

Penelusuran Transformasi Pertumbuhan Lahan Terbangun Selama Dua Dekade (Tahun 2004-2024) di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau

Eggy Arya Giofandi¹, Dhanu Sekarjati²

¹IPB University, Indonesia

²Khon Kaen University, Thailand

e-mail: aryaeggy15@gmail.com

Received: 04/05/2025; Revised: 03/11/2025; Accepted: 03/11/2025; Published: 05/12/2025

ABSTRACT

This study analyzes the spatiotemporal dynamics of built-up land growth in Pekanbaru City over two decades (2004–2024) using a remote sensing approach based on the Normalized Difference Built-up Index (NDBI). Satellite imagery from the United States Geological Survey (USGS) was processed using the Google Earth Engine (GEE) platform to calculate NDBI values and identify expansion trends. The results indicate a significant increase in built-up land, reaching 20,958.74 hectares (32.80% of the total area) by 2024. The most substantial growth occurred in suburban areas, particularly in the Tuahmadani and Marpoyan Damai districts, driven by rapid economic development and infrastructure expansion. This transformation from vegetated spaces to impervious surfaces has reduced water catchment capacity, thereby increasing urban flooding potential. While this study is limited by the 30-meter resolution of the imagery—which constrains detailed functional classification (e.g., residential vs. commercial)—it underscores the urgent need for adaptive spatial planning. Future research should employ high-resolution imagery for more precise classification. Ultimately, these findings assist local governments in controlling urban sprawl, improving spatial plan effectiveness, and balancing urban growth with environmental carrying capacity.

Key words : Built-up Land, Normalized Difference Built-up Index, Pekanbaru City, Sustainability

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika spasial dan temporal pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru selama dua dekade, yaitu periode 2004–2024, dengan menggunakan pendekatan penginderaan jauh melalui algoritma *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). Data penelitian berasal dari citra satelit yang bersumber dari *United States Geological Survey* menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Nilai NDBI dihitung untuk setiap periode pengamatan, kemudian mengidentifikasi pola perubahan dan tren ekspansi wilayah terbangun. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan luas lahan terbangun mencapai 20.958,74 hektar atau 32.80% dari total wilayah pengamatan selama periode 2004–2024. Pertumbuhan tertinggi terjadi di kawasan pinggiran kota, khususnya di Kecamatan Tuahmadani dan Marpoyan Damai, yang mengalami ekspansi cepat akibat perkembangan aktivitas ekonomi, serta pembangunan infrastruktur pendukung. Transformasi penggunaan lahan dari vegetasi dan ruang terbuka hijau menjadi permukaan kedap air berdampak pada menurunnya kapasitas daerah resapan air, meningkatnya potensi banjir. Fenomena ini menunjukkan perlunya pengendalian tata ruang yang lebih adaptif dan berwawasan lingkungan. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada resolusi spasial citra yang digunakan, sehingga belum mampu mengidentifikasi fungsi spesifik lahan terbangun seperti kawasan permukiman, pendidikan, perkantoran, atau perdagangan secara detail. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan citra beresolusi tinggi. Selanjutnya, penelitian ini dapat digunakan oleh pemerintah daerah dalam mengendalikan ekspansi lahan terbangun, efektivitas rencana tata ruang wilayah, dan mengoptimalkan antara pertumbuhan kota dan daya dukung lingkungan.

Kata Kunci: Lahan Terbangun, NDBI, Kota Pekanbaru, Berkelanjutan

PENDAHULUAN

Pertumbuhan wilayah terbangun merupakan salah satu indikator utama dinamika spasial dan perubahan tata guna lahan di kawasan perkotaan. Salah satu perubahan yang paling mencolok melalui meningkatnya area terbangun pada pinggiran kota, yang mencerminkan dinamika spasial sekaligus tekanan terhadap lingkungan perkotaan (Asabere et al., 2020). Pertumbuhan wilayah terbangun tidak hanya menjadi indikator urbanisasi, tetapi juga membawa dampak terhadap pola tata ruang, daya dukung lingkungan, serta arah pembangunan kota secara keseluruhan (Wolff et al., 2017).

Secara umum, kondisi ini didorong oleh peningkatan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi lokal, dan pembangunan infrastruktur yang masif (Pandey et al., 2025). Beberapa kejadian terkait ekspansi kawasan terbangun menggeser keberadaan ruang terbuka hijau, lahan pertanian, maupun ekosistem alami lainnya (Hailu et al., 2024). Ketika perubahan tidak dikelola secara tepat, maka akan muncul persoalan tata ruang seperti bencana hidrometeorologi, kemacetan, dan penurunan kualitas lingkungan (Hersperger et al., 2018). Oleh karena itu, pemahaman terhadap pola perubahan lahan terbangun menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan kota yang berkelanjutan.

Teknologi penginderaan jauh telah memberikan kontribusi besar dalam pemantauan perubahan tutupan lahan secara efisien dan akurat (Chughtai et al., 2021). Pendekatan yang dibangun dari pengaplikasian algoritma *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) menjadi satu pendekatan yang terbukti efektif untuk mendeteksi area

terbangun (Ichsan Ali et al., 2019). Algoritma ini memanfaatkan citra satelit untuk membedakan antara permukaan buatan dan alami, sehingga sesuai apabila digunakan dalam pemantauan jangka panjang terhadap perkembangan wilayah perkotaan (Kebede et al., 2022). Selain itu, NDBI telah diterapkan di berbagai penelitian dan menghasilkan pemahaman yang lebih baik mengenai dinamika penggunaan lahan (Estoque & Murayama, 2015).

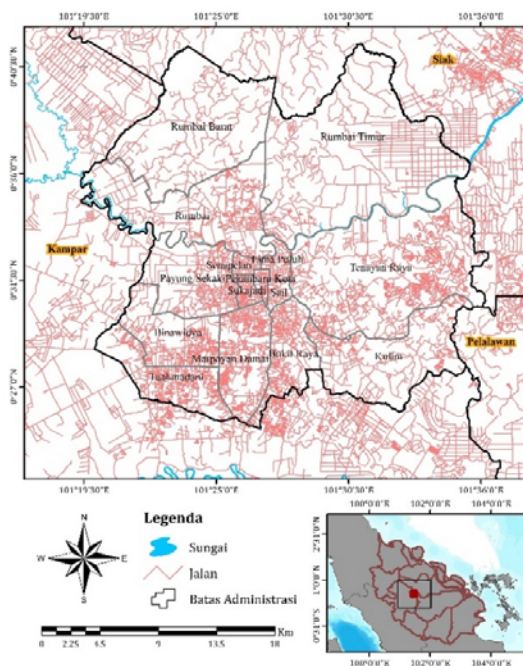
Di sisi lain, pendekatan ini masih tergolong minim kajian yang secara spesifik pada wilayah tropis basah, terutama pada konteks lokal seperti Kota Pekanbaru, Indonesia. Wilayah perkotaan sering kali mengalami pertumbuhan pesat, umumnya terdapat dinamika spasial yang menarik untuk dianalisis dan dilakukan penelusuran (Zheng et al., 2021). Sejumlah studi sebelumnya telah menunjukkan efektivitas NDBI dalam mendeteksi perubahan lahan terbangun. Penggunaan analisis multi-temporal dengan interval tahun tertentu dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang pola-pola pertumbuhan lahan terbangun (Leyk et al., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru dalam kurun waktu dua dekade terakhir, yaitu tahun 2004 hingga 2024, menggunakan algoritma NDBI berbasis citra satelit secara komprehensif. Temuan dari penelitian diharapkan dapat memberikan informasi terbaru dan aplikatif dalam mendukung perencanaan tata ruang yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Selain itu, hasil ini juga dapat dimanfaatkan dalam evaluasi dampak lingkungan dan penentuan arah

pembangunan kota yang lebih ramah lingkungan dan inklusif bagi seluruh pemangku kepentingan.

METODE

Metode Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dinamika pertumbuhan wilayah terbangun di Kota Pekanbaru selama periode 2004 hingga 2024 dengan pengaplikasian data penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG). Keseluruhan tahapan dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan informasi spasial lahan terbangun. Selain itu, proses ini juga mempertimbangkan aspek teknis seperti seleksi data bebas awan dan pemrosesan berbasis platform *Google Earth Engine* (GEE).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Pekanbaru dengan luasan wilayah 639 km², sebagai ibu kota Provinsi Riau dengan salah satu pusat pertumbuhan ekonomi utama di Pulau Sumatera,

Indonesia. Secara geografis, Pekanbaru terletak pada koordinat 0°25'30"-0°43'15" Lintang Utara dan 101°14'30"-101°34'0" Bujur Timur. Kota Pekanbaru mengalami perkembangan paling pesat dari segi infrastruktur, pemukiman, serta aktivitas ekonomi di Provinsi Riau.

Pra-Pengolahan dan Sumber Data

Penelitian ini mengaplikasikan data citra satelit multi-spektral yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) untuk menganalisis pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru dan wilayah pinggirannya selama dua dekade terakhir yaitu tahun 2004 hingga 2024. Citra yang digunakan mencakup Landsat 5 TM untuk tahun 2004, 2008, dan 2012, serta Landsat 8 OLI-TIRS untuk tahun 2016, 2020, dan 2024 (Tabel 1). Pemilihan citra mempertimbangkan tutupan awan yang rendah (<20%) guna menjamin kualitas data.

Tabel 1.
Karakteristik Data Penelitian

Tahun	Satelit	Sensor
2004	Landsat 5	TM
2008	Landsat 5	TM
2012	Landsat 5	TM
2016	Landsat 8	OLI-TIRS
2020	Landsat 8	OLI-TIRS
2024	Landsat 8	OLI-TIRS

Sumber : *United States Geological Survey, 2025*

Tahapan awal, batas daerah pengamatan ditetapkan berdasarkan batas administratif Kota Pekanbaru yang diperluas secara spasial menggunakan area persegi (*rectangle*). Data ini bertujuan untuk mencakup kawasan pinggiran kota yang potensial mengalami pertumbuhan lahan terbangun akibat urbanisasi dan perluasan fungsi kota. Batas wilayah

dibangun dari data batas administratif resmi yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), kemudian diproses menggunakan software sistem informasi geografis (SIG).

Pengolahan data dilakukan melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) untuk memfasilitasi praproses seperti koreksi atmosferik, pemotongan area studi, komposit citra, dan penanganan keberadaan awan. Selanjutnya, data hasil praproses dianalisis menggunakan algoritma *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) untuk mengekstraksi wilayah terbangun secara spasial dan multi-temporal. Visualisasi dan interpretasi spasial hasil dilakukan dengan perangkat lunak SIG untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang dinamika pertumbuhan lahan terbangun.

Normalized Difference Built-up Index

Proses mendeteksi dan menganalisis pertumbuhan wilayah terbangun di Kota Pekanbaru menggunakan pendekatan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). NDBI menjadi salah satu indeks berbasis citra satelit yang efektif dalam membedakan antara area terbangun dan non-terbangun (Muhaimin et al., 2022). Indeks ini dikembangkan dari perbedaan spektral antara kanal *Shortwave Infrared* (SWIR) dan *Near Infrared* (NIR) yang tersedia pada citra Landsat (Zha et al., 2003). Adapun persamaan yang digunakan ialah sebagai berikut.

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

Pada citra Landsat 5 TM, kanal SWIR terdapat di dalam Band 5, dan NIR dalam Band 4. Sedangkan pada Landsat 8 OLI, SWIR pada Band 6, dan

NIR di dalam Band 5. Nilai indeks yang dihasilkan berkisar dari -1 hingga 1. Area dengan nilai NDBI positif umumnya mengindikasikan permukaan terbangun, sementara nilai negatif cenderung menunjukkan tutupan vegetasi atau badan air. Pendekatan NDBI mampu menangkap perubahan tersebut secara efisien dalam skala spasial dan temporal yang luas, serta menawarkan proses klasifikasi relatif akurat tanpa memerlukan data tambahan (Varshney, 2013).

Selain itu, sifatnya yang otomatis dan konsisten membuatnya dapat dipergunakan dalam analisis multi-temporal untuk memantau pertumbuhan wilayah terbangun dalam rentang waktu tertentu (Mahdi & Jasim, 2024). Data hasil pengolahan NDBI ini akan menjadi basis utama untuk pembuatan peta pertumbuhan lahan terbangun dan sebagai input pada analisis lanjutan dalam perencanaan tata ruang yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

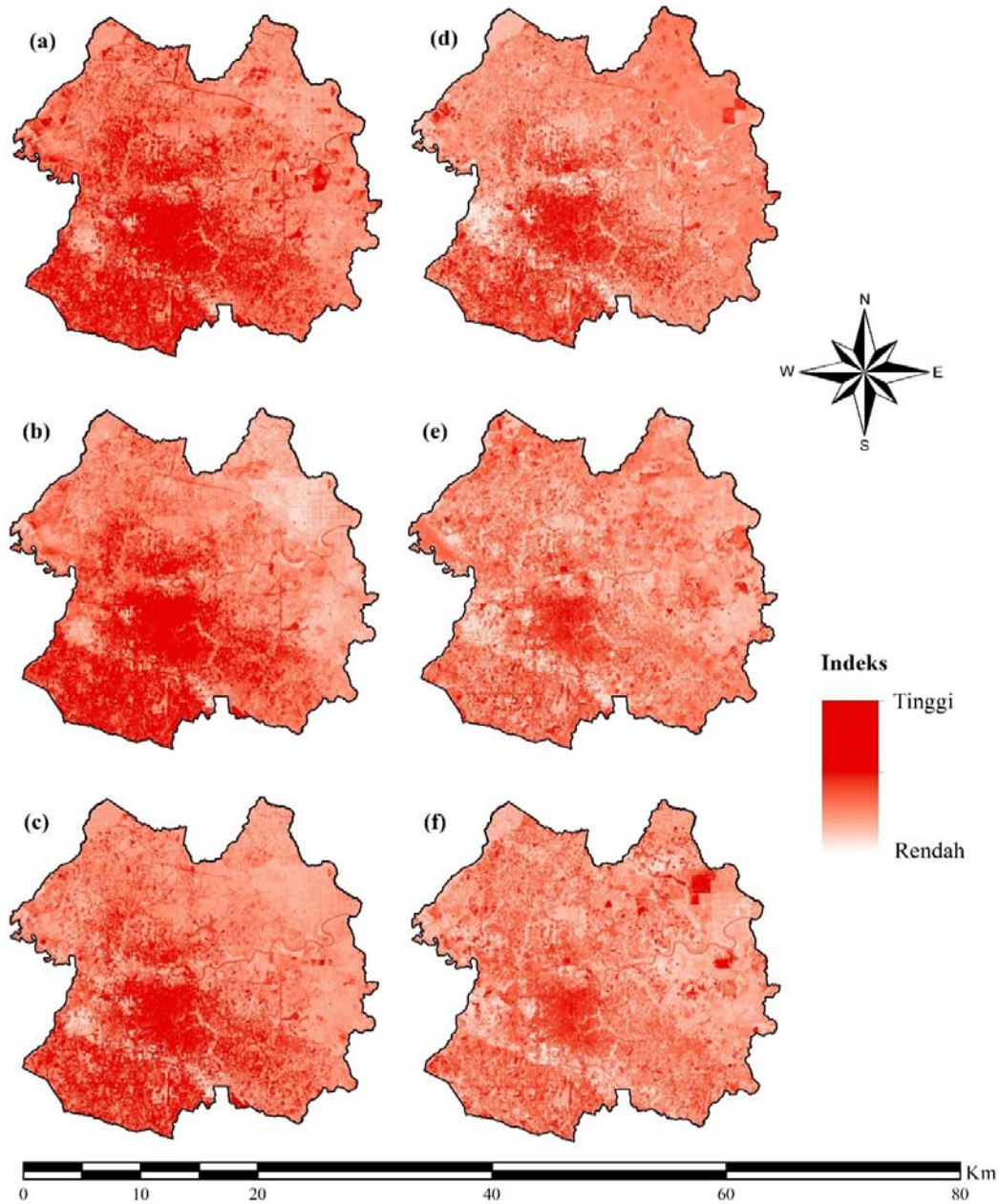
Bagian ini menyajikan hasil analisis spasial terhadap pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru dalam rentang waktu dua dekade terakhir. Penelitian ini menggunakan pendekatan penginderaan jauh berbasis transformasi *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) untuk mengidentifikasi dan memvisualisasikan dinamika temporal kawasan terbangun dari tahun 2004 hingga 2024.

NDBI Tahun 2004 hingga 2024

Pertumbuhan lahan terbangun dan perubahan tutupan lahan dapat dimonitor secara kuantitatif melalui pendekatan transformasi spektral

berbasis data penginderaan jauh. Penelitian ini memanfaatkan transformasi NDBI untuk mengevaluasi dinamika spasial dan temporal ekspansi kawasan terbangun di Kota Pekanbaru selama dua dekade terakhir, dari tahun 2004 hingga 2024. Selain itu, hasil visualisasi data dalam

bentuk peta indeks NDBI (Gambar 2), serta nilai transformasi NDBI tertinggi dan terendah setiap tahun (Tabel 2). Hal ini dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai tren pembangunan dan urbanisasi di kota Pekanbaru.



Gambar 2. Normalized Difference Built-up Index Kota Pekanbaru tahun (a) 2024, (b) 2020, (c) 2016, (d) 2012, (e) 2008, dan (f) 2004 (Hasil Analisis, 2025)

Pada bagian ini rentang warna yang digunakan berkisar dari merah muda dengan indeks rendah (lahan tidak terbangun), hingga merah tua dengan indeks tinggi (lahan terbangun), yang menggambarkan intensitas keberadaan lahan terbangun di tiap periode.

Pada tahun 2004, area dengan nilai NDBI tinggi terlihat masih terkonsentrasi di pusat kota, dengan dominasi warna merah tua yang terbatas. Area di luar inti kota didominasi oleh rona merah muda hingga merah sedang. Keberadaan ini menunjukkan bahwa urbanisasi masih terfokus pada zona pusat. Selanjutnya, pada tahun 2008 terlihat perluasan rona merah tua yang mengindikasikan peningkatan nilai NDBI. Hal ini memperlihatkan indikasi awal dari ekspansi kawasan terbangun yang lebih menyebar ke wilayah luar pusat kota. Sebaliknya, di tahun 2012 terjadi penurunan dominasi rona merah tua di beberapa bagian pusat kota dan peningkatan area merah sedang. Ini mengindikasikan adanya variasi dalam nilai NDBI dan kemungkinan transisi fungsi lahan yang lebih kompleks. Nilai NDBI yang menurun sering kali akibat penutupan lahan atau perbedaan kondisi reflektansi permukaan akibat heterogenitas penggunaan lahan di wilayah perkotaan (Roy et al., 2020).

Pada tahun 2016 persebaran nilai NDBI tinggi yang lebih luas dibanding tahun sebelumnya, terutama ke arah barat dan barat daya. Warna merah tua menjadi lebih merata di berbagai bagian kota. Hal ini mencerminkan peningkatan signifikan dalam luasan lahan terbangun, meskipun terdapat area kecil yang tetap berada dalam kategori nilai rendah. Kemudian, pada tahun 2020 dan 2024 dengan warna merah tua tampak semakin dominan,

terutama di bagian tengah dan selatan wilayah pengamatan. Pada tahun 2024 menunjukkan puncak persebaran nilai NDBI tinggi, menggambarkan fase ekspansi maksimum selama periode pengamatan. Hal ini menunjukkan peningkatan intensitas pembangunan dan perluasan lahan terbangun yang bertumbuh pesat hingga melewati batas administrasi Kota Pekanbaru.

Tabel 2.
Nilai Indeks NDBI selama periode pengamatan

Tahun	Indeks NDBI	
	Tertinggi	Terendah
2004	0.45	-0.34
2008	0.51	-0.31
2012	0.25	-0.28
2016	0.31	-0.37
2020	0.23	-0.34
2024	0.41	-0.39

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Nilai tertinggi NDBI mengalami fluktuasi selama periode 2004 hingga 2024. Nilai tertinggi dicapai pada tahun 2008 (0,51), menunjukkan kondisi reflektansi permukaan yang sangat dominan oleh fitur terbangun. Setelahnya, terjadi penurunan nilai tertinggi pada tahun 2012 (0,25) dan 2020 (0,23), yang kemudian kembali meningkat pada tahun 2024 (0,41). Fluktuasi ini dapat mencerminkan dinamika perubahan material permukaan lahan serta komposisi tutupan lahan terbangun di kawasan urban.

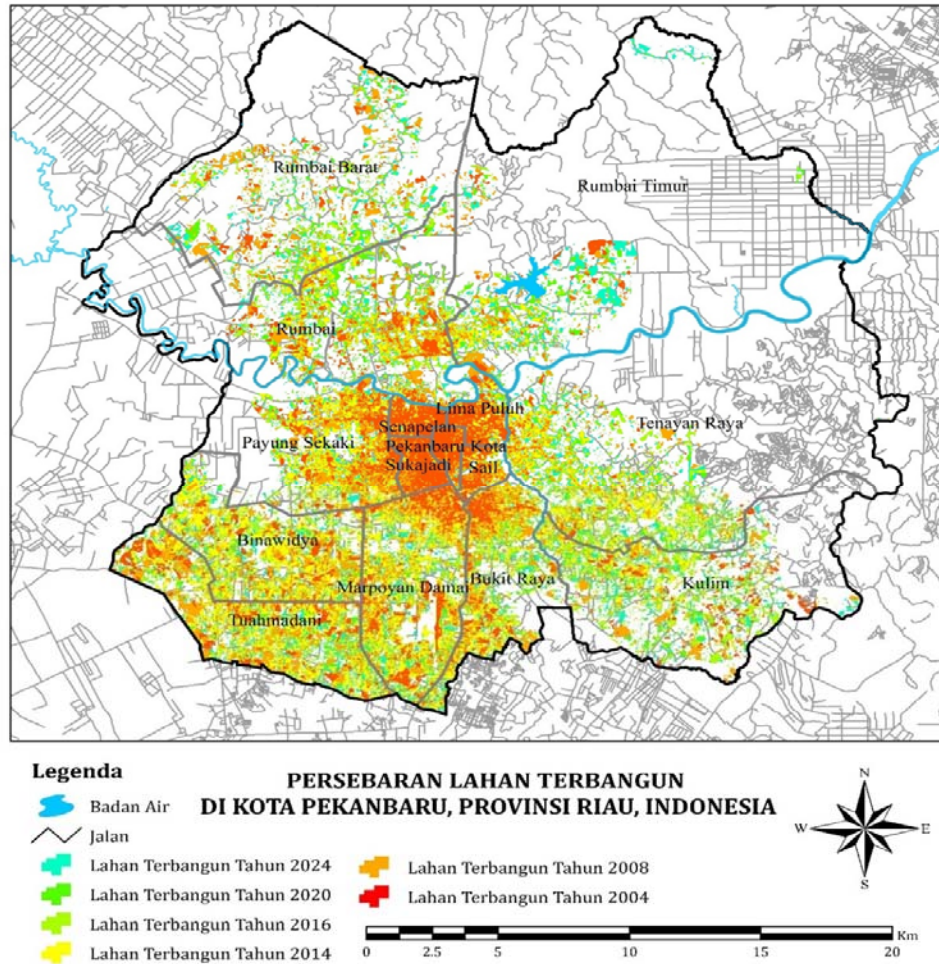
Sementara itu, nilai terendah NDBI berada di kisaran -0,39 hingga -0,28 selama periode pengamatan. Nilai negatif ini mengindikasikan keberadaan lahan non-terbangun seperti vegetasi, badan air, atau tanah terbuka. Tren nilai minimum relatif stabil dari waktu ke waktu,

menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan lahan terbangun, masih terdapat area dengan karakteristik permukaan yang tidak berubah secara signifikan. Meskipun nilai maksimum dan minimum mengalami fluktuasi, tren umum tetap menunjukkan peningkatan intensitas nilai NDBI secara spasial.

Pertumbuhan Lahan Terbangun

Pertumbuhan dan peningkatan lahan terbangun di wilayah perkotaan sebagai salah satu indikator utama dalam mengukur perubahan lahan dan laju urbanisasi. Sebagai salah satu kota besar di pulau Sumatra yaitu Kota

Pekanbaru telah mengalami pertumbuhan signifikan selama dua dekade terakhir. Pemanfaatan indeks NDBI yang berbasis pada data penginderaan jauh menjadi pendekatan efektif untuk memantau dinamika ini secara spasial dan temporal. Hasil analisis spasial terhadap luas dan distribusi lahan terbangun di Kota Pekanbaru pada rentang waktu 2004 hingga 2024 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3. Temuan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai ekspansi kawasan terbangun khususnya di wilayah pinggiran kota.



Gambar 3. Persebaran lahan terbangun di Kota Pekanbaru selama 20 tahun terakhir (Hasil Analisis, 2025)

Pada tahun 2004, luas lahan terbangun di wilayah pengamatan tercatat sebesar 6.17% dari luas wilayah pengamatan. Konsentrasi lahan terbangun pada tahun ini cenderung terkonsentrasi di pusat kota, terutama di kawasan komersial dan permukiman lama. Laju pertumbuhan masih tergolong awal dan terkonsentrasi di wilayah inti kota. Warna merah pada peta menggambarkan distribusi spasial lahan terbangun pada tahun 2004 yang belum menjangkau kawasan pinggiran.

Tabel 3.

Luas dan Persentase Lahan Terbangun di Wilayah Pengamatan

Tahun	Luas (ha)	Persen (%)
2004	3.945,15	6.17
2008	8.813,68	13.79
2012	13.414,75	20.99
2016	16.507,68	25.83
2020	18.628,90	29.15
2024	20.958,74	32.80

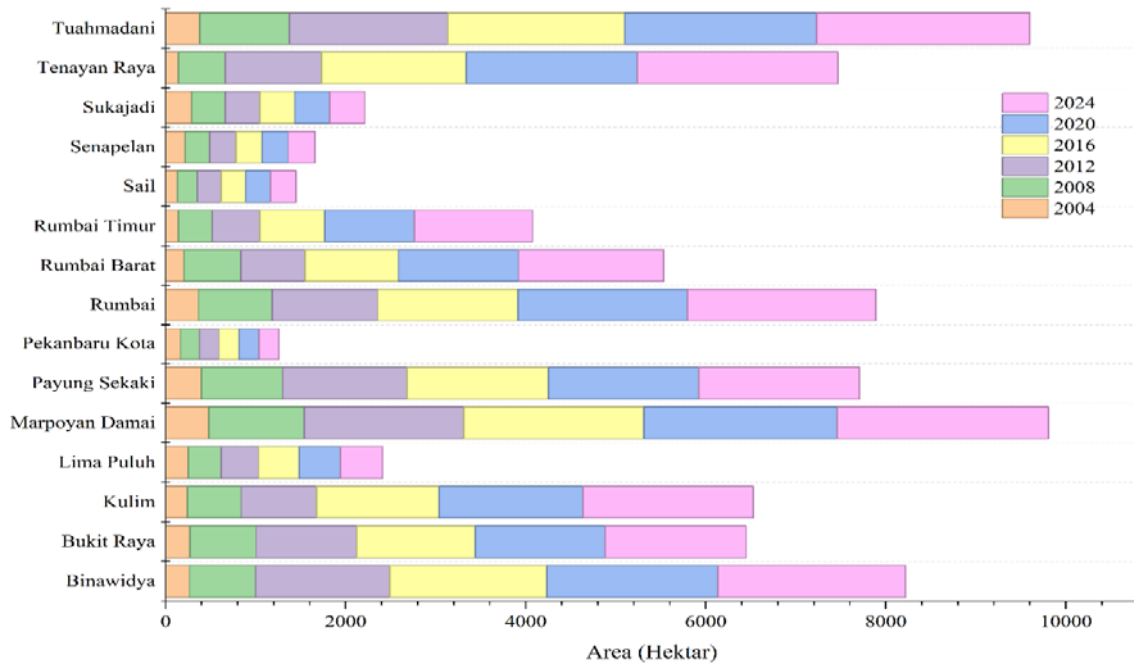
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Pada periode selanjutnya menunjukkan peningkatan lahan terbangun. Secara spesifik pada tahun 2008 luas lahan terbangun meningkat 13.79%. Ekspansi ini menunjukkan proses suburbanisasi mulai terjadi, khususnya ke arah timur laut dan barat daya kota. Faktor pendorong utama peningkatan kebutuhan perumahan dan kawasan komersial, sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi kota (Toure et al., 2018). Warna oranye pada peta menunjukkan area baru yang menjadi kawasan terbangun selama periode tersebut. Tren pertumbuhan lahan terbangun terus berlanjut pada tahun 2012 dengan luas mencapai 20.99%. Ekspansi wilayah terbangun menjadi

semakin menyebar, memperlihatkan pola penyebaran yang lebih merata ke wilayah pinggiran kota. Hal ini mengindikasikan bahwa tekanan pembangunan sudah mulai menjangkau batas administratif Kota Pekanbaru dan bahkan meluas ke daerah luar administratif yang termasuk dalam wilayah pengamatan. Hal ini terlihat dari warna kuning yang menunjukkan adanya perluasan signifikan selama tahun 2012.

Selain itu, lahan terbangun di tahun 2016 meningkat hingga mencapai 25.83%. Hal ini ditemukan melalui perkembangan kawasan permukiman baru dan pembangunan infrastruktur pendukung aktivitas, termasuk jalan, pusat perbelanjaan, dan fasilitas umum lainnya. Perkembangan ini menandakan transisi dari konsentrasi pembangunan di pusat kota ke kawasan *urban fringe*, yang kerap kali belum memiliki perencanaan ruang yang optimal (Yang et al., 2022). Di sisi lain, distribusi spasial memperlihatkan pola pembangunan mengikuti jaringan jalan utama.

Pada tahun 2020 dan 2024 terjadi peningkatan lahan terbangun dengan masing-masing tercatat sebesar 29.15% dan 32.80%. Ekspansi ini menunjukkan bahwa pembangunan perkotaan terus berlanjut dengan intensitas yang relatif tinggi meskipun sedikit melambat dibandingkan periode sebelumnya. Penyebaran spasial yang terjadi semakin banyak wilayah luar kota dengan konversi menjadi permukiman dan area komersial (Di Nicola et al., 2022). Fenomena ini mengindikasikan adanya transformasi kawasan pinggiran menjadi bagian dari jaringan kota secara fungsional dan spasial (Chen et al., 2017).



Gambar 4. Grafik pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru selama 20 tahun terakhir
(Hasil Analisis, 2025)

Tabel 4.
Luas dan persentase pertumbuhan lahan terbangun selama 20 tahun pada seluruh kecamatan di Kota Pekanbaru

Kecamatan	2004		2008		2012		2016		2020		2024	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Binawidya	265,34	6.73	731,57	8.30	1.495,09	11.15	1.743,84	10.56	1.899,61	10.20	2.085,54	9.95
Bukit Raya	271,47	6.88	733,46	8.32	1.115,56	8.32	1.322,30	8.01	1.438,63	7.72	1.568,23	7.48
Kulim	243,41	6.17	596,67	6.77	834,07	6.22	1.367,00	8.28	1.592,62	8.55	1.892,68	9.03
Lima Puluh	251,10	6.36	364,21	4.13	417,63	3.11	448,68	2.72	459,11	2.46	470,61	2.25
Marpoyan Damai	480,95	12.19	1.060,61	12.03	1.770,88	13.20	1.998,26	12.11	2.148,42	11.53	2.346,22	11.19
Payung Sekaki	397,34	10.07	902,04	10.23	1.385,35	10.33	1.569,19	9.51	1.667,58	8.95	1.787,16	8.53
Pekanbaru Kota	165,48	4.19	209,86	2.38	218,93	1.63	220,83	1.34	221,55	1.19	223,00	1.06
Rumbai	365,80	9.27	819,16	9.29	1.173,23	8.75	1.554,89	9.42	1.883,34	10.11	2.093,29	9.99
Rumbai Barat	201,98	5.12	633,86	7.19	715,44	5.33	1.035,17	6.27	1.334,29	7.16	1.613,97	7.70
Rumbai Timur	141,25	3.58	377,67	4.29	526,32	3.92	723,70	4.38	995,38	5.34	1.311,34	6.26
Sail	129,37	3.28	223,03	2.53	263,24	1.96	271,75	1.65	277,85	1.49	285,21	1.36
Senapelan	218,60	5.54	270,76	3.07	289,02	2.15	291,59	1.77	292,65	1.57	294,22	1.40
Sukajadi	291,03	7.38	371,69	4.22	384,87	2.87	387,55	2.35	388,13	2.08	388,65	1.85
Tenayan Raya	144,25	3.66	519,51	5.89	1.066,80	7.95	1.609,20	9.75	1.898,74	10.19	2.229,47	10.64
Tuahmadani	377,77	9.58	999,58	11.34	1.758,31	13.11	1.963,74	11.90	2.131,03	11.44	2.369,15	11.30

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Pertumbuhan lahan terbangun di Kota Pekanbaru selama periode 2004–2024 menunjukkan variasi spasial yang signifikan antar-kecamatan (Gambar 4 dan Tabel 4). Secara umum, ekspansi tertinggi terjadi pada awal periode pengamatan, yaitu tahun 2004–2008, dengan peningkatan luas lahan terbangun sebesar 6.756,57 ha atau 4,49%. Pada tahap ini, pertumbuhan terfokus di Kecamatan Tuahmadani, Rumbai, dan Marpoyan Damai, masing-masing meningkat dari 377,77 ha menjadi 999,58 ha, 365,80 ha menjadi 819,16 ha, dan 480,95 ha menjadi 1.060,61 ha. Ketiga wilayah tersebut menandai fase awal ekspansi perkotaan yang meluas ke arah utara dan timur, seiring dengan meningkatnya pembangunan kawasan perumahan dan aktivitas ekonomi baru di luar pusat kota.

Pada periode 2008–2012, peningkatan luas lahan terbangun mencapai 6.405,73 ha (4,26%), dengan konsentrasi tertinggi di Binawidya, Payung Sekaki, dan Tenayan Raya. Kecamatan Binawidya meningkat dari 731,57 ha menjadi 1.495,09 ha, sementara Payung Sekaki dan Tenayan Raya masing-masing naik menjadi 1.385,35 ha dan 1.066,80 ha. Pertumbuhan ini menunjukkan dorongan kuat dari ekspansi permukiman dan fungsi komersial yang mengikuti jalur transportasi utama menjadi koridor urban utama di bagian barat dan timur kota. Pada periode ini, pola pembangunan menunjukkan karakteristik linear growth, mengikuti arah jalan arteri dan jaringan transportasi yang menghubungkan pusat kota dengan kawasan suburban.

Selanjutnya, periode 2012–2016 menunjukkan peningkatan lahan terbangun sebesar 5.283,50 ha

(3,51%) dengan sebaran yang lebih merata. Pertumbuhan signifikan masih terjadi di Rumbai, Tuahmadani, dan Tenayan Raya, yang menandai pergeseran peran wilayah utara dan timur sebagai pusat pertumbuhan baru. Pola perkembangan ini didorong oleh pembangunan infrastruktur pendukung seperti jalan lingkar, jembatan penghubung antarwilayah, dan kawasan perdagangan lokal. Peningkatan intensitas lahan terbangun menunjukkan adanya transformasi morfologi kota dari struktur tunggal menjadi multi-nodal, di mana beberapa sub-pusat aktivitas ekonomi mulai terbentuk di luar inti kota.

Pada dua periode terakhir, yaitu 2016–2020 dan 2020–2024, laju pertumbuhan lahan terbangun masing-masing sebesar 3.790,34 ha (2,52%) dan 4.119,41 ha (2,74%). Ekspansi tetap berlangsung meskipun dengan laju yang lebih terkendali, dengan dominasi peningkatan di Marpoyan Damai, Tuahmadani, dan Tenayan Raya. Pada tahun 2024, ketiga kecamatan tersebut mencatat luas lahan terbangun tertinggi berturut-turut sebesar 10.342,16 ha, 2.369,15 ha, dan 2.229,47 ha, menunjukkan pergeseran pusat pertumbuhan dari kawasan inti menuju koridor timur-selatan kota.

Peningkatan lahan terbangun yang masif terutama di Tuahmadani dan Tenayan Raya menyebabkan berkurangnya ruang hijau alami dan daerah resapan air, yang sebelumnya berupa vegetasi lebat dan lahan terbuka di sekitar aliran sungai kecil dan rawa. Transformasi tersebut telah meningkatkan proporsi permukaan kedap air (*impervious surface*) yang berdampak langsung pada berkurangnya infiltrasi air tanah,

meningkatnya limpasan permukaan, dan frekuensi banjir lokal (Govil et al., 2019). Fenomena ini menjadi salah satu faktor yang menjelaskan terkait kejadian banjir di Kecamatan Tuahmadani lebih sering dan meluas dibandingkan wilayah lain, karena sebagian besar area permukiman baru berkembang di atas lahan rendah yang sebelumnya berfungsi sebagai daerah tangkapan air alami.

Selain berdampak terhadap hidrologi, konversi lahan hijau menjadi area terbangun juga mengubah mikroklimat dan keseimbangan ekosistem perkotaan. Peningkatan luas permukaan bangunan, jalan beraspal, dan beton menyebabkan kenaikan suhu permukaan (*urban heat island effect*) di beberapa koridor padat. Kondisi ini menimbulkan tekanan terhadap kualitas udara dan kenyamanan termal warga kota. Hilangnya vegetasi perkotaan juga

berdampak pada penurunan kapasitas penyerapan karbon serta berkurangnya fungsi ekologis ruang terbuka hijau sebagai habitat fauna lokal dan daerah konservasi mikro.

Dari sudut pandang tata ruang dan kebijakan, temuan ini menegaskan perlunya pendekatan spasial adaptif dalam pengelolaan pertumbuhan kota. Pemerintah daerah perlu memperkuat zona hijau penyangga (*green buffer*) di sepanjang koridor sungai dan wilayah resapan. Selain itu, penerapan kebijakan pertumbuhan kota kompak (*compact city policy*) menjadi krusial untuk mengurangi fragmentasi lahan dan pemborosan ruang (Sapena & Ruiz, 2021). Integrasi data spasial berbasis penginderaan jauh seperti NDBI juga dapat dijadikan sistem pemantauan rutin (*urban spatial monitoring system*) untuk mengendalikan konversi lahan di wilayah pinggiran.



Gambar 5. Jalan (a) Cipta Karya, (b) Arifin Ahmad, (c) Jendral Sudirman Ujung, (d) HR. Soebrantas, (e) Kaharuddin Nasution, (f) Tuanku Tambusai (Hasil Analisis, 2025)

Wilayah pengamatan sedang mengalami transisi dari kota tunggal

menjadi wilayah metropolitan fungsional, dengan terbentuknya

klaster pertumbuhan baru di pinggiran. Oleh karena itu, kebijakan pembangunan perlu diarahkan pada sinkronisasi antara rencana tata ruang (RTRW) dan daya dukung lingkungan. Pengendalian alih fungsi lahan di kawasan rentan banjir harus menjadi prioritas, dengan penguatan sistem drainase, ruang terbuka hijau publik, dan penerapan prinsip ekologi perkotaan berkelanjutan agar ekspansi kota dapat tetap selaras dengan kapasitas lingkungan.

Selain peningkatan frekuensi banjir, gejala lain yang teridentifikasi di Kecamatan Tuahmadani seperti munculnya pola genangan air di kawasan perumahan padat yang berdekatan dengan jaringan jalan baru seperti Jalan Cipta Karya dan HR. Soebrantas (Gambar 5). Citra spasial menunjukkan bahwa banyak area yang dulunya merupakan lahan terbuka hijau dan resapan air kini telah berubah menjadi permukiman padat dengan permukaan kedap air. Kondisi ini diperparah oleh sistem drainase sekunder yang tidak dirancang untuk menampung limpasan dalam volume besar, sehingga genangan air sering terjadi bahkan setelah hujan berdurasi relatif singkat.

Namun demikian, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Penggunaan citra satelit Landsat dengan resolusi spasial 30 meter secara teknis tidak memungkinkan untuk melakukan identifikasi yang sangat rinci terhadap fungsi spesifik lahan terbangun. Setiap piksel pada citra Landsat mewakili area yang relatif luas sehingga berpotensi mengalami pencampuran nilai spektral (*mixed pixel*), terutama pada wilayah yang heterogen antara bangunan, vegetasi, dan lahan terbuka.

Kondisi tersebut membatasi kemampuan analisis untuk membedakan kategori penggunaan lahan terbangun, seperti kawasan permukiman, pendidikan, perkantoran, perdagangan, maupun fasilitas umum lainnya. Oleh karena itu, hasil deteksi yang diperoleh melalui algoritma *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) dalam penelitian ini lebih difokuskan pada identifikasi spasial lahan terbangun secara umum, tanpa klasifikasi lanjut berdasarkan fungsi penggunaan lahan.

Keterbatasan ini menjadi salah satu tantangan utama dalam analisis spasial berbasis citra menengah, sehingga diperlukan pendekatan lanjutan untuk memperoleh hasil yang lebih detail dan representatif. Pada penelitian berikutnya, disarankan penggunaan citra satelit beresolusi tinggi, seperti QuickBird, WorldView, atau PlanetScope, yang mampu memberikan ketelitian spasial hingga tingkat objek bangunan. Selain itu, integrasi dengan data observasi lapangan (*ground truthing*) dan penerapan metode klasifikasi berbasis kecerdasan buatan, seperti *deep learning* atau *convolutional neural network* (CNN), diharapkan dapat meningkatkan akurasi deteksi serta memungkinkan diferensiasi fungsi lahan terbangun secara lebih presisi.

Melalui kombinasi pendekatan tersebut, penelitian mendatang diharapkan dapat menghasilkan analisis spasial yang lebih komprehensif dalam menjelaskan dinamika pemanfaatan ruang perkotaan, sekaligus memperkuat keterkaitan antara aspek fisik lahan terbangun, fungsi tata ruang, serta implikasi ekologis terhadap keberlanjutan lingkungan perkotaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan NDBI terbukti efektif dalam mendeteksi dan memantau dinamika pertumbuhan wilayah terbangun di Kota Pekanbaru selama periode dua dekade (2004–2024). Hasil penelitian memperlihatkan peningkatan luas lahan terbangun yang signifikan, terutama di kawasan pinggiran seperti Kecamatan Tuahmadani, Marpoyan Damai, Binawidya, dan Tenayan Raya, dengan arah pertumbuhan yang menyebar menuju wilayah timur dan selatan kota. Kondisi ini mencerminkan intensitas urbanisasi yang tinggi, dipicu oleh pertumbuhan penduduk, peningkatan aktivitas ekonomi, serta pembangunan infrastruktur yang masif di wilayah suburban. Ekspansi lahan terbangun telah menyebabkan penurunan luas ruang terbuka hijau, berkurangnya daerah resapan air, dan meningkatnya permukaan kedap air. Transformasi lahan yang semula berupa vegetasi dan lahan terbuka menjadi kawasan permukiman dan komersial berkontribusi terhadap peningkatan risiko banjir lokal.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan metodologis yang perlu dicermati. Penggunaan citra satelit Landsat dengan resolusi spasial 30 meter belum memungkinkan untuk membedakan secara rinci fungsi spesifik dari lahan terbangun, seperti kawasan permukiman, pendidikan, perkantoran, atau perdagangan. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan detail, penelitian lanjutan disarankan menggunakan citra beresolusi tinggi. Pendekatan tersebut akan meningkatkan ketelitian analisis spasial serta memperkaya pemahaman terhadap hubungan antara dinamika lahan terbangun dan

fungsi tata ruang kota. Dari sisi kebijakan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mendukung perumusan kebijakan pengendalian tata ruang dan pembangunan kota yang berkelanjutan. Dengan memperhatikan keterbatasan dan rekomendasi yang telah disampaikan, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pijakan bagi pengembangan strategi pembangunan perkotaan yang berkelanjutan, inklusif, dan tangguh terhadap perubahan lingkungan..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada IPB University dan Khon Kaen University yang telah memfasilitasi kebutuhan pengolahan data, serta dukungan teknis dalam melakukan penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada *United States Geological Survey* (USGS) terkait akses data yang dapat dipergunakan, serta kepada seluruh pengulas yang telah meluangkan waktunya untuk meningkatkan penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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(March), 104707. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104707>
- Chen, Y., Liu, X., Li, X., Liu, X., Yao, Y., Hu, G., Xu, X., & Pei, F. (2017). Delineating urban functional areas with building-level social media data: A dynamic time warping (DTW) distance based k-medoids method. *Landscape and Urban Planning*, 160, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.12.001>

- Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22(February), 100482.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>
- Di Nicola, F., Brattich, E., & Di Sabatino, S. (2022). A new approach for roughness representation within urban dispersion models. *Atmospheric Environment*, 283(May), 119181.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119181>
- Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2015). Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological Indicators*, 56, 205–217.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.037>
- Govil, H., Guha, S., Dey, A., & Gill, N. (2019). Seasonal evaluation of downscaled land surface temperature: A case study in a humid tropical city. *Heliyon*, 5(6), e01923.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01923>
- Hailu, T., Assefa, E., & Zeleke, T. (2024). Urban expansion induced land use changes and its effect on ecosystem services in Addis Ababa, Ethiopia. *Frontiers in Environmental Science*, 12(November), 1–21.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1454556>
- Hersperger, A. M., Oliveira, E., Pagliarin, S., Palka, G., Verburg, P., Bolliger, J., & Grădinaru, S. (2018). Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Global Environmental Change*, 51, 32–42.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001>
- Ichsan Ali, M., Hafid Hasim, A., & Raiz Abidin, M. (2019). Monitoring the built-up area transformation using urban index and normalized difference built-up index analysis. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 32(5), 647–653.
<https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.05b.04>
- Kebede, T. A., Hailu, B. T., & Suryabhagavan, 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(February), 100568.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100568>
- Leyk, S., Uhl, J. H., Balk, D., & Jones, B. (2018). Assessing the accuracy of multi-temporal built-up land layers across rural-urban trajectories in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 204(August), 898–917.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.035>
- Mahdi, S. A., & Jasim, S. N. (2024). Utilizing geospatial techniques for change detection of the Baghdad campus landscape from 1988 to 2022. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1371(4).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1371/4/042045>
- Muhaimin, M., Fitriani, D., Adyatma, S., & Arisanty, D. (2022). mapping build-up area density using normalized difference built-up index (ndbi) and urban index (ui) wetland in the city Banjarmasin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1089(1), 012036.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012036>
- Pandey, B., Brelsford, C., & Seto, K. C. (2025). Rising infrastructure inequalities accompany urbanization and economic development. *Nature Communications*, 16(1), 1193.
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-56539-w>
- Roy, S., Pandit, S., Eva, E. A., Bagmar, M. S. H., Papia, M., Banik, L., Dube, T., Rahman, F., & Razi, M. A. (2020). Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in Chattogram Metropolitan Area of Bangladesh using long term Landsat series data. *Urban Climate*, 32(November 2019), 100593.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100593>
- Sapena, M., & Ruiz, L. A. (2021). Identifying urban growth patterns through land-use/land-cover spatio-temporal metrics: Simulation and analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(2), 375–396.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2021>

0.1817463

- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H. chien, Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210(January 2017), 259–268.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023>
- Varshney, A. (2013). Improved NDBI differencing algorithm for built-up regions change detection from remote-sensing data: An automated approach. *Remote Sensing Letters*, 4(5), 504–512.
<https://doi.org/10.1080/2150704X.2013.763297>
- Wolff, M., Haase, A., Haase, D., & Kabisch, N. (2017). The impact of urban regrowth on the built environment. *Urban Studies*, 54(12), 2683–2700.
<https://doi.org/10.1177/0042098016658231>
- Yang, J., Dong, J., Sun, Y., Zhu, J., Huang, Y., & Yang, S. (2022). A constraint-based approach for identifying the urban–rural fringe of polycentric cities using multi-sourced data. *International Journal of Geographical Information Science*, 36(1), 114–136.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2021.1876236>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594.
<https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zheng, Y., Tang, L., & Wang, H. (2021). An improved approach for monitoring urban built-up areas by combining NPP-VIIRS nighttime light, NDVI, NDWI, and NDBI. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129488.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129488>