

Pemodelan Spasio-Temporal Tren Perubahan Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2000-2020

G. Barbarossa¹, A. W. Sejati²

^{1,2} Universitas Diponegoro, Indonesia

Article Info:

Received: 31 March 2022

Accepted: 04 April 2022

Available Online: 31 March 2023

Keywords:

Penutup lahan, tren perubahan, spasio-temporal, Kota Semarang

Corresponding Author:

Ghiffari Barbarossa
Diponegoro University,
Semarang, Indonesia
Email:
Ghiffari.barbarossa@gmail.com

Abstract: Fenomena urbanisasi merupakan proses transformasi perkotaan yang diyakini menyebabkan terjadinya perubahan penutup lahan berupa peningkatan lahan terbangun serta menurunnya lahan terbuka hijau. Hal ini berpotensi menurunkan kualitas lingkungan dan kehidupan masyarakat perkotaan. Oleh sebab itu, simulasi pemodelan perubahan penutup lahan menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan tren spasio-temporal perubahan penutup lahan Kota Semarang Tahun 2000 – 2020. Kota Semarang dipilih sebagai objek studi sebab ekspansi lahan urban yang terjadi di sana. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh dan GIS berbasis Random Forest Classification. Hasil penelitian menemukan bahwa terdapat dua tren pertumbuhan, mengikuti jaringan transportasi di tengah Kota Semarang dan menyebar secara acak pinggir Kota. Selain itu, ditemukan juga tumbuhnya lahan urban di pesisir yang ternyata berpengaruh pada meluasnya badan air yang disebabkan oleh penurunan muka tanah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi dalam perencanaan penataan ruang perkotaan serta penyusunan kebijakan manajemen lahan

Copyright © 2016 JTPWK-UNDIP

This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-SA) 4.0 International license.

How to cite (APA 6th Style):

Barbarossa, G., & Sejati, A. W. (2023). Pemodelan Spasio-Temporal Tren Perubahan Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2000 - 2020. *Jurnal Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Dan Kota)*, 12(1), 8–19.

1. PENDAHULUAN

Fenomena urbanisasi merupakan proses transformasi perkotaan yang diyakini menyebabkan pembentukan aktivitas baru, perluasan jaringan infrastruktur, serta pengembangan fasilitas umum (Rahnama, 2021). Hal ini kemudian menyebabkan terjadinya perubahan penutup lahan berupa peningkatan lahan terbangun serta menurunnya lahan terbuka hijau (Chavula, Brezonik, Bauer, & others, 2011). Degradasi lahan terbuka hijau berpotensi meningkatkan temperatur perkotaan, menyebabkan fenomena *urban heat island*, perubahan iklim, penurunan kualitas lingkungan, serta kesejahteraan hidup penduduk kota (Pradhan, Arvin, & Nair, 2020; Sejati, Buchori, & Rudiarto, 2019; W.-Z. Wang, Liu, Liao, & Wei, 2020).

Lebih lanjut, transformasi perkotaan yang terjadi dengan cepat di kota-kota terutama metropolitan seperti Jakarta dan Semarang, tak hanya mempengaruhi kota itu sendiri tetapi kawasan peri-urban di sekitarnya (Rahnama, 2021; Sejati et al., 2019). Berdasarkan permasalahan ini, simulasi pemodelan penutup lahan diyakini dapat memberikan informasi penting untuk perencanaan dan penataan ruang perkotaan (Koomen & Borsboom-van Beurden, 2011; Rahnama, 2021).

Melalui pemodelan tren perubahan penutup lahan, pertumbuhan serta degradasi lahan yang terjadi dapat diprediksi dan diarahkan potensi perubahannya sesuai dengan perencanaan penataan ruang (Rahnama, 2021). Selain itu, pemodelan ini juga memungkinkan pengembangan kebijakan

manajemen lahan yang lebih efisien dan responsif terhadap tren pola perubahan lahan (Koomen & Borsboom-van Beurden, 2011). Oleh sebab itu, penelitian ini tidak hanya memodelkan penutup lahan eksisting, tetapi juga mengamati tren perubahan yang terjadi pada dua dekade terakhir.

Sebagai objek penelitian, Kota Semarang merupakan salah satu metropolitan terbesar di Indonesia yang mengalami fenomena urbanisasi. Urbanisasi di Kota Semarang telah terjadi dan mempengaruhi wilayah sekitarnya. Pertumbuhan lahan terbangun Kota Semarang tak lagi terpusat di tengah kotanya, tetapi juga menyebar secara acak melewati daerah terdekat dari tengah kota (Buchori, Sugiri, Maryono, Pramitasari, & Pamungkas, 2017; Sejati et al., 2019). Pola pertumbuhan acak ini, berpotensi untuk menyebabkan degradasi lahan terbuka hijau serta berbagai permasalahan lingkungan (W.-Z. Wang et al., 2020).

Salah satu permasalahan lingkungan yang juga diakibatkan oleh perubahan penutup lahan ialah rob di kawasan pesisir akibat kenaikan muka air laut (El Shinawi, Kuriqi, Zelenakova, Vranayova, & Abd-Elaty, 2022). Hal ini diakibatkan oleh adanya beban tambahan akibat ekspansi lahan terbangun serta penggunaan berlebih cadangan air tanah (Cigna & Tapete, 2022; El Shinawi et al., 2022). Oleh sebab itu, pemodelan tren perubahan penutup lahan di Kota Semarang menjadi penting untuk dilakukan.

Penelitian ini memodelkan tren perubahan penutup lahan di Kota Semarang pada tahun 2000 hingga 2020. Pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh LANDSAT 8 dan LANDSAT 7 khususnya *band* 8, 7, 6,5,4, dan 3 (Imam, 2019). Hasil dari penelitian ini merupakan model penutup lahan Kabupaten Temanggung yang telah diuji ketelitiannya menggunakan stratified random sampling (Ebrahimy, Mirbagheri, Matkan, & Azadbakht, 2021). Hasil ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan perencanaan penataan ruang maupun pertimbangan dalam kebijakan manajemen lahan.

2. DATA DAN METODE

2.1. Data Penelitian

Penelitian ini membutuhkan berbagai data, yang akan digunakan dalam memodelkan tren perubahan penutup lahan Kota Semarang tahun 2000 – 2020. Rincian kebutuhan data pada penelitian ini, dapat diamati pada tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian (Analisis, 2022)

Komponen Analisis	Nama Data	Tahun	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber	Metode Pengumpulan	Ketersediaan Data
Model Penggunaan Lahan Kota Semarang	Citra satelit LANDSAT 7 (band 8, 7, 5, dan 3)	2000	Primer	Citra Satelit	USGS	Pengunduhan	Tersedia
Model Penggunaan Lahan Kota Semarang	Citra satelit LANDSAT 8 (band 8, 7, 6, dan 4)	2020	Primer	Citra Satelit	USGS	Pengunduhan	Tersedia

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer berupa citra satelit. Data citra satelit didapatkan melalui portal web *United States Geological Survey* (USGS). Data ini merupakan data citra milik LANDSAT 7 dan LANDSAT 8 yang merupakan ekspedisi pemetaan penginderaan jauh milik Amerika Serikat.

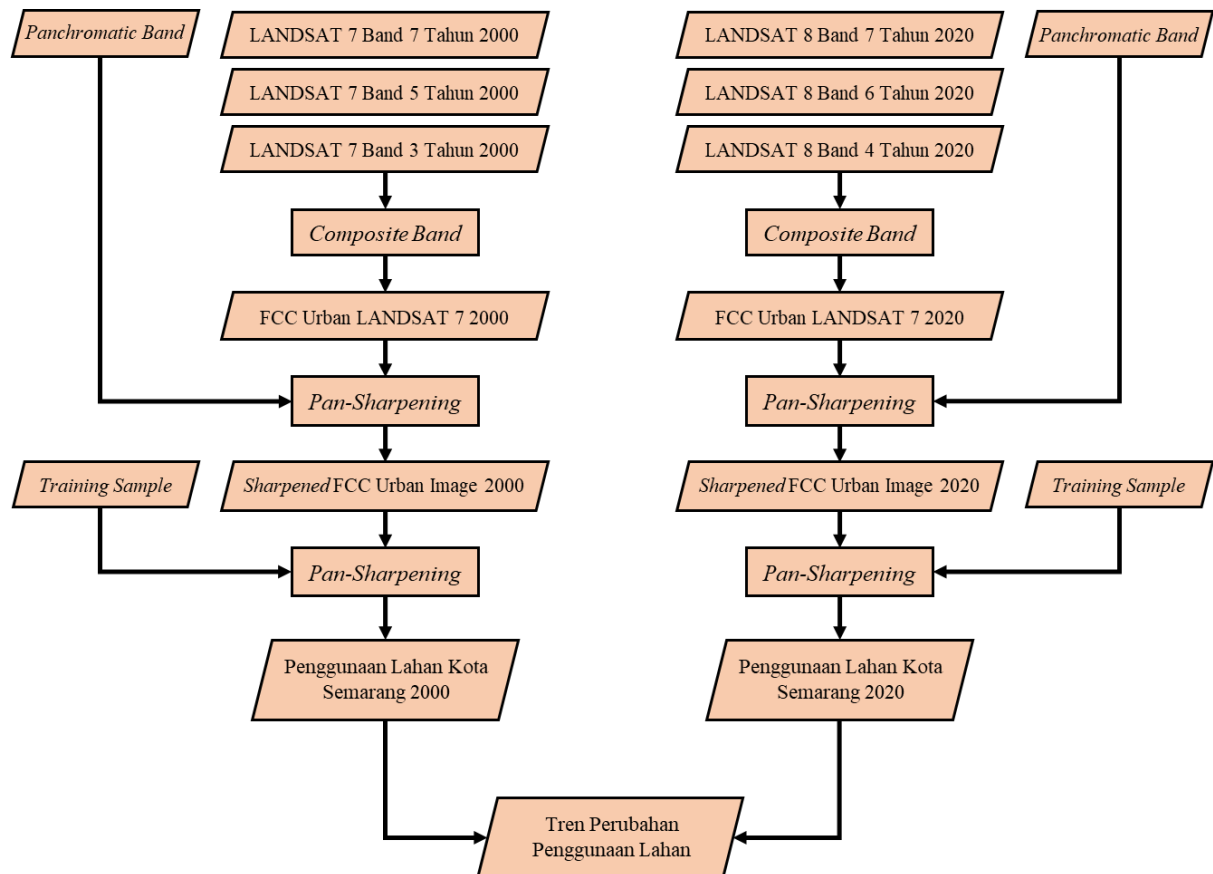
2.2. Metode Analisis Penelitian

Metode analisis pada penelitian ini terdiri dari empat tahapan yakni; *False Color Composite* (FCC) Urban yang merupakan pembuatan kombinasi band dari data penginderaan jauh di mana tiap band tidak memiliki kemiripan dengan warna yang ditampilkan (Imam, 2019), Penajaman Citra dengan Pansharpening yang merupakan penajaman resolusi spasial citra LANDSAT 8 menggunakan panchromatic band yang memiliki resolusi spasial dua kali lipat dibanding band multispektral.

Citra satelit hasil penajaman kemudian diklasifikasi dengan klasifikasi terbimbing menggunakan *Random Forest Classification* (RFC). RFC merupakan algoritma gabungan dari banyak *decision tree* yang dibangun dari *training sample* secara acak (Gislason, Benediktsson, & Sveinsson, 2006; Rodriguez-Galiano, Chica-Olmo, Abarca-Hernandez, Atkinson, & Jeganathan, 2012; S. W. Wang, Munkhnasan, & Lee, 2020). Hal ini memungkinkan RFC untuk mampu mengurangi peluang terjadinya generalisasi sehingga model yang dihasilkan lebih reliabel (Pal, 2005; Rodriguez-Galiano et al., 2012)

Selain itu, terdapat pula uji ketelitian dengan citra satelit resolusi tinggi menggunakan sampel hasil *stratified random sampling* melalui *plugin* AcATaMa (Ebrahimy et al., 2021). Tahap ini merupakan tahap akhir analisis sehingga model dihasilkan teruji akurasi dan reliabilitasnya (Stehman, 2001). Metode analisis pada penelitian ini, secara lebih runtut digambarkan melalui diagram pada gambar 1.

Gambar 1. Kerangka Analisis Penelitian (Analisis, 2022)



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2000

Penggunaan lahan Kota Semarang pada tahun 2000 dimodelkan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh LANDSAT 7 band 7, 5, dan 3 untuk menghasilkan *False Color Composite Urban* (Imam, 2019). Data ini kemudian dimodelkan menggunakan klasifikasi terbimbing (Al-Doski et al.,

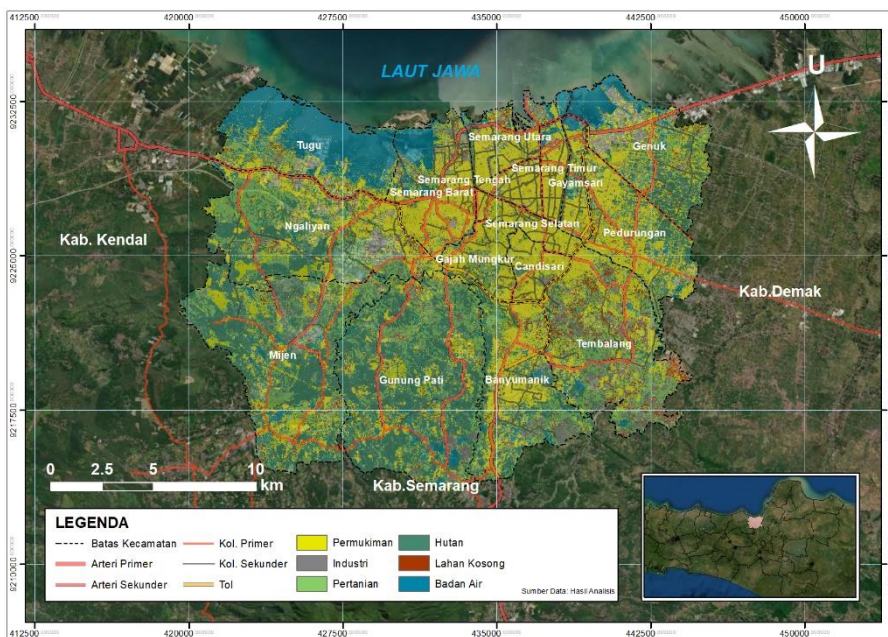
2013; Langat et al., 2019; Kogo et al., 2021). Penggunaan lahan yang dimodelkan dibagi ke dalam enam kelas penggunaan lahan yang mengacu pada klasifikasi penggunaan lahan dan penutup lahan menurut Anderson (1976).

Hasil pemodelan penggunaan lahan Kota Semarang Tahun 2000 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 terbagi ke dalam enam kelas yakni permukiman, industri, pertanian, hutan, lahan kosong, dan badan air. Berdasarkan peta pada gambar tersebut, dapat diamati pula jika lahan terbangun permukiman di Kota Semarang memiliki distribusi spasial yang memusat di tengah Kota Semarang yakni Kecamatan Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur. Sementara itu, lahan terbangun industri di Kota Semarang memusat di kawasan industri seperti Kecamatan Genuk, Tugu, dan Semarang Utara.

Lain halnya dengan lahan terbangun, distribusi spasial pada lahan non terbangun memiliki kecenderungan tersebar di bagian selatan dan utara Kota Semarang. Pada bagian selatan, penggunaan lahan non terbangun didominasi oleh lahan pertanian dan hutan yang tersebar di Kecamatan Mijen dan Gunung Pati. Pada bagian utara, penggunaan lahan non terbangun didominasi oleh badan air.

Distribusi spasial penggunaan lahan tahun 2000 pada masing-masing kecamatan di Kota Semarang dijelaskan secara rinci besarnya dalam satuan hektar pada tabel 2. Berdasarkan tabel luas tersebut, dapat diamati jika Kecamatan Semarang Tengah, Semarang Selatan, dan Semarang Timur merupakan kecamatan dengan proporsi lahan terbangun permukiman terbesar dengan luas 405,771 ha, 403,222 ha, 360,323 ha yang senilai dengan 75,08%, 65,84%, 63,95% dari luas kecamatannya.

Gambar 2 Peta Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2000 (Analisis, 2022)



Sementara itu, kecamatan dengan proporsi lahan terbangun permukiman terkecil berada di Kecamatan Gunung Pati, Mijen, dan Tugu dengan luas 219,930 ha, 239,599 ha, dan 154,708 ha yang senilai dengan 3,57%, 4,44%, dan 5,21% dari luas kecamatannya. Pada Kecamatan Gunung Pati dan Mijen, minimnya lahan permukiman diakibatkan masih luasnya lahan hutan, minim akses jalan, serta topografi yang beragam sehingga tidak memungkinkan ekspansi lahan permukiman ke beberapa bagian di Kecamatan Mijen. Sementara itu pada Kecamatan Tugu, kondisi minim lahan permukiman terjadi sebab karakteristik wilayahnya yang didominasi penutup lahan badan air.

Berdasarkan tabel 2, dapat diamati besaran distribusi spasial penggunaan lahan tahun 2000 lainnya, seperti lahan terbangun industri dengan proporsi terbesarnya di Kecamatan Genuk seluas 126,280 ha, lahan pertanian di Kecamatan Tembalang seluas 2.253,462 ha, hutan di Kecamatan

Gunung Pati seluas 3.281,376 ha, lahan kosong di Kecamatan Gunung Pati seluas 865,087 ha, serta badan air di Kecamatan Tugu seluas 1.820,437 ha.

Tabel 2. Luas Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2000 (Analisis, 2022)

Kecamatan	Penggunaan Lahan Tahun 2000 (ha)						Total
	Permukiman	Industri	Pertanian	Hutan	Lahan Kosong	Badan Air	
Banyumanik	512,594	13,863	814,067	962,209	700,641	95,071	3.098,446
Candisari	334,560	4,601	103,797	35,779	175,485	9,117	663,340
Gajah Mungkur	310,456	1,535	219,554	129,934	261,053	21,079	943,610
Gayamsari	253,161	5,236	165,033	51,397	96,282	74,239	645,349
Genuk	280,372	126,280	594,519	748,375	466,099	515,495	2.731,140
Gunung Pati	219,930	11,646	1.537,722	3.381,376	865,087	147,395	6.163,156
Mijen	239,599	36,744	1.359,987	2.816,245	732,954	205,397	5.390,926
Ngaliyan	517,166	68,884	1.478,918	1.552,416	777,974	74,692	4.470,050
Pedurungan	599,889	21,577	542,562	504,852	480,379	53,187	2.202,445
Semarang Barat	736,128	32,501	462,589	95,897	424,464	456,612	2.208,191
Semarang Selatan	405,771	9,572	53,434	13,863	110,658	22,964	616,262
Semarang Tengah	403,222	14,084	21,070	7,135	64,681	26,833	537,024
Semarang Timur	360,323	13,271	52,333	13,765	68,197	55,553	563,442
Semarang Utara	502,312	34,216	121,934	56,631	190,055	231,351	1.136,499
Tembalang	463,230	20,667	2.253,462	588,385	777,196	47,742	4.150,684
Tugu	154,708	43,606	457,167	161,171	332,638	1.820,437	2.969,727
Total	6.293,421	458,285	10.238,150	11.119,430	6.523,844	3.857,161	38.490,292

Perubahan Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2020

Penggunaan lahan Kota Semarang pada tahun 2020 dimodelkan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh LANDSAT 8 band 7, 6, dan 4 untuk menghasilkan *False Color Composite Urban* (Imam, 2019). Hasil *composite band* kemudian dimodelkan dengan klasifikasi terbimbing yang membagi ke dalam enam kelas penggunaan lahan yang dibagi berdasarkan klasifikasi penggunaan lahan dan penutup lahan menurut Anderson (1976). Penutup lahan tahun 2020 dimodelkan untuk diamati perubahannya sejak tahun 2000. Model penutup lahan ini dapat diamati pada gambar 3.

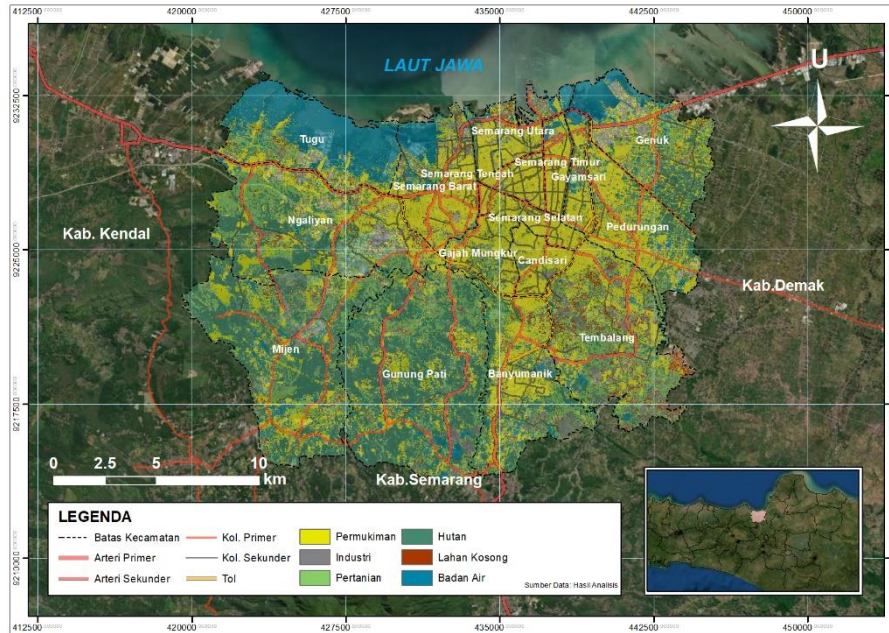
Gambar 3 memperlihatkan penggunaan lahan Kota Semarang yang juga dibagi ke dalam enam kelas penggunaan lahan. Enam kelas tersebut terdiri dari permukiman, industri, pertanian, hutan, lahan kosong, dan badan air. Gambar tersebut juga menunjukkan distribusi spasial pertumbuhan penggunaan lahan, di mana lahan permukiman yang awalnya memusat seperti pada gambar 2 mulai mengalami ekspansi ke daerah sekitar pusat kota yang terhubung melalui jalur transportasi utama.

Pola ekspansi lahan permukiman ini sejalan dengan pendapat Sejati et al. (2019) di mana pertumbuhan yang terjadi mengikuti jalur utama transportasi sebab perannya sebagai salah satu faktor pertumbuhan. Lain halnya dengan lahan industri justru mengalami ekspansi yang cenderung organik. Ekspansi tersebut ditunjukkan oleh pertumbuhannya yang menyebar melewati daerah pusat kota dengan tidak mengikuti jalur transportasi utama.

Perbedaan pola ekspansi yang terjadi selaras dengan pendapat Buchori et al. (2017) dan Crawford (2007) yang mengatakan jika pertumbuhan tidak selalu terjadi mengikuti jalur utama transportasi ataupun di daerah terdekat dari pusat pertumbuhan. Menurut nya, pertumbuhan yang terjadi dapat bersifat menyebar. Hal ini diakibatkan oleh adanya limitasi yang menghambat dan membatasi suatu

lokasi untuk dilakukannya pembangunan di suatu lokasi sehingga terjadi *leap-frog development* (Crawford, 2007).

Gambar 3 Peta Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2020 (Analisis, 2022)



Gambar 3 memperlihatkan penggunaan lahan Kota Semarang yang juga dibagi ke dalam enam kelas penggunaan lahan. Enam kelas tersebut terdiri dari permukiman, industri, pertanian, hutan, lahan kosong, dan badan air. Gambar tersebut juga menunjukkan distribusi spasial pertumbuhan penggunaan lahan, di mana lahan permukiman yang awalnya memusat seperti pada gambar 2 mulai mengalami ekspansi ke daerah sekitar pusat kota yang terhubung melalui jalur transportasi utama.

Pola ekspansi lahan permukiman ini sejalan dengan pendapat Sejati et al. (2019) di mana pertumbuhan yang terjadi mengikuti jalur utama transportasi sebab perannya sebagai salah satu faktor pertumbuhan. Lain halnya dengan lahan permukiman, lahan industri justru mengalami ekspansi yang cenderung organik. Ekspansi tersebut ditunjukkan oleh pertumbuhannya yang menyebar melewati daerah pusat kota dengan tidak mengikuti jalur transportasi utama.

Perbedaan pola ekspansi yang terjadi selaras dengan pendapat Buchori et al. (2017) dan Crawford (2007) yang mengatakan jika pertumbuhan tidak selalu terjadi mengikuti jalur utama transportasi ataupun di daerah terdekat dari pusat pertumbuhan. Menurut nya, pertumbuhan yang terjadi dapat bersifat menyebar. Hal ini diakibatkan oleh adanya limitasi yang menghambat dan membatasi suatu lokasi untuk dilakukannya pembangunan di suatu lokasi sehingga terjadi *leap-frog development* (Crawford, 2007).

Selain permukiman dan industri, badan air di Kota Semarang juga mengalami ekspansi. Ekspansi yang terjadi umumnya disebabkan oleh penurunan muka tanah yang terjadi di Pesisir Kota Semarang. Penurunan tersebut menyebabkan terjadinya rob akibat kenaikan muka air laut sehingga badan air meluas hingga ke pesisir (El Shinawi et al., 2022). Hal ini diakibatkan oleh penggunaan berlebih cadangan air tanah serta beban tambahan yang disebabkan oleh ekspansi lahan urban (Cigna & Tapete, 2022; Galloway & Burbey, 2011).

Sementara itu, pada penggunaan lahan pertanian, hutan, dan lahan kosong justru nampak mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya alih fungsi lahan menuju lahan terbangun seperti permukiman dan industri atau alih fungsi lahan akibat penurunan muka tanah yang menyebabkan ekspansi badan air di sekitar pesisir. Besaran distribusi spasial penggunaan lahan pada masing-masing kecamatan, dijelaskan secara rinci pada tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Luas Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2020 (Analisis, 2022)

Kecamatan	Penggunaan Lahan Tahun 2020 (ha)						Total
	Permukiman	Industri	Pertanian	Hutan	Lahan Kosong	Badan Air	
Banyumanik	1.227,485	337,776	605,706	645,184	112,350	169,945	3.098,446
Candisari	533,946	43,107	40,305	23,918	14,535	7,529	663,340
Gajah Mungkur	630,747	46,657	122,163	90,062	26,905	27,077	943,610
Gayamsari	368,297	49,779	95,783	16,955	20,522	94,014	645,349
Genuk	751,996	356,203	433,376	546,960	85,932	556,673	2.731,140
Gunung Pati	922,936	505,486	1.372,277	2.788,639	172,280	401,538	6.163,156
Mijen	976,155	487,739	1.220,268	2.264,929	160,594	281,240	5.390,926
Ngaliyan	1.311,718	519,924	1.225,174	1.130,207	168,574	114,453	4.470,050
Pedurungan	1.174,440	143,281	365,731	342,054	69,869	107,070	2.202,445
Semarang Barat	1.213,305	226,421	188,212	33,095	72,747	474,411	2.208,191
Semarang Selatan	539,587	19,379	25,005	6,627	8,577	17,088	616,262
Semarang Tengah	466,174	38,487	15,111	3,250	2,979	11,023	537,024
Semarang Timur	422,393	52,370	28,086	2,382	9,286	48,925	563,442
Semarang Utara	586,144	251,748	76,072	0,993	42,055	179,487	1.136,499
Tembalang	1.239,420	798,907	1.101,172	366,283	494,578	150,323	4.150,684
Tugu	428,112	191,101	354,556	45,904	57,595	1.892,459	2.969,727
Total	12.792,855	4.068,365	7.268,996	8.307,443	1.519,378	4.533,255	38.490,292

Berdasarkan tabel 3 dapat diamati jika lahan permukiman mendominasi Kota Semarang dengan luas 12.792,855 ha atau senilai 33,24% dari Kota Semarang. Kondisi ini menunjukkan terjadinya pertumbuhan pesat lahan permukiman sejak tahun 2000. Pada tahun tersebut Kota Semarang hanya memiliki lahan permukiman sebesar 6.293,421 ha atau senilai dengan 16,35% luasnya. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan lahan permukiman yang terjadi mampu mencapai 103,27%.

Pada tabel 3 dapat diamati juga jika kecamatan dengan proporsi lahan permukiman terbesar masih berada di Kecamatan Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur. Namun, kecamatan dengan pertumbuhan paling pesat justru berada di Kecamatan Gunung Pati dan Mijen dengan persentase pertumbuhan dari tahun 2000 yang melebihi 300%. Hal ini disebabkan oleh terjadinya *leap-frog development* di pinggir Kota Semarang dengan harga lahan yang lebih murah (Buchori et al., 2017; Crawford, 2007).

Selain lahan permukiman, tabel 3 juga menunjukkan besaran pertumbuhan yang cukup drastis pada tahun 2020 yakni pada lahan industri. Lahan industri mengalami pertumbuhan dari 458,285 ha atau senilai dengan 1,19% Kota Semarang pada tahun 2000 hingga 4.068,365 ha atau senilai 10,57% pada tahun 2020. Pertumbuhan tersebut memperlihatkan lahan industri yang berkembang bahkan lebih dari sepuluh kali lipat dalam kurun waktu dua dekade terakhir.

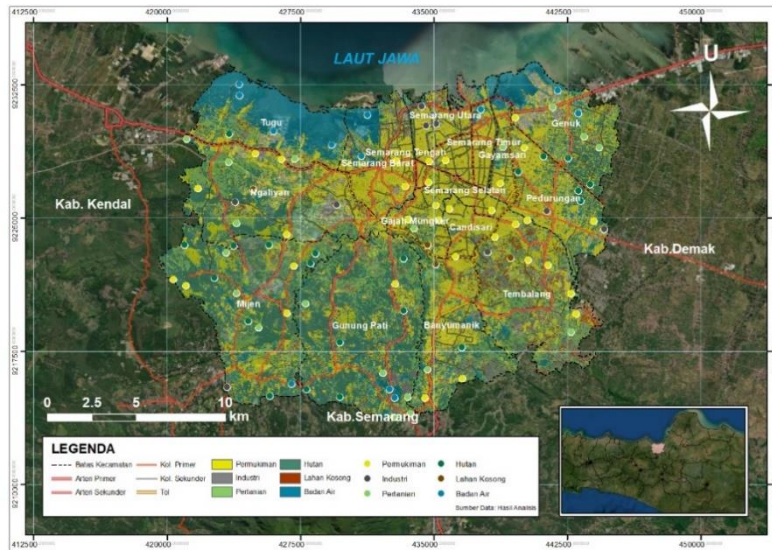
Uji Akurasi Model Penutup Lahan

Hasil dari klasifikasi terbimbing kemudian diuji ketelitiannya dengan matriks konfusi melalui uji sampel yang di-*generate* menggunakan metode *stratified random sampling*. Metode ini mendistribusikan sampel melalui stratifikasi spasial berdasarkan proporsi luas tiap kelas penggunaan lahan terhadap luas keseluruhan (Ebrahimi et al., 2021; Wickham, Stehman, Sorenson, Gass, & Dewitz, 2021).

Hasil *sampling* menghasilkan 99 titik sampel yang terbagi ke dalam enam kelas penggunaan lahan. Sebaran masing-masing titik sampel uji akurasi dapat diamati pada gambar 4 Pada penelitian ini, hasil

klasifikasi yang diuji akurasinya hanyalah hasil tahun 2020. Hal ini disebabkan oleh tidak tersedianya data citra satelit beresolusi tinggi untuk digunakan sebagai pembanding pada tahun 2000.

Gambar 4. Peta Sampel Acak Bertingkat Per Kelas Penutup Lahan (Analisis, 2022)



Peta sebaran pada gambar 4 menunjukkan sebaran acak 99 titik sampel yang kemudian diuji akurasinya. Masing-masing titik sampel mewakili kelas penggunaan lahan dengan jumlah yang dihitung berdasarkan proporsi luasnya dengan *stratified random sampling* (Ebrahimi et al., 2021). Titik sampel dengan rincian kelas penggunaan lahan yang diwakilinya dapat diamati pada tabel 4.

Tabel 4. Sampel Acak Bertingkat Per Kelas Penutup Lahan (Analisis, 2022)

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Jumlah Sampel
Permukiman	12792,855	30
Industri	4068,365	8
Pertanian	7268,996	23
Hutan	8307,443	25
Lahan Kosong	1519,378	4
Badan Air	4533,255	9
Total	38490,292	99

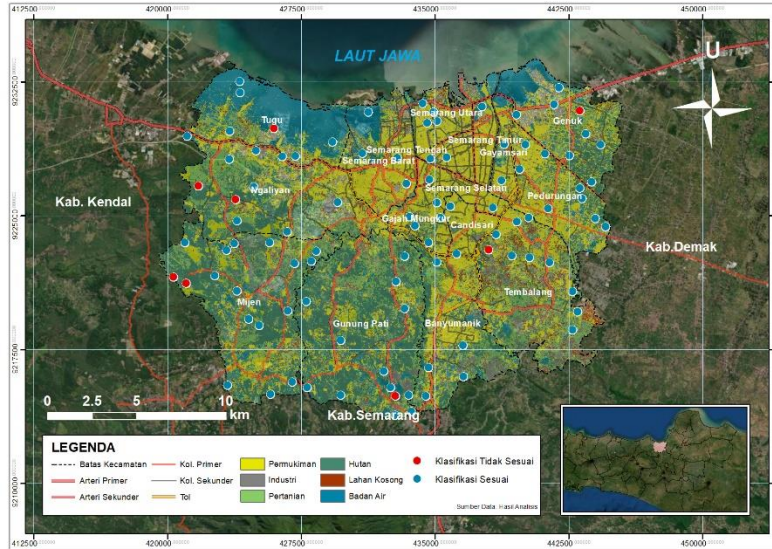
Titik sampel tersebut, kemudian diuji ketelitiannya melalui komparasi hasil klasifikasi dengan citra satelit beresolusi tinggi. Hasil uji ketelitian dapat diamati pada gambar 5.

Peta pada gambar 5 menunjukkan hasil uji akurasi penggunaan lahan yang dilakukan dengan membandingkan model dengan citra satelit beresolusi tinggi milik *Google*. Hasil komparasi yang dilakukan menunjukkan terdapat delapan titik uji akurasi yang tidak akurat. Hasil ini menunjukkan jika delapan titik tersebut tidak mewakili kelas penggunaan lahan yang sebenarnya berdasarkan komparasi dengan citra satelit *Google*. Rincian hasil uji akurasi pada model tahun 2020 dapat diamati pada tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan matriks *error* dengan dua akurasi yakni *User Accuracy* yang menilai kelas seharusnya pada citra satelit beresolusi tinggi dan *Producer Accuracy* yang menilai ketepatan model yang dihasilkan. Berdasarkan tabel tersebut dapat diamati jika model yang dihasilkan memiliki akurasi

1,000 pada kelas permukiman, industri, lahan kosong, dan badan air. Sementara itu terdapat *error* berjumlah empat pada masing-masing pertanian dan hutan.

Gambar 5 Peta Hasil Uji Akurasi Penutup Lahan (Analisis, 2022)



Tabel 5 Matriks Error (*Confusion Matrix*) (Analisis, 2022)

Matriks Error (<i>Confusion Matrix</i>)								
Penggunaan Lahan	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	Total	User Accuracy
Permukiman [1]	30	0	2	1	0	0	33	0,909
Industri [2]	0	8	0	2	0	0	10	0,800
Pertanian [3]	0	0	19	0	0	0	19	1,000
Hutan [4]	0	0	0	21	0	0	21	1,000
Lahan Kosong [5]	0	0	0	0	4	0	4	1,000
Badan Air [6]	0	0	2	1	0	9	12	0,750
Total	30	8	23	25	4	9	99	
Producer Accuracy	1,000	1,000	0,826	0,840	1,000	1,000		0,919

Empat kesalahan model pada lahan pertanian terdiri dari dua sampel yang seharusnya permukiman dan dua sampel yang seharusnya badan air. Sementara pada hutan, terdapat kesalahan sejumlah satu sampel yang seharusnya permukiman, dua sampel yang seharusnya industri, dan 1 sampel yang seharusnya badan air. *Overall Accuracy* (OA) dari model ini ialah 0,919. Hasil ini dinyatakan akurat sebab melebihi standar akurasi menurut Anderson (1976) yakni 85%.

Lebih lanjut, hasil uji akurasi juga dikalkulasikan perkiraan proporsi luas kesalahan yang terjadi berdasarkan uji akurasi dari 99 titik sampel yang dihasilkan secara acak. Perkiraan proporsi tersebut dapat diamati pada tabel 6.

Pada tabel 6, dapat diamati jika perkiraan luas kesalahan cenderung minim. Pada lahan pertanian luas kesalahan yang terjadi sekitar 0,0201 dan 0,0197 atau sekitar 2,01% dan 1,97%. Sementara pada hutan sekitar 0,101, 0,0212, dan 0,0098 atau sekitar 1,01%, 2,12%, dan 0,98%.

Matriks *user accuracy* pada tabel 7 menjelaskan kelas penggunaan lahan yang seharusnya berdasarkan pengamatan citra satelit beresolusi tinggi milik Google. Matriks tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara citra Google yang diamati dengan model penggunaan lahan yang dihasilkan. Perbedaan ini terdapat di titik sampel yang diamati pada penggunaan lahan pertanian yang seharusnya berupa permukiman dan badan air serta penggunaan lahan hutan yang seharusnya berupa permukiman, industri, dan badan air.

Tabel 6. Matriks Perkiraan Proporsi *Area Error* (Analisis, 2022)

Penggunaan Lahan	Matriks Perkiraan Proporsi <i>Area Error</i>						Total
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
Permukiman [1]	0,3018	0,0000	0,0201	0,0101	0,0000	0,0000	0,3320
Industri [2]	0,0000	0,0846	0,0000	0,0212	0,0000	0,0000	0,1058
Pertanian [3]	0,0000	0,0000	0,1889	0,0000	0,0000	0,0000	0,1889
Hutan [4]	0,0000	0,0000	0,0000	0,2158	0,0000	0,0000	0,2158
Lahan Kosong [5]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0395	0,0000	0,0395
Badan Air [6]	0,0000	0,0000	0,0197	0,0098	0,0000	0,0886	0,1181
Total	0,3018	0,0846	0,2287	0,2568	0,0395	0,0886	

Tabel 7. Matriks Akurasi (*User Accuracy*) (Analisis, 2022)

Penggunaan Lahan	Matriks Akurasi (<i>User Accuracy</i>)					
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Permukiman [1]	0,9091	0,0000	0,0606	0,0303	0,0000	0,0000
Industri [2]	0,0000	0,8000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000
Pertanian [3]	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Hutan [4]	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Lahan Kosong [5]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Badan Air [6]	0,0000	0,0000	0,1667	0,0833	0,0000	0,7500

Tabel 8 Matriks Akurasi (*Producer Accuracy*) (Analisis, 2022)

Penggunaan Lahan	Matriks Akurasi (<i>Producer Accuracy</i>)					
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Permukiman [1]	1,0000	0,0000	0,0880	0,0392	0,0000	0,0000
Industri [2]	0,0000	1,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000
Pertanian [3]	0,0000	0,0000	0,8260	0,0000	0,0000	0,0000
Hutan [4]	0,0000	0,0000	0,0000	0,8402	0,0000	0,0000
Lahan Kosong [5]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Badan Air [6]	0,0000	0,0000	0,0861	0,0383	0,0000	1,0000

Matriks *producer accuracy* pada tabel 8 menjelaskan kesalahan pada model dari 99 titik sampel yang diobservasi. Matriks ini memperlihatkan adanya kesalahan pemodelan di titik sampel yang diamati pada kelas penggunaan lahan pertanian dan hutan. Matriks pada tabel 8 juga menjelaskan bahwa kesalahan pada kedua kelas penggunaan lahan pertanian dan hutan terdapat di lahan permukiman dan badan air yang dimodelkan sebagai pertanian serta lahan pertanian, industri, dan

badan air yang dimodelkan sebagai hutan. Berdasarkan hasil ini ditemukan bahwa model penutup lahan memiliki OA (*Overall Accuracy*) sebesar 0,919 yang artinya model mampu menggambarkan kondisi lapangan dengan akurat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menggambarkan tren spasio-temporal perubahan penutup lahan yang terjadi di Kota Semarang pada tahun 2000 - 2020. Secara umum, perubahan yang terjadi merupakan konversi lahan non terbangun menuju lahan terbangun. Konversi lahan tersebut menyebabkan bertumbuhnya lahan terbangun baik permukiman maupun industri di seluruh Kota Semarang. Pertumbuhan lahan terbangun yang terjadi memiliki dua pola dan arah, pola yang mengikuti arah jaringan transportasi utama serta pola menyebar secara acak yang melewati daerah terdekat pusat kota.

Pola pertumbuhan yang mengikuti arah jaringan transportasi utama umumnya terletak di tengah Kota Semarang, seperti Kecamatan Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur. Pola ini juga menyebar menuju daerah terdekat seperti Candisari, Banyumanik, dan Tembalang. Sementara pola pertumbuhan menyebar muncul di pinggir Kota Semarang seperti Kecamatan Mijen dan Gunung Pati.

Model ini dihasilkan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh beresolusi menengah yang diproses menggunakan *Random Forest Classification*. Berdasarkan hasil uji akurasi model yang dihasilkan memiliki ketelitian 0,919 yang artinya cukup baik dalam menggambarkan kondisi lapangan. Namun, penelitian ini masih dapat dikembangkan melalui penggunaan citra resolusi tinggi, survei lapangan untuk uji akurasi, serta analisis perubahan penggunaan lahan di masa depan melalui prediksi berbasis CA-Markov.

5. REFERENSI

- Anderson, J. R. (1976). *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*. 2001.
- Buchori, I., Sugiri, A., Maryono, M., Pramitasari, A., & Pamungkas, I. T. D. (2017). Theorizing spatial dynamics of metropolitan regions: A preliminary study in Java and Madura Islands, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 35, 468–482.
- Chavula, G., Brezon Al-Doski, J., Mansori, S. B., & Shafri, H. Z. M. (2013). Image classification in remote sensing. *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University Putra, Malaysia*, 3(10).ik, P., Bauer, M., & others. (2011). Land use and land cover change (LULC) in the Lake Malawi Drainage Basin, 1982-2005. *International Journal of Geosciences*, 2(02), 172.
- Cigna, F., & Tapete, D. (2022). Urban growth and land subsidence: Multi-decadal investigation using human settlement data and satellite InSAR in Morelia, Mexico. *Science of the Total Environment*, 811.
- Crawford, T. W. (2007). Where does the coast sprawl the most? Trajectories of residential development and sprawl in coastal North Carolina, 1971--2000. *Landscape and Urban Planning*, 83(4), 294–307.
- Ebrahimi, H., Mirbagheri, B., Matkan, A. A., & Azadbakht, M. (2021). Per-pixel land cover accuracy prediction: A random forest-based method with limited reference sample data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 172(December 2020), 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.11.024>
- El Shinawi, A., Kuriqi, A., Zelenakova, M., Vranayova, Z., & Abd-Elaty, I. (2022). Land subsidence and environmental threats in coastal aquifers under sea level rise and over-pumping stress. *Journal of Hydrology*, 608(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127607>
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Regional land subsidence accompanying groundwater

- extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27(4), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011>
- Imam, E. (2019). *Geology Module : Colour Composite Images and Visual Image Interpretation*. (January).
- Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2021). Analysis of spatio-temporal dynamics of land use and cover changes in Western Kenya. *Geocarto International*, 36(4), 376–391.
- Koomen, E., & Borsboom-van Beurden, J. (2011). *Land-use Modelling in Planning Practice*. Springer Nature.
- Langat, P. K., Kumar, L., Koech, R., & Ghosh, M. K. (2019). Monitoring of land use/land-cover dynamics using remote sensing: A case of Tana River Basin, Kenya. *Geocarto International*, 1–19.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217–222.
- Pradhan, R. P., Arvin, M. B., & Nair, M. (2020). *Urbanization , transportation infrastructure , ICT , and economic growth : A temporal causal analysis*. 115(September 2019).
- Rahnama, M. R. (2021). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustainable Cities and Society*, 64(October 2020), 1–11.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Chica-Olmo, M., Abarca-Hernandez, F., Atkinson, P. M., & Jeganathan, C. (2012). Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. *Remote Sensing of Environment*, 121, 93–107.
- Sejati, A. W., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2019). The spatio-temporal trends of urban growth and surface urban heat islands over two decades in the Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*, 46(July 2018). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101432>
- Stehman, S. V. (2001). Statistical rigor and practical utility in thematic map accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(6), 727–734.
- Wang, S. W., Munkhnasan, L., & Lee, W.-K. (2020). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan’s high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 2(November 2020), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100017>
- Wang, W.-Z., Liu, L.-C., Liao, H., & Wei, Y.-M. (2020). Impacts of urbanization on carbon emissions: An empirical analysis from OECD countries. *Energy Policy*, 151, 112171.
- Wickham, J., Stehman, S. V., Sorenson, D. G., Gass, L., & Dewitz, J. A. (2021). Thematic accuracy assessment of the NLCD 2016 land cover for the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment*, 257(January). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112357>