Banjar, Kota Bekasi, Kota Bogor, Kota Cimahi, Kota Cirebon, Kota Depok, Kota Sukabumi, dan Kota Tasikmalaya. Provinsi Jawa Barat merupakan provinsi dengan kepadatan penduduk tertinggi kedua di Indonesia [15]. Provinsi Jawa Barat juga sebagai salah satu pusat ekonomi di Indonesia yang menawarkan beragam dinamika sosial, ekonomi, dan

lingkungan yang dapat dipelajari dalam konteks pertumbuhan populasi dan perubahan lahan. Selain kedua faktor tersebut data terkait Provinsi Jawa Barat dalam penelitian ini juga mudah didapatkan.

2.1.1. Data penduduk. Jumlah penduduk adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber seperti sensus penduduk, registrasi kelahiran dan kematian, serta survei migrasi. Data dasar ini mencakup informasi rinci tentang jumlah penduduk, distribusi umur, jenis kelamin, dan karakteristik demografis lainnya. Data jumlah penduduk digunakan untuk analisis dan perencanaan, termasuk perencanaan perkotaan dan pembangunan infrastruktur, layanan kesehatan, serta analisis dampak lingkungan dan perubahan iklim. Data terkait jumlah penduduk dapat diperoleh dari data Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat.

2.1.2. Data citra satelit Landsat 8. Landsat 8 adalah satelit penginderaan jauh yang diluncurkan oleh Badan Antariksa Amerika Serikat (NASA) pada tahun 2013. Satelit ini dilengkapi dengan sensor *Multispectral Scanner (MSS)*, *Operational Land Imager (OLI)*, dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, yang memungkinkan pengambilan citra dengan resolusi spasial yang tinggi dan cakupan spektral yang luas. Data citra satelit Landsat 8 digunakan dalam penelitian ini. Resolusi spasial Landsat 8 yang memungkinkan pengambilan citra dengan detail yang cukup baik, sehingga memungkinkan identifikasi objek dan fitur di permukaan Bumi dengan jelas. Ini sangat penting dalam penelitian yang berkaitan dengan perubahan lahan dan lingkungan. Selain itu, Landsat 8 juga menyediakan cakupan spektral yang luas, termasuk delapan saluran optik dari ultraviolet hingga inframerah jauh [24]. Data citra satelit Landsat 8 juga tersedia secara gratis melalui program *United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer* yang dapat diakses pada <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Pengolahan data dilakukan dengan *software* QGIS untuk memproses data dalam bentuk raster, termasuk perhitungan indeks spasial dan ekstraksi nilai piksel, guna memperoleh informasi yang sesuai dengan analisis citra.

2.2. Metode

2.2.1. Persiapan data. Persiapan data dilakukan pada data citra satelit Landsat 8. Data diambil berdasarkan *area of interest* yang ditentukan. Pemilihan data citra dilakukan dengan menyeleksi data yang memiliki tutupan awan kurang dari 30 persen. Setelah itu, dilakukan pemilihan band yaitu band 5 dan band 6 untuk menghitung indeks spektral.

2.2.2. Indeks spektral NDBI. Dalam perhitungan luas lahan terbangun, dibutuhkan data yang cukup besar dan terbaru. Akan tetapi, data tersebut belum tersedia secara akurat hingga saat ini. Oleh karena itu, penggunaan data citra satelit dalam mengestimasi luas lahan terbangun digunakan dalam penelitian ini. Pendeteksian lahan terbangun dilakukan dengan menggunakan indeks spektral untuk mendeteksi bangunan, yaitu *Normalized Difference Built-up index (NDBI)*. Adapun formula yang digunakan untuk menghitung NDBI, sebagaimana dirumuskan oleh [25] tercantum pada persamaan berikut.

$$NDBI = \frac{NIR(Band\ 6) - SWIR(Band\ 5)}{NIR(Band\ 6) + SWIR(Band\ 5)} \quad (1)$$

Perhitungan NDBI dilakukan dengan membandingkan selisih dari NIR (*band 6*) dan SWIR (*band 5*) dengan hasil penjumlahan keduanya. Di mana nilai NIR adalah gelombang *Near Infrared (band 6)* pada citra satelit dan SWIR (*band 5*) adalah gelombang *Short Wave Infrared* pada citra. Penggunaan NDBI melibatkan beberapa tahapan, mulai dari pengolahan citra satelit hingga analisis data. Pertama, citra satelit yang mengandung pita NIR (*band 6*) dan SWIR (*band 5*) diproses untuk menghilangkan gangguan atmosferik dan pengaruh lainnya. Selanjutnya, nilai NDBI dihitung untuk setiap piksel pada citra tersebut. Hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk memetakan area terbangun dengan mengklasifikasikan piksel-piksel yang memiliki nilai NDBI positif sebagai area terbangun. Nilai NDBI dikategorikan untuk membantu dalam interpretasi data. Beberapa literatur mengklasifikasikan nilai NDBI berdasarkan rentang tertentu. Berikut rentang nilai yang digunakan untuk kategorisasi NDBI pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi NDBI [26].

Kategori	NDBI
Tidak terbangun	$-1 < x < 0$
Terbangun	$0 < x < 1$

2.2.3. Perhitungan NDBI pada Area Of Interest. Setelah diperoleh nilai NDBI pada daerah keseluruhan yang dicakup oleh citra, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai NDBI pada *area of interest* yang ditentukan. Hal tersebut dilakukan dengan *clip masking layer* pada data raster NDBI yang telah dihitung. Setelah itu, dilakukan reklasifikasi wilayah berdasarkan nilai NDBI sesuai Tabel 1.

2.2.4. Analisis LCRPGR. Indikator SDGs 11.3.1 dapat dinyatakan dalam *Land Consumption to Population Growth Rate* (LCRPGR). Dalam perhitungan indikator LCRPGR, dibutuhkan komponen LCR dan PGR yang mengukur ekspansi spasial dan intensitas perubahan demografis di permukiman perkotaan. Adapun perhitungan indikator tersebut dijelaskan pada persamaan (4) [27].

$$LCR = \frac{\ln(Urb_{(t+n)}/Urb_t)}{y} \quad (2)$$

$$PGR = \frac{\ln(Pop_{(t+n)}/Pop_t)}{y} \quad (3)$$

$$LCRPGR = \frac{LCR}{PGR} \quad (4)$$

Pada persamaan (2) terdapat $Urb_{(t+n)}$ yang merupakan area terbangun pada tahun awal sedangkan Urb_t merupakan area terbangun pada tahun akhir. Pada persamaan (3) $Pop_{(t+n)}$ menyatakan penduduk perkotaan pada tahun awal sedangkan Pop_t menyatakan penduduk perkotaan pada tahun akhir. Nilai y pada persamaan (2) dan (3) menyatakan rentang waktu.

Tabel 2. Klasifikasi wilayah berdasarkan nilai LCRPGR [26].

Tipe Perluasan Kota	Rentang Nilai LCRPGR	Makna
Pertumbuhan lahan perkotaan yang pesat	1 – 5	Konsumsi lahan perkotaan melebihi pertumbuhan penduduk
Pertumbuhan populasi perkotaan yang cepat	0 – 1	Pertumbuhan populasi perkotaan melebihi konsumsi lahan
Penyusutan perkotaan	-5 – 0	Populasi perkotaan menurun atau lahan perkotaan menyusut

Nilai LCR > 0 menunjukkan area terbangun meningkat dibandingkan dengan periode sebelumnya, sedangkan LCR < 0 menunjukkan area terbangun menurun. Nilai PGR > 0 menunjukkan populasi penduduk perkotaan meningkat, sedangkan PGR < 0 menunjukkan populasi penduduk perkotaan menurun. Akan tetapi, terdapat sedikit penyesuaian dalam interpretasi LCRPGR. Saat nilai LCR dan PGR positif, nilai LCRPGR lebih besar dari 0 dan terdapat dua kemungkinan, yaitu LCRPGR > 1 dan $0 < \text{LCRPGR} < 1$. Oleh karena itu, pada kasus ini perlu digunakan tanda LCR dan PGR dan pendefinisian pertumbuhan lahan sebagai LCRPGR > 1 atau LCR > 0 dan PGR < 0 dan tipe pertumbuhan penduduk sebagai $0 < \text{LCRPGR} < 1$ atau LCR < 0 dan PGR > 0 [28]. Adapun rentang LCRPGR dan maknanya tercantum dalam Tabel 2.

2.2.5. Analisis spatiotemporal. Untuk mengukur peningkatan LCRPGR dari waktu ke waktu (penurunan efisiensi penggunaan lahan), setiap wilayah diukur nilai ROC-nya. Pada [23] laju pertumbuhan diukur dalam LCRPGR (V) di antara periode pertama tahun 2016–2018 (P1) dengan periode kedua tahun 2018–2020 (P2). Hal tersebut dapat dirumuskan pada persamaan (5).

$$\text{ROC (\%)} = \left(\frac{V_{P2}}{V_{P1}} - 1 \right) \times 100 \quad (5)$$

Berdasarkan nilai ROC yang diperoleh pada persamaan (5), setiap kota dapat diklasifikasikan ke dalam tujuh kategori pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi wilayah berdasarkan nilai ROC [23].

Nilai ROC	Kategori
>100%	Peningkatan tinggi
50% - 100%	Peningkatan sedang
0% - 50%	Peningkatan rendah
0%	Tidak ada perubahan
-50% - 0%	Penurunan rendah
-100% - -50%	Penurunan sedang
<-100%	Penurunan tinggi

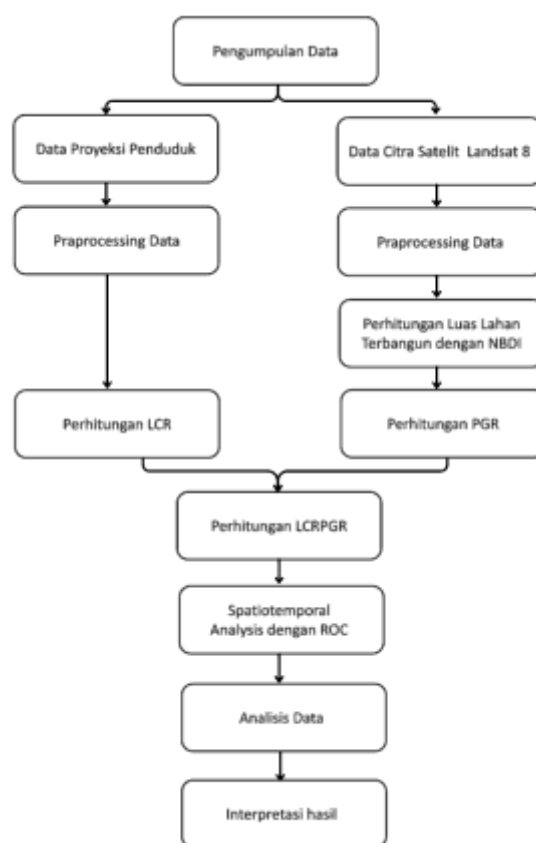
2.2.6. Analisis korelasi pearson. Untuk mengetahui keterkaitan perluasan kawasan terbangun dengan peningkatan populasi, dilakukan analisis korelasi [29]. Hubungan statistik antara LCR dan PGR pada seluruh periode penelitian (2016–2020) dihitung dan divisualisasikan dengan

diagram pencar. Pengukuran korelasi digunakan dengan ukuran korelasi Pearson yang tercakup dalam persamaan (8).

Nilai korelasi Pearson yang dihasilkan dari persamaan (8) menunjukkan kuat lemahnya hubungan antara LCR dan PGR. Nilai positif menunjukkan hubungan yang searah sedangkan nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah. Nilai korelasi yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa korelasi semakin kuat, sedangkan jika mendekati 0 maka korelasi akan semakin lemah.

2.3. Tahapan penelitian

Penelitian ini membutuhkan serangkaian tahapan mulai dari pengumpulan data hingga pengolahan hasil akhir untuk mencapai tujuan penelitian sesuai dengan alur pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian.

Tahapan dimulai dari proses pengumpulan data. Setelah data yang diperlukan terkumpul, dilakukan *preprocessing* untuk mempersiapkan data sebelum masuk ke dalam pengolahan. Terdapat perlakuan yang berbeda untuk data jumlah penduduk dan data citra satelit. Data jumlah penduduk memiliki format .xlsx sehingga tahapan *preprocessing* lebih sederhana daripada data citra satelit. Pada data jumlah penduduk, dilakukan pendeteksian *missing value* serta pengecekan sebaran dan pola data melalui visualisasi data. Selanjutnya dilakukan

perhitungan nilai PGR dari data yang telah diproses. Pada data citra satelit yang bertipe raster, *preprocessing* dilakukan dengan menyeleksi data citra satelit. Pertama, dilakukan penentuan rentang waktu pengambilan citra satelit dan dalam hal ini digunakan rentang waktu tahunan. Kedua, dilakukan penyeleksian citra satelit yang memiliki tutupan awan kurang dari 30 persen. Ketiga, menentukan citra terbaik dengan melihat *preview* tampilan wilayah yang ingin diambil.

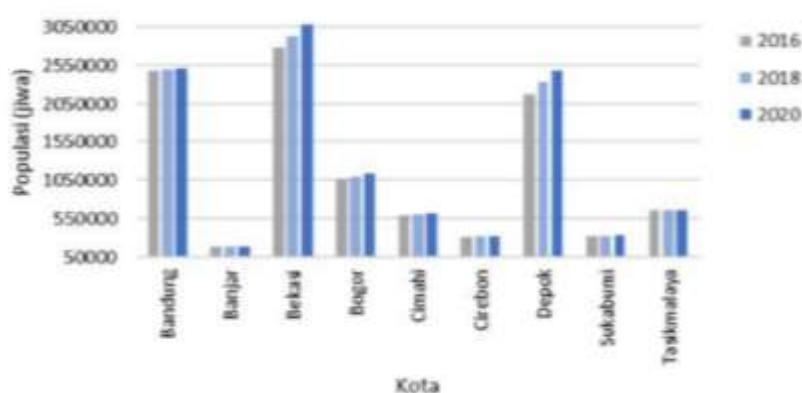
Pada langkah ini, perlu dipastikan bahwa citra pada wilayah studi memiliki tampilan yang bersih sehingga tidak menghalangi proses klasifikasi. Setelah memperoleh data yang bebas awan, tahapan selanjutnya adalah memilih band yang dibutuhkan untuk menghitung indeks spektral NDBI yaitu *band 5* dan *band 6*. Setelah itu, dilakukan perhitungan indeks melalui raster kalkulator. Indeks yang sudah dihitung akan disesuaikan cakupan nilainya sesuai lokus dengan cara melakukan *clip* data raster hasil perhitungan dengan data *shapefile* kota. Selanjutnya, dilakukan perhitungan luas lahan terbangun pada setiap periodenya yang menghasilkan nilai LCR.

Nilai LCR dan PGR yang telah didapatkan akan digunakan untuk menghitung LCRPGR pada setiap kota dan setiap periode waktu. Adanya dimensi tempat (spasial) dan waktu (temporal) akan digunakan untuk analisis lanjutan menggunakan *rate of change* (ROC). Nilai ROC dapat digunakan untuk membandingkan indikator antarwilayah dan antar periode. Setelah itu, dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui keeratan hubungan antara LCR dan PGR pada setiap wilayah. Dari keseluruhan tahapan akan ditarik kesimpulan untuk mencapai kebijakan yang diperlukan.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

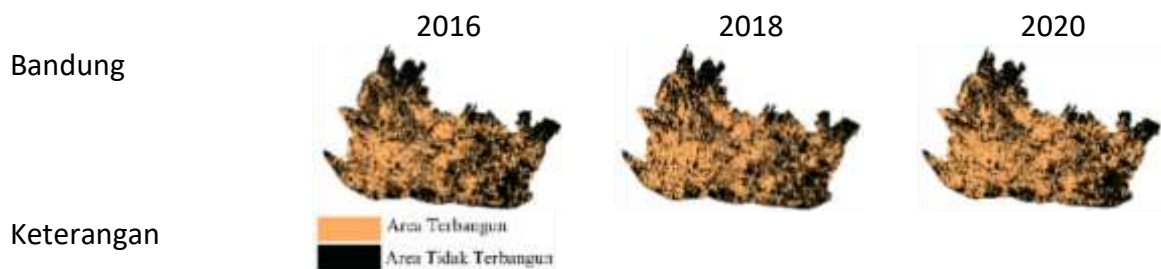
3.1. Jumlah penduduk dan perluasan area terbangun

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat, jumlah penduduk pada Kota Bandung, Banjar, Bekasi, Bogor, Cimahi, Cirebon, Depok, Sukabumi, dan Tasikmalaya memiliki perbedaan pada setiap periode tahunnya. Perbedaan antar tahun dan antar kota sangat bervariasi seperti pada Gambar 2.



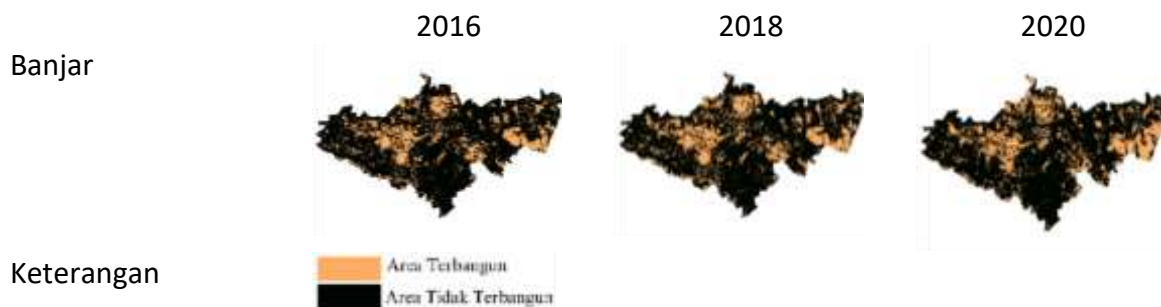
Gambar 2. Jumlah penduduk kota di Jawa Barat tahun 2016-2020.

Berdasarkan Gambar 2, populasi penduduk di wilayah perkotaan sebesar 10.589.438 jiwa pada tahun 2016, 10.958.678 jiwa pada tahun 2018, dan 11.317.527 jiwa pada tahun 2020. Kota Depok merupakan Kota dengan pertumbuhan penduduk perkotaan tercepat di Jawa Barat sedangkan Kota Bekasi menjadi kota dengan populasi penduduk kota terbanyak di Jawa Barat. Di saat yang bersamaan, area terbangun di wilayah perkotaan di Jawa Barat juga turut mengalami perluasan. Gambar 3-11 menunjukkan perubahan area terbangun di wilayah perkotaan di Jawa Barat dilihat berdasarkan nilai NDBI pada citra Landsat 8. Area yang berwarna coklat menunjukkan area terbangun sementara yang berwarna hitam menunjukkan area yang tidak terbangun.



Gambar 3. Perubahan area terbangun di Kota Bandung tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 3 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Bandung pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Bandung adalah 79.37 km² pada tahun 2016, 84.29 km² pada tahun 2018, dan 87 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 3.01% pada tahun 2018 dan 1.59% pada tahun 2020. Area terbangun yang terus meningkat sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk.



Gambar 4. Perubahan area terbangun di Kota Banjar tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

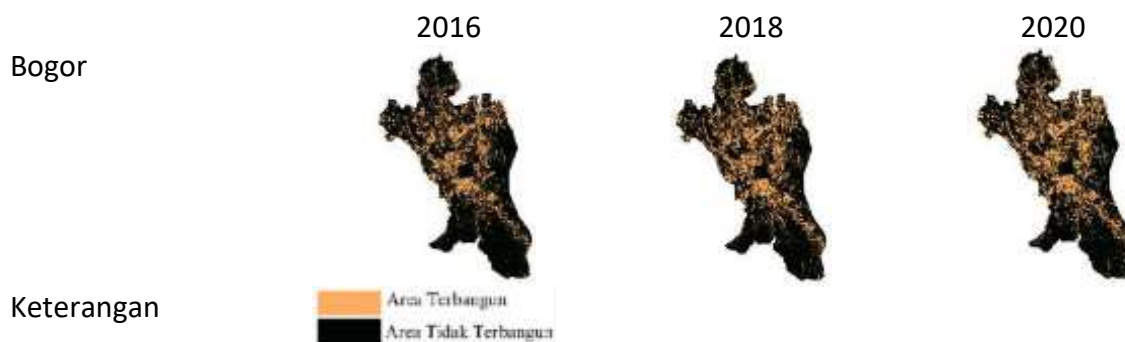
Gambar 4 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Banjar pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Banjar adalah 30.94 km² pada tahun 2016, 31.55 km² pada

tahun 2018, dan 31.94 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 0.98% pada tahun 2018 dan 0.61% pada tahun 2020.



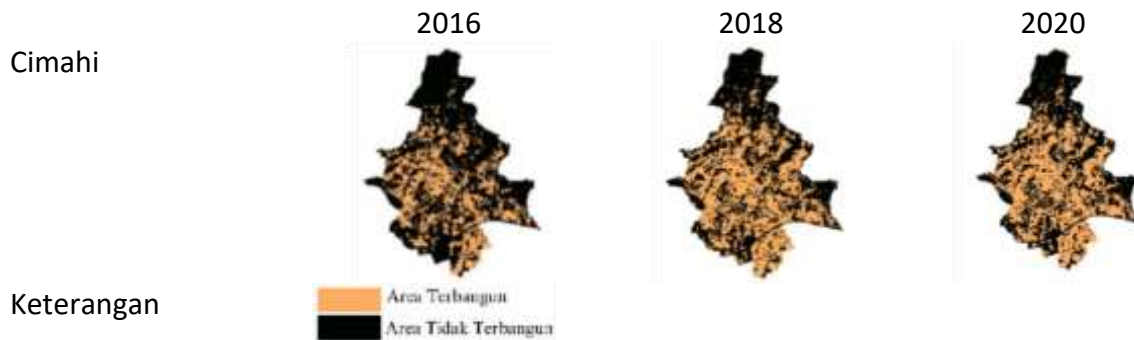
Gambar 5. Perubahan area terbangun di Kota Bekasi Tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 5 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Bekasi pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Bekasi adalah 73.56 km² pada tahun 2016, 83.47 km² pada tahun 2018, dan 89.61 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 6.31% pada tahun 2018 dan 3.55% pada tahun 2020.



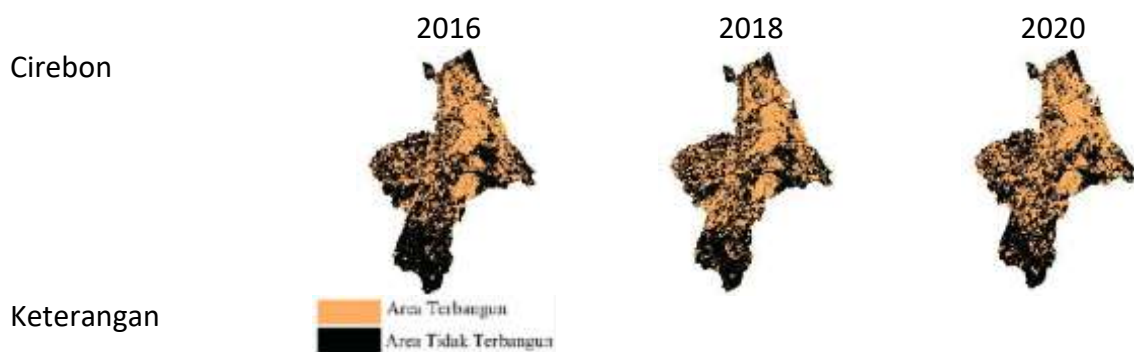
Gambar 6. Perubahan area terbangun di Kota Bogor Tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 6 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Bogor pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Bogor adalah 23.55 km² pada tahun 2016, 26.07 km² pada tahun 2018, dan 28.81 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 5.08% pada tahun 2018 dan 4.99% pada tahun 2020.



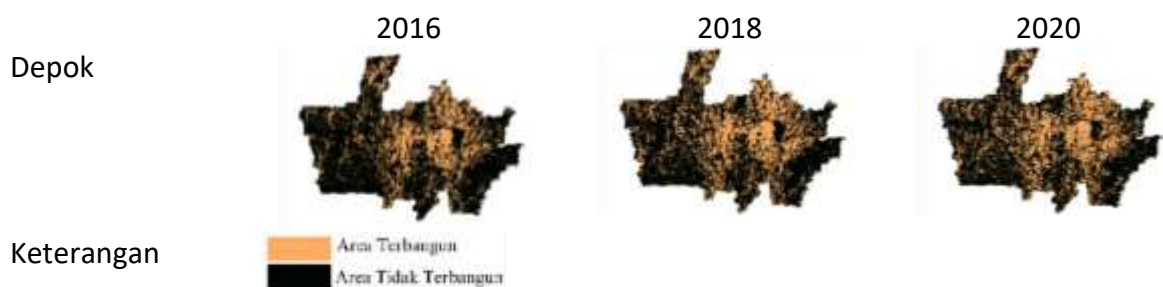
Gambar 7. Perubahan area terbangun di Kota Cimahi Tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 7 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Cimahi pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Cimahi adalah 7.56 km² pada tahun 2016, 11.11 km² pada tahun 2018, dan 11.15 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 19.27% pada tahun 2018 dan 0.17% pada tahun 2020.



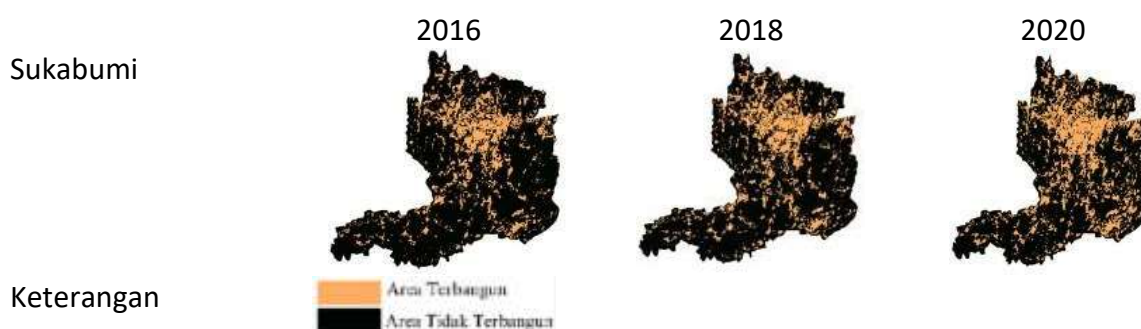
Gambar 8. Perubahan area terbangun di Kota Cirebon tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 8 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Cirebon pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Cirebon adalah 16.01 km² pada tahun 2016, 17.58 km² pada tahun 2018, dan 18.35 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 4.69% pada tahun 2018 dan 2.14% pada tahun 2020.



Gambar 9. Perubahan area terbangun di Kota Depok tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

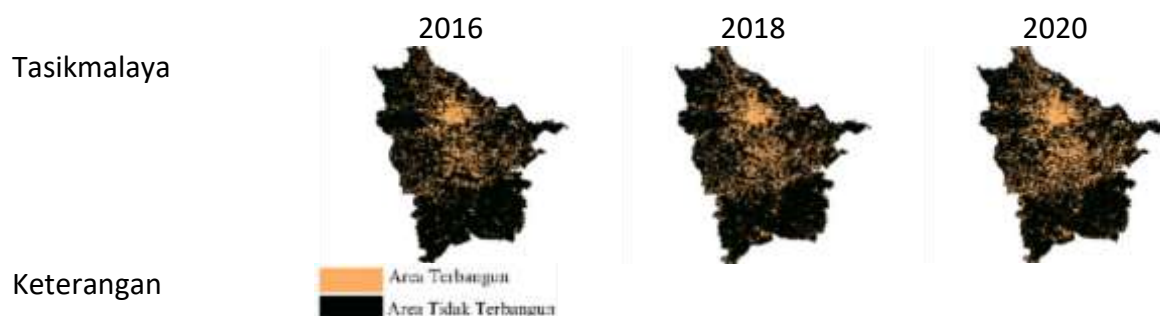
Gambar 9 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Depok pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Depok adalah 49.31 km² pada tahun 2016, 59.09 km² pada tahun 2018, dan 63.35 km² pada tahun 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 9.05% pada tahun 2018 dan 3.63% pada tahun 2020.



Gambar 10. Perubahan area terbangun di Kota Sukabumi tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

Gambar 10 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Sukabumi pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Banjar adalah 8.43 km² pada tahun 2016, 8.99 km² pada tahun 2018, dan 10.76 km² pada tahun 2020. Gambar 10 menunjukkan perubahan area terbangun lebih signifikan pada tahun 2020 dibandingkan 2018. Area terbangun tumbuh sebesar 3.20% pada tahun 2018 dan 8.97% pada tahun 2020.

Gambar 11 menunjukkan perubahan luasan area terbangun di Kota Tasikmalaya pada tahun 2016-2020. Luas area terbangun di Kota Tasikmalaya adalah 30.27 km² pada tahun 2016, 34.80 km² pada tahun 2018, dan 35.20 km² pada tahun 2020. Gambar 11 menunjukkan perubahan area terbangun lebih signifikan pada tahun 2018 dibandingkan 2020. Area terbangun tumbuh sebesar 6.97% pada tahun 2018 dan 0.57% pada tahun 2020. Secara keseluruhan, pertumbuhan area terbangun pada tahun 2016-2018 lebih tinggi dibandingkan pada tahun 2018-2020 yaitu 5.61% pada tahun 2018 dan 2.61% pada tahun 2020.



Gambar 11. Perubahan area terbangun di Kota Tasikmalaya tahun 2016-2018 berdasarkan nilai NDBI.

3.2. Nilai LCR, PGR, dan LCRPGR

Dari data jumlah penduduk tiap kota dan tiap periode dilakukan perhitungan *Population Growth Rate* (PGR) kemudian dilanjutkan perhitungan *Land Consumption Rate* (LCR) dari data luas lahan terbangun yang diperoleh dari data citra satelit. Hasil perhitungan LCR dan PGR akan digunakan untuk menghitung LCRPGR sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. LCR, PGR, dan LCRPGR pada level Kota di Provinsi Jawa Barat tahun 2016 - 2020.

Kota	LCR		PGR		LCRPGR	
	2016-2018	2018-2020	2016-2018	2018-2020	2016-2018	2018-2020
Bandung	0.030	0.016	0.003	0.001	11.4780	12.440
Banjar	0.010	0.006	0.003	0.001	3.877	5.427
Bekasi	0.063	0.035	0.025	0.024	2.495	1.483
Bogor	0.051	0.050	0.015	0.014	3.416	3.686
Cimahi	0.193	0.002	0.011	0.010	16.796	0.170
Cirebon	0.047	0.021	0.009	0.009	5.081	2.260
Depok	0.090	0.036	0.033	0.032	2.710	1.134
Sukabumi	0.032	0.090	0.008	0.007	3.994	13.373
Tasikmalaya	0.070	0.006	0.002	0.001	29.59	5.978
Kota di Jawa Barat	0.056	0.026	0.017	0.016	3.280	1.642

Berdasarkan Tabel 4, nilai LCR dan PGR terus meningkat di semua Kota di Jawa Barat. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan populasi penduduk dan tren konsumsi lahan terus meningkat sejak tahun 2016 hingga 2020. Pertumbuhan wilayah perkotaan di Kota Cimahi berkembang dengan sangat pesat pada tahun 2016-2018 hal ini ditunjukkan dengan nilai LCR sebesar 0.19 pada tahun 2018-2020. Perkembangan wilayah perkotaan di Jawa Barat meningkat lebih pesat pada tahun 2016-2018 dibandingkan dengan tahun 2018-2020. Sama halnya dengan wilayah perkotaan, pertumbuhan penduduk perkotaan di Jawa Barat juga meningkat lebih pesat pada tahun 2016-2018 dibandingkan dengan tahun 2018-2020.

Nilai LCRPGR dapat memberikan gambaran terkait ketersediaan area perkotaan di saat meningkatnya pertumbuhan populasi wilayah perkotaan selama urbanisasi. Secara keseluruhan, nilai LCRPGR di Provinsi Jawa Barat menunjukkan tren yang sama yaitu tingkat

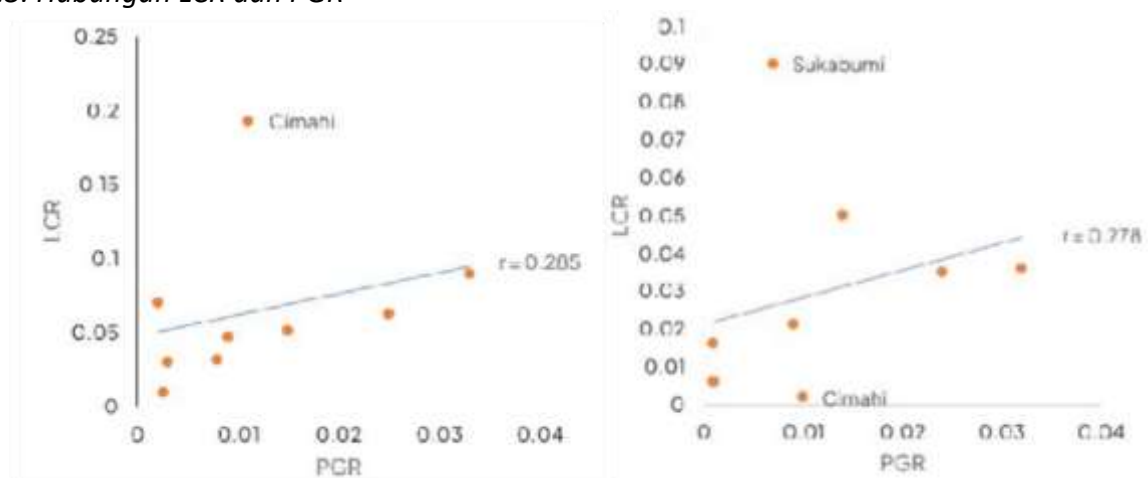
konsumsi lahan perkotaan melebihi tingkat pertumbuhan penduduk. Pada tahun 2016-2018 nilai LCRPGR di Jawa Barat sebesar 3.15 dan 1.76 pada tahun 2018-2020. Nilai ini menunjukkan bahwa pada tahun 2016-2018 tingkat pertumbuhan wilayah perkotaan meningkat 3.15 kali lebih cepat dibandingkan dengan tingkat pertumbuhan penduduk sedangkan pada tahun 2018-2020 tingkat pertumbuhan wilayah perkotaan meningkat 1.76 kali lebih cepat dibandingkan dengan tingkat pertumbuhan penduduk. Nilai LCRPGR di Kota Tasikmalaya menunjukkan nilai LCRPGR ekstrem dimana pada tahun 2016-2020 Kota Tasikmalaya memiliki nilai LCRPGR tertinggi yaitu sebesar 29.59. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat konsumsi lahan di Kota Tasikmalaya jauh lebih tinggi dibandingkan tingkat pertumbuhan penduduk.

Tabel 4 menunjukkan LCRPGR pada tingkat kota di Provinsi Jawa Barat untuk dua periode waktu, 2016-2018 dan 2018-2020 mengungkap beberapa tren yang cukup penting. Pertama, Kota Sukabumi mengalami peningkatan signifikan dalam LCRPGR dari periode pertama ke periode kedua, dengan angka yang melonjak dari nilai yang relatif rendah menjadi 13.37 pada periode 2018-2020. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi lahan per pertumbuhan penduduk di Sukabumi meningkat tajam, mungkin mengindikasikan ekspansi lahan yang lebih cepat dibandingkan dengan laju pertumbuhan penduduk. Sebaliknya, Kota Tasikmalaya menunjukkan penurunan drastis dalam LCRPGR, dari nilai yang sangat tinggi sebesar 29.59 pada periode 2016-2018 menjadi hanya 5.98 pada periode 2018-2020. Penurunan serupa juga terjadi di Kota Cimahi, di mana LCRPGR turun tajam dari 16.80 menjadi hampir nol, yakni 0.17 pada periode yang sama. Penurunan ini menunjukkan bahwa laju konsumsi lahan relatif terhadap pertumbuhan penduduk di kedua kota ini menurun drastis, kemungkinan sebagai hasil dari perubahan kebijakan penggunaan lahan atau kondisi ekonomi yang mempengaruhi penggunaan lahan.

Sementara itu, sebagian besar kota lainnya di Jawa Barat menunjukkan stabilitas dalam LCRPGR mereka, tanpa perubahan drastis antara kedua periode tersebut. Temuan ini mengindikasikan adanya fluktuasi signifikan dalam rasio konsumsi lahan per pertumbuhan penduduk di beberapa kota, yang mungkin disebabkan oleh perubahan dalam faktor-faktor lain seperti ekonomi, investasi, atau kebijakan lokal yang mempengaruhi penggunaan lahan. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk memahami penyebab spesifik di balik perubahan-perubahan ini dan implikasinya bagi pembangunan dan pengelolaan lahan di wilayah tersebut.

Memahami dinamika ini sangat penting untuk perencanaan kota yang berkelanjutan dan pengelolaan sumber daya lahan secara efektif di Provinsi Jawa Barat.

3.3. Hubungan LCR dan PGR



Gambar 12. Hubungan LCR dan PGR (2016-2018 sebelah kiri, 2018-2020 sebelah kanan).

Berdasarkan Gambar 12, pada tahun 2016-2018, LCR dan PGR memiliki hubungan yang positif dengan nilai $r = 0.285$. Artinya terdapat korelasi positif antara LCR dan PGR sebesar 0.285 yang menunjukkan hubungan yang lemah antara kedua variabel tersebut. Dengan kata lain, apabila salah satu variabel LCR atau PGR meningkat, maka variabel lainnya juga akan cenderung meningkat namun hubungannya tidak kuat. Hal ini dikarenakan nilai 0.285 lebih dekat ke 0 dibandingkan 1 sehingga variabel PGR sedikit berkaitan dengan perubahan LCR. Sama halnya dengan $r = 0.278$ pada LCR dan PGR tahun 2018-2020, nilai r tersebut juga menunjukkan hubungan positif yang lemah. Jadi, dapat dikatakan bahwa baik tahun 2016- 2018 ataupun tahun 2018-2020, nilai LCR dan PGR di Jawa Barat menunjukkan tren yang sama yaitu tren positif dengan hubungan lemah.

Selain itu, dari Gambar 13 dapat diamati bahwa terdapat kota-kota dengan pertumbuhan yang tidak seimbang. Pada periode 2016-2018, Kota Cimahi terlihat sangat jauh dari kelompok kota-kota lainnya. Ini menandakan adanya pertumbuhan lahan perkotaan yang sangat pesat di Cimahi yang tidak diimbangi dengan pertumbuhan penduduk yang sepadan. Fenomena serupa terlihat pada periode 2018-2020 di Kota Sukabumi. Kota ini juga berada jauh dari kelompok kota lainnya, menunjukkan ketidakselarasan antara pertumbuhan lahan perkotaan dan pertumbuhan penduduknya. Perubahan ini mengindikasikan bahwa beberapa kota di Jawa Barat mengalami dinamika pertumbuhan yang unik, yang tidak selalu sejalan dengan tren umum yang ditunjukkan oleh korelasi antara LCR dan PGR. Perbedaan perubahan Kota Cimahi dan Kota Sukabumi yang cukup ekstrem dan berbeda dari mayoritas kota-kota di Jawa Barat dapat menjadi perhatian khusus dari pemerintah untuk mengetahui apa penyebab dan bagaimana dampaknya di kota-kota tersebut.

3.4. Laju perubahan (*rate of change*) dalam LCRPGR

Laju perubahan (*rate of change*) dari LCRPGR di seluruh kota Jawa Barat menunjukkan variasi yang cukup besar dengan dominan terdapat 4 kota yang mengalami kondisi dengan penurunan sedang, yaitu Kota Depok, Kota Cimahi, Kota Tasikmalaya, dan Kota Cirebon. Namun, terdapat 3 kota yang mengalami peningkatan rendah yaitu Kota Banjar, Kota Bandung, dan Kota Bogor. Hal ini menunjukkan terdapat peningkatan pertumbuhan konsumsi lahan yang lebih tinggi daripada pertumbuhan penduduk dari periode 2018-2020 dengan periode 2016-2018 seperti terlihat pada Tabel 5.

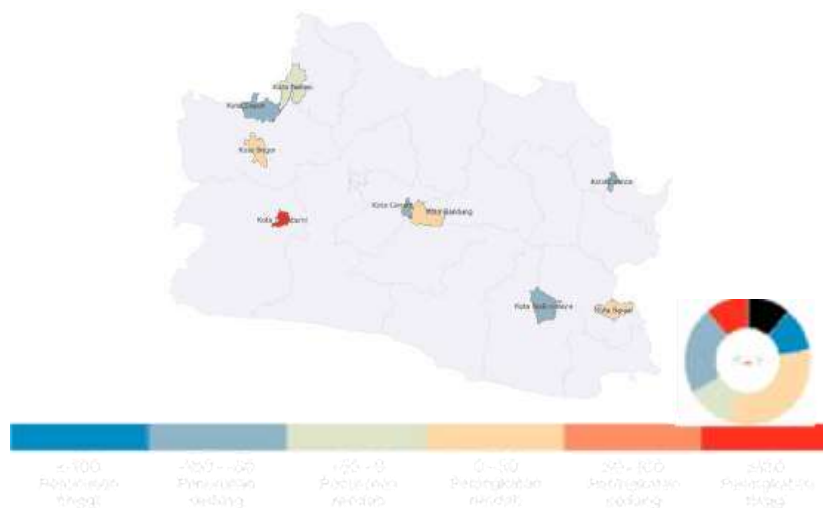
Tabel 5. RoC pada level Kota di Provinsi Jawa Barat antara 2016-2018 dan 2018-2020.

Kota	ROC	Kategori
Bandung	8.38%	Peningkatan Rendah
Banjar	39.99%	Peningkatan Rendah
Bekasi	-40.56%	Penurunan Rendah
Bogor	7.90%	Peningkatan Rendah
Cimahi	-98.99%	Penurunan Sedang
Cirebon	-55.52%	Penurunan Sedang
Depok	-58.15%	Penurunan Sedang
Sukabumi	234.83%	Peningkatan Tinggi
Tasikmalaya	-79.80%	Penurunan Sedang
Seluruh Kota di Jawa Barat	-49.93%	Penurunan Sedang

Mayoritas kota di Jawa Barat mengalami penurunan pertumbuhan konsumsi lahan di atas pertumbuhan penduduk dengan kategori penurunan sedang sebesar -49.93%. Peningkatan perubahan nilai LCRPGR pada Kota Sukabumi menjadi yang tertinggi antar dua periode dengan nilai laju perubahan sebesar 234.83%. Sedangkan penurunan perubahan nilai LCRPGR paling tinggi pada Kota Cimahi, di mana sebesar -98.99%. Kota Cimahi bahkan menjadi satu-satunya kota yang mengalami laju pertumbuhan penduduk yang lebih tinggi daripada laju konsumsi lahan pada periode 2018-2020. Agregat dari konsumsi lahan dan pertumbuhan penduduk seluruh kota di Jawa Barat yang mengalami penurunan sedang pada nilai LCRPGR pada periode 2016-2018 sebesar 3.28 menjadi 1.642. Hasil tersebut, menunjukkan bahwa penggunaan lahan di mayoritas kota pada Provinsi Jawa Barat menjadi lebih efisien pada periode 2018-2020 dibanding periode 2016-2018. Penggunaan lahan dianggap efisien jika rasio konsumsi lahan terhadap laju pertumbuhan penduduk rendah. Ini berarti bahwa untuk setiap unit peningkatan populasi, peningkatan konsumsi lahan tetap minimal.

Kota-kota yang berkembang secara spasial dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada pertumbuhan penduduk, menimbulkan berbagai pertanyaan dan dampak terkait bencana, perubahan iklim, perencanaan dan kebijakan perkotaan. Luas perkotaan yang tumbuh dengan kecepatan yang lebih cepat daripada populasinya, sebagian karena perkembangan ekonomi yang menyebabkan lebih banyak konsumsi lahan secara umum yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat dari nilai LCR seluruh kota di Provinsi Jawa Barat yang lebih tinggi daripada PGR,

sehingga menghasilkan nilai LCRPGR > 1 seperti terlihat pada Gambar 13. Hal ini dapat disimpulkan bahwa laju konsumsi lahan lebih cepat daripada pertumbuhan penduduk secara lintas waktu (periode) dan ruang (wilayah) di perkotaan di Jawa Barat.



Gambar 13. RoC pada level Kota di Provinsi Jawa Barat.

Faktor yang menyebabkan peningkatan efisiensi ini ditunjukkan dari tingkat konsumsi lahan (LCR) maupun pertumbuhan penduduk (PGR) menurun antara dua periode (2016-2018 dan 2018-2020). Nilai LCRPGR yang berada di atas 1 antar dua periode dan antar kota di Jawa Barat pada Tabel 4 menunjukkan pesatnya laju konsumsi lahan sehingga perlu dilakukan evaluasi dalam perencanaan dan pengelolaan lahan agar selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan yang memperkuat urbanisasi yang inklusif dan berkelanjutan serta kapasitas partisipasi, perencanaan penanganan permukiman yang berkelanjutan dan terintegrasi.

UN-Habitat, dalam laporannya tentang SDGs 11 terutama indikator 11.3.1 menjelaskan dari pengembangan kota yang kompak dibandingkan kota yang merata. Kota yang bersifat kompak cenderung lebih fungsional karena kegiatan dan layanan berada dekat dengan masyarakat sehingga membuat kota tersebut dapat diakses dengan berjalan kaki dan membuat pengembangan infrastruktur dan penyediaan layanan dasar yang lebih murah. Hal ini berbanding terbalik jika kota direncanakan dengan konsep merata yang mengalokasikan lahan ke setiap sudut kota setiap populasi bertambah, hal ini menyebabkan pengembangan infrastruktur yang tinggi, degradasi lingkungan, dan kemacetan lalu lintas karena layanan dasar hanya dapat dijangkau dengan transportasi pribadi.

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar dalam menentukan bagaimana pengembangan tata kota yang kompak untuk diterapkan dengan melihat efisiensi dari penggunaan lahan di seluruh kota di Jawa Barat. Penggunaan lahan yang semakin efisien pada periode 2018-2020 dibanding periode 2016-2018 dapat menunjukkan bahwa pengembangan kompak kota-kota di Provinsi Jawa Barat menjadi lebih baik dengan melihat banyaknya bangunan yang terbangun sebagai fungsionalitas kegiatan dan layanan pada masyarakat. Namun, kota-kota

yang mengalami perubahan yang cukup ekstrem seperti Kota Cimahi dan Kota Sukabumi perlu dilakukan perhatian yang lebih khusus untuk melihat apa yang menyebabkan perubahan ekstrem dan bagaimana dampaknya secara sosio ekonomi dan lingkungan.

4. Kesimpulan

Analisis penggunaan lahan dan pertumbuhan penduduk dalam menyusun LCRPGR sebagai indikator SDG 11.3.1 pada seluruh kota di Provinsi Jawa Barat pada periode 2016-2018 dan 2018-2020 menunjukkan bahwa pada tingkat kota di Provinsi Jawa Barat terjadi variasi LCRPGR pada skala ruang dan waktu. Secara keseluruhan, kota di Provinsi Jawa Barat mengalami laju konsumsi lahan yang lebih tinggi dibanding laju pertumbuhan penduduk. Terjadi efisiensi penggunaan lahan pada periode 2018-2020 dibanding periode 2016-2018 dengan terjadi penurunan sedang laju LCRPGR, sebesar -49.92% pada periode 2018-2020. Terjadi penurunan sedang yang pada Kota Cimahi dan Kota Tasikmalaya, bahkan pada periode 2018-2020, Kota Cimahi menjadi satu-satunya wilayah yang mengalami laju pertumbuhan penduduk lebih tinggi dibanding laju penggunaan lahan sedangkan pada Kota Sukabumi terjadi peningkatan yang cukup tinggi dalam penggunaan lahan dibanding pertumbuhan penduduk. Perbedaan perubahan Kota Cimahi dan Kota Sukabumi yang cukup ekstrem dan berbeda dari mayoritas kota-kota di Jawa Barat dapat menjadi perhatian khusus dari pemerintah kota maupun provinsi untuk mengetahui penyebab dan dampaknya di kota-kota tersebut sebagai dasar pembuatan kebijakan yang berbasis pembangunan yang berkelanjutan. Korelasi LCR dan PGR baik tahun 2016-2018 maupun 2018-2020 menunjukkan tren positif namun sangat lemah pada tingkat kota di Jawa Barat, hal ini menunjukkan bahwa terdapat faktor lain dalam mempengaruhi laju penggunaan lahan perkotaan. Diperlukan penelitian lebih lanjut faktor yang mempengaruhi laju penggunaan lahan selain pertumbuhan penduduk seperti faktor sosio-ekonomi dan lingkungan.

Penelitian ini bergantung pada dua kumpulan data untuk menyusun LCRPGR sebagai indikator SDGs 11.3.1, yaitu area terbangun dan populasi. Penggunaan Landsat 8 untuk mencari area terbangun menghadapi kendala kualitas citra dan tutupan awan yang dapat meningkatkan *false alarm* meskipun sudah ada *preprocessing*. Selain itu, faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi lahan dan pertumbuhan populasi seperti rencana pembangunan regional, kebijakan, serta masalah sosio-ekonomi dan lingkungan belum didalami. LCRPGR hanya berdasarkan konsumsi lahan per kapita dan tidak mencakup variabel lain dari berbagai jenis tutupan lahan yang telah berubah. Kelemahan ini menunjukkan bahwa perubahan lingkungan dan sosio-ekonomi belum termasuk dalam kerangka konseptual saat ini. Penelitian ini juga terbatas pada kota di Jawa Barat dan tidak menyertakan daerah penyangga, sehingga efek laju konsumsi lahan dan pertumbuhan penduduk pada daerah sekitarnya tidak dapat dijelaskan. Dengan mengetahui laju konsumsi lahan dan pertumbuhan penduduk, analisis lebih lanjut dapat dilakukan pada aspek sosio-ekonomi dan lingkungan serta daerah penyangga dalam perkembangan SDGs 11.3.1.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh dosen dan civitas akademika Politeknik Statistika STIS yang telah berkontribusi baik berupa bimbingan, arahan, dan data sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Referensi

- [1] Utoyo B. Dinamika Penggunaan Lahan di Wilayah Perkotaan (Studi di Kota Bandar Lampung). Pros. Semin. Has. Penelit. FISIP Unila, 2012.
- [2] Wijaya N. Deteksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Citra Landsat dan Sistem Informasi Geografis: Studi Kasus di Wilayah Metropolitan Bandung, Indonesia. *Geoplanning J Geomatics Plan* 2015;2. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.2.2.82-92>.
- [3] Misa DPP, Moniaga IL, Lahamendu V. Penggunaan Lahan Kawasan Perkotaan berdasarkan Fungsi Kawasan. *Spasial* 2018;5:171–8.
- [4] Prihatin RB. Alih fungsi lahan di perkotaan (Studi kasus di Kota Bandung dan Yogyakarta). *J Aspir* 2015;6:105–18.
- [5] Suryani S, Nurjasmu R, Fitri R. Pemanfaatan Lahan Sempit Perkotaan untuk Kemandirian Pangan Keluarga. *J Ilm Respati* 2020;11:93–102. <https://doi.org/10.52643/jir.v11i2.1102>.
- [6] Prasodjo I. Dampak Urbanisasi bagi Pembangunan Manusia 2010-2016 Studi Kasus: Jakarta, Surabaya dan Medan. *J Ekon* 2018;23:305. <https://doi.org/10.24912/je.v23i3.415>.
- [7] Saputro A. Urban Crisis Produk Kegagalan Urbanisasi di Indonesia. *Sosiol Reflektif* 2020;15:173–94.
- [8] Anggraeni FA. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Peningkatan Urbanisasi di Kota Jakarta dan Surabaya Pada Tahun 2020-2021. *J Ekon Bisnis Dan Akunt* 2022;2:41–53. <https://doi.org/10.55606/jebaku.v2i2.115>.
- [9] Adam FP. Tren Urbanisasi di Indonesia. *Piramida* 2010;6:1–15.
- [10] Kartiasih F, Pribadi W. Environmental Quality and Poverty in Indonesia. *J Pengelolaan Sumberd Alam Dan Lingkung (Journal Nat Resour Environ Manag* 2020;10:89–97. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.1.89-97>.
- [11] Calka B, Orych A, Bielecka E, Mozuriunaite S. The Ratio of the Land Consumption Rate to the Population Growth Rate: A Framework for the Achievement of the Spatiotemporal Pattern in Poland and Lithuania. *Remote Sens* 2022;14:1074. <https://doi.org/10.3390/rs14051074>.
- [12] Widiawaty MA. Faktor-Faktor Urbanisasi di Indonesia 2019. <https://doi.org/10.31227/osf.io/vzpsw>.
- [13] Badan Pusat Statistik. Jumlah Penduduk menurut Kelompok Umur, Daerah Perkotaan/Perdesaan, Kewarganegaraan, dan Jenis Kelamin, Indonesia, Tahun 2022. Jakarta: 2022.
- [14] Harahap FR. Dampak Urbanisasi bagi Perkembangan Kota di Indonesia. *Society* 2013;1:35–45. <https://doi.org/10.33019/society.v1i1.40>.
- [15] Badan Pusat Statistik. Kepadatan Penduduk menurut Provinsi (jiwa/km²). Jakarta: 2021.

- [16] Badan Pusat Statistik. Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia (Ribu Jiwa), 2020-2022. Jakarta: 2022.
- [17] Fariz TR, Daeni F, Sultan H. Pemetaan Perubahan Penutup Lahan Di Sub-DAS Kreo Menggunakan Machine Learning Pada Google Earth Engine. *J Sumberd Alam Dan Lingkungan* 2021;8:85–92. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2021.008.02.4>.
- [18] Rahmawati AD, Asy'Ari R, Fathonah MA, Priyanto, Zamani NP, Pramulya R, et al. Vegetation-Water-Built Up Index Combined: Algorithm Indices Combination for Characterization and distribution of Mangrove Forest through Google Earth Engine. *Celeb Agric* 2022;3:20–42. <https://doi.org/10.52045/jca.v3i1.298>.
- [19] Roy DP, Wulder MA, Loveland TR, C.E. W, Allen RG, Anderson MC, et al. Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sens Environ* 2014;145:154–72. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>.
- [20] Guha S, Govil H, Dey A, Gill N. Analytical Study of Land Surface Temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS Data in Florence and Naples City, Italy. *Eur J Remote Sens* 2018;51:667–78. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>.
- [21] Bhatti SS, Tripathi NK. Built-up Area Extraction using Landsat 8 OLI Imagery. *GIScience Remote Sens* 2014;51:445–67. <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.939539>.
- [22] Fahrudin F, Tambunan MM. Pemodelan Urban Change SDGS 11.3. 1 dalam Mendukung Municipal Comprehensive Planning di Kota Mang. Kamikawa (*Jurnal Perenc Pembang Dan Inovasi*) 2021;1:26–35.
- [23] Estoque RC, Ooba M, Togawa T, Hijioka Y, Murayama Y. Monitoring Global Land-Use Efficiency in the Context of the UN 2030 Agenda for Sustainable Development. *Habitat Int* 2021;115:102403. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102403>.
- [24] Roy DP, Kovalskyy V, Zhang HK, Vermote EF, Yan L, Kumar SS, et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 Reflective Wavelength and Normalized Difference Vegetation Index Continuity. *Remote Sens Environ* 2016;185:57–70. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>.
- [25] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of Normalized Difference Built-Up index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery. *Int J Remote Sens* 2003;24:583–94. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.
- [26] Watik N, Jaelani LM. Flood Evacuation Routes Mapping based on Derived-Flood Impact Analysis from Landsat 8 Imagery using Network Analyst Method. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci* 2019;XLII-3/W8:455–60. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-455-2019>.
- [27] United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Metadata on SDG Indicator 11.3.1: Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate. UN-Habitat 2020.
- [28] Wang Y, Huang C, Feng Y, Zhao M, Gu J. Using Earth Observation for Monitoring SDG 11.3.1-Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate in Mainland China. *Remote Sens* 2020;12:357. <https://doi.org/10.3390/rs12030357>.
- [29] Franzese M, Iuliano A. Correlation Analysis. *Encycl. Bioinforma. Comput. Biol. ABC Bioinforma.*, vol. 1, Elsevier; 2018, p. 706–21.