

**MODEL SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN PREDIKSI
TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN METODE *CELLULAR
AUTOMATA-MARKOV CHAIN* (STUDI KASUS : KECAMATAN
CIJERUK, CARINGIN, DAN CIGOMBONG, KABUPATEN BOGOR)**

Oleh

Waddan Aziz

(Skripsi)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

MODEL SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN PREDIKSI TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN METODE *CELLULAR AUTOMATA-MARKOV CHAIN* (STUDI KASUS : KECAMATAN CIJERUK, CARINGIN, DAN CIGOMBONG, KABUPATEN BOGOR)

Oleh

WADDAN AZIZ

Kabupaten Bogor terletak di provinsi Jawa Barat. Letak yang sangat dekat dengan ibukota Jakarta menjadikan kabupaten Bogor menjadi daerah penyangga ibukota dan menjadi pusat kegiatan di Provinsi Jawa Barat. Terdapat perubahan tutupan lahan yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir di Kabupaten Bogor bagian selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tutupan lahan pada tahun 2013 hingga 2023 dan memprediksi perubahan tutupan lahan di wilayah SWP Cigombong dengan bantuan faktor pendorong ketinggian lahan, lereng, jarak dari jalan, dan sungai pada tahun 2025.

Penelitian ini dilakukan di tiga kecamatan di Kabupaten Bogor tepatnya di SWP Cigombong, menggunakan metode *cellular automata* dan data utama adalah citra Landsat 8 OLI sebagai *input* awal peta tutupan lahan tahun 2013, 2017 dan 2021 untuk membuat model tutupan lahan tahun 2023 dan melakukan prediksi tutupan lahan pada tahun 2025. Terdapat tujuh kelas tutupan lahan yang akan diidentifikasi perubahan dan prediksinya di masa mendatang.

Hasil penelitian menunjukkan tutupan lahan di SWP Cigombong awalnya didominasi hutan dan lahan pertanian. Nilai uji akurasi model tahun 2023 sebesar 0,861161 atau 86,1% pada pengujian pertama dan 0,90 atau 90% pada pengujian kedua dengan survey lapangan dan menunjukkan bahwa setiap faktor pendorong memiliki pengaruh yang berbeda pada setiap kelas tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan diprediksi akan terus terjadi hingga tahun 2025 dan tutupan lahan yang diperkirakan paling signifikan perubahannya adalah lahan terbangun.

Kata kunci : Tutupan lahan, prediksi, penginderaan jauh, *cellular automata*,
Markov chain

ABSTRACT

SPATIAL LAND COVER CHANGE MODEL AND LAND COVER PREDICTION USING CELLULAR AUTOMATA - MARKOV CHAIN METHOD (CASE STUDY: CIJERUK, CARINGIN, AND CIGOMBONG DISTRICTS, BOGOR REGENCY)

By

WADDAN AZIZ

Bogor Regency is located in West Java Province. Its close proximity to the capital city, Jakarta, makes Bogor Regency a crucial supporting area for the capital and a central hub of activities in West Java Province. There have been significant land cover changes in recent years in the southern part of Bogor Regency. This study aims to examine the land cover conditions from 2013 to 2023 and predict land cover changes in the SWP Cigombong area by 2025, considering the driving factors of elevation, slope, distance from roads, and rivers. The study was conducted in three sub-districts of Bogor Regency, specifically in SWP Cigombong, using the cellular automata method. The primary data source was Landsat 8 OLI imagery, used as the initial input for land cover maps for the years 2013, 2017, and 2021. These maps were utilized to model the land cover for 2023 and predict land cover for 2025. Seven land cover classes will be identified for change detection and future prediction. The results indicate that the land cover in SWP Cigombong was initially dominated by forests and agricultural land. The model accuracy for 2023 was 0.861161 or 86.1% in the first test and 0.90 or 90% in the second test, validated through field surveys. The study shows that each driving factor has a different impact on each land cover class. Land cover changes are predicted to continue until 2025, with the most significant change expected in built-up areas.

Keywords: Land cover, prediction, remote sensing, cellular automata. Markov chain

Judul Skripsi : MODEL SPASIAL PERUBAHAN
TUTUPAN LAHAN DAN
PREDIKSI TUTUPAN LAHAN
MENGUNAKAN METODE
CELLULAR AUTOMATA-
MARKOV CHAIN (STUDI KASUS
: KECAMATAN CIJERUK,
CARINGIN, DAN CIGOMBONG,
KABUPATEN BOGOR)

Nama Mahasiswa : Waddan Aziz

NPM : 1815013025

Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik



Pembimbing 1

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 2

Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.
NIP. 19720302 200604 1 002

Rahma Anisa, S.T., M.Eng.
NIP. 199307162020122032

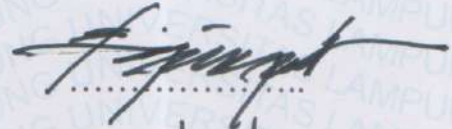
2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

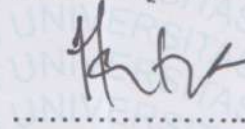
Ketua : **Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Rahma Anisa, S.T., M.Eng.**




Anggota : **Citra Dewi, S.T., M.Eng.**




2. Dekan Fakultas Teknik




Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 1975092820011210002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Juli 2024** 

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Waddan Aziz
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013025
Program Studi : S1 Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau telah dipergunakan dan diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lain.

Bandarlampung, September 2024



Waddan Aziz
NPM 1815013025

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Cirebon, 21 Maret 2000. Anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Suntoro dan Ibunda Saroh.

Pendidikan akademik penulis dimulai pada tahun 2006, penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Negeri Telukpinang 01, Ciawi, Kabupaten Bogor sampai tahun 2012. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 02 Ciawi, Kabupaten Bogor dan lulus pada tahun 2015. Pendidikan penulis selanjutnya ditempuh di SMA Negeri 01 Caringin, yang sekarang berubah menjadi SMA Negeri 33 Kabupaten Bogor. Setelah lulus dari pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi nya sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika di Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geodesi, penulis pernah mengikuti organisasi mahasiswa internal seperti Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) pada tahun 2021, dan menjadi asisten dosen mata kuliah Fotogrametri.

Tahun 2021, penulis melaksanakan salah satu syarat untuk menjadi sarjana Teknik, yaitu kerja praktik. Kerja praktik penulis dilaksanakan di Kantor Pertanahan Kabupaten Lampung Timur. Selama melaksanakan kerja praktik, penulis berkontribusi dalam proyek strategis nasional (PSN) pembebasan lahan untuk bendungan Margatiga, dan beberapa proyek lainnya, seperti Pemetaan Tematik Pertanahan dan Ruang di desa Margo Toto, Metro Kibang, Lampung Timur dan pembuatan peta Desa Lengkap serta Kecamatan Lengkap.

Selain proyek di kantor pertanahan Kabupaten Lampung Timur, penulis juga pernah mengerjakan beberapa proyek seperti pemetaan foto udara kawasan

pariwisata di Pantai Kunjir, Lampung Selatan. Proyek Pemetaan Tematik Pertanahan dan Ruang di kabupaten Pesawaran tahun 2022, Pengukuran bidang tanah di Kabupaten Pesawaran, dan Survey Kondisi Jalan Kabupaten Lampung Utara tahun 2022, Digitasi dan perbaikan data bidang tanah K4 di kabupaten Pesawaran.

Pada tahun 2023, penulis melakukan penelitian di Kabupaten Bogor dengan judul “Model Spasial Perubahan Tutupan Lahan Dan Prediksi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Cellular Automata-Markov Chain (Studi Kasus : Kecamatan Cijeruk, Caringin, Dan Cigombong, Kabupaten Bogor)” yang dibimbing oleh Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. dan Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim
Alhamdulillahabbil 'alamin

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur, kupersembahkan karya sederhana ini pertama kali kepada Sang Pencipta, Allah SWT., berkat rahmat, hidayat dan Inayat-Nya sehingga penulis diberi kesempatan untuk dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Dalam setiap detik yang berharga, setiap helaan nafas dan langkah, penulis merasakan kasih sayang dan dukungan dari berbagai pihak yang sangat luar biasa.

Dengan penuh terimakasih, Aku persembahkan skripsi ini sebagai bukti kasih dan sayangku kepada :

Abi dan Ibu tercinta, yang selalu menjadi penopang disaat lelah, dengan doa yang terus mengalir tanpa henti, dan cinta yang tak mengenal pamrih.

Zakhi, Ahul, Afni, dan Aqilla, adik-adikku yang selalu memberi semangat dengan senyum dan kebersamaan.

Keluarga besarku yang tidak bisa kusebutkan satu-persatu yang telah banyak sekali membantu dan menginspirasi.

Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung, yang telah memberikan banyak sekali ilmu, kisah dan petualangan baru bagi penulis.

Universitas Lampung, almamater tercinta tempat penulis menimba ilmu dan mengembangkan diri.

MOTTO

“When you want something, all the universe conspires in helping you to achieve it.”

(Paulo Coelho, *The Alchemist*)

“One is loved because one is loved. No reason is needed for loving.”

(Paulo Coelho)

“Kebahagiaan itu ada dalam pikiranmu, dan bergantung pada kualitas pikiranmu. Maka berbahagialah.”

(Fahruddin Faiz)

“Seiring ilmu pengetahuan bertambah, seharusnya yang tumbuh itu kebijaksanaan, bukan ego.”

(Ferry Irwandi)

“Every one of us is, in the cosmic perspective, precious. If a human disagrees with you, let him live. In a hundred billion galaxies, you will not find another.”

(Carl Sagan, *Cosmos*)

“And whoever is mindful of Allah – He will make for him of his matters ease.”

(Q.S At-Talaaq 65:4)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena rahmat, hidayat dan Inayah-Nya skripsi ini dapat penulis selesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada nabi besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari kegelapan menuju cahaya. Skripsi dengan judul “*Model Spasial Perubahan Tutupan Lahan Dan Prediksi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Cellular Automata-Markov Chain (Studi Kasus : Kecamatan Cijeruk, Caringin, Dan Cigombong, Kabupaten Bogor)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Geodesi di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini penulis menerima banyak sekali bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ir. Fauzan Murdapa, S.T., M.T., I.P.M., selaku ketua Jurusan Teknik Geodesi Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membagikan pengetahuannya, memberikan waktu, tenaga dan banyak sekali saran sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah memberi banyak masukan, bimbingan, serta nasihat sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Ibu Citra Dewi, S.T., M.Eng., yang telah berkenan menjadi dosen penguji dan telah memberikan saran pada penulisan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi, Universitas Lampung yang telah memberikan banyak sekali ilmu pengetahuan kepada penulis.

7. Staff dan karyawan Jurusan Teknik Geodesi Universitas Lampung yang telah banyak membantu penulis.
8. Ayah dan Ibu penulis, Bapak Suntoro dan Ibu Saroh yang tidak kenal lelah mendoakan penulis, mendukung dan membantu serta memberikan banyak sekali kasih sayang agar setiap aktivitas dan kegiatan yang penulis lakukan selalu dalam lindungan Allah SWT. Serta adik-adik penulis yang penulis cintai, Zakhi, Ahul, Afni, dan Aqilla.
9. Keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis.
10. Ulul Abshor Abdalla yang telah menjadi *sidekick* penulis, mendengarkan setiap keluh kesah penulis dan telah banyak membantu penulis.
11. Edo, Ilham, Wahyu, Juanda, dan Dimas rekan-rekan dekat penulis yang telah banyak sekali berbagi pengalaman dan banyak membantu penulis.
12. Ciken, Bintang, Idoy, Bram dan kawan-kawan kost Tante yang selama ini menemani kehidupan di kost.
13. Alif Mudzahid dan Fahri Erfiandy, teman penulis semasa SMA yang telah banyak sekali membantu penulis selama penelitian dilaksanakan.
14. Keluarga besar Teknik Geodesi angkatan 18 yang menjadi rekan seperjuangan penulis dalam menempuh Pendidikan tinggi.

Bandarlampung, Agustus 2024
Penulis

Waddan Aziz

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.6 Kerangka Pemikiran	7
1.7 Hipotesis	8
II. KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Tutupan Lahan.....	9
2.2 <i>Driving Factor</i>	11
2.2.1 Ketinggian Lahan	11
2.2.2 Kemiringan Lereng	11
2.2.3 Jaringan Jalan	12
2.2.4. Sungai	12
2.3 Penginderaan Jauh	13
2.3.1 Landsat 8	13
2.3.2 Koreksi Citra	15
2.3.3 Klasifikasi Citra.....	17
2.3.4 Interpretasi Citra.....	18
2.4 Metode <i>Cellular Automata</i> dan <i>Markov Chain</i>	20
2.5 <i>Multilayer Perceptron Neural Network (MLP)</i>	23
2.6 Matriks Peluang Transisi	24
2.7 Metode Uji Akurasi	25
2.8 Sistem Informasi Geografis	26
2.9 Prediksi Tutupan Lahan.....	27
2.10 Teknik <i>Sampling</i>	27
2.11 Model Spasial	29
2.12 Penelitian Terdahulu.....	30
III. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	34

3.2.1	Alat yang digunakan.....	34
3.2.2	Bahan yang digunakan.....	34
3.3	Metode penelitian	35
3.4	Persiapan.....	37
3.5	Pengumpulan Data.....	37
3.6	Pengolahan Data.....	38
3.6.1	Proses Koreksi Citra.....	38
3.6.2	Pemotongan Citra.....	39
3.6.3	Klasifikasi Citra	39
3.6.4	Uji Akurasi Hasil Klasifikasi	40
3.6.5	Pembuatan Peta <i>Driving Factor</i>	41
3.7	Analisis CA-MC.....	44
3.8	Uji Akurasi Model	45
3.9	<i>Groundchecking</i>	46
3.10	Pembuatan Model Prediksi Tahun 2025.....	46
3.11	Penyajian Hasil	47
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1	Peta Tutupan Lahan	48
4.2	Peta <i>Driving Factors</i>	56
4.3	Perubahan Tutupan Lahan	62
4.4	Analisis <i>Cellular Automata</i>	65
4.5	Uji Akurasi Model Prediksi	71
4.6	Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2025	77
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran	82
	DAFTAR PUSTAKA.....	83
	LAMPIRAN.....	86
	LAMPIRAN A BAHAN PENELITIAN	87
	LAMPIRAN B PETA HASIL PENELITIAN.....	96
	LAMPIRAN C TABEL SURVEY LAPANGAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kelas tutupan lahan	10
2. Resolusi Citra Landsat 8	14
3. Kategori nilai Kappa	26
4. Penelitian terdahulu.....	31
5. Tabel <i>scoring</i> pada faktor pendorong	44
6. Training sample pada setiap kelas tutupan lahan	50
7. Hasil uji akurasi peta tutupan lahan tahun 2013	54
8. Hasil uji akurasi peta tutupan lahan tahun 2017	54
9. Hasil uji akurasi tutupan lahan tahun 2021	55
10. Hasil uji akurasi tutupan lahan tahun 2023	55
11. Perubahan tutupan lahan dari tahun 2013 sampai tahun 2021	62
12. Perhitungan MLP pada tutupan lahan kelas 2 menjadi kelas 1	65
13. Perhitungan MLP pada tutupan lahan kelas 3 menjadi kelas 1	66
14. Perhitungan MLP pada tutupan lahan kelas 4 menjadi kelas 1	67
15. Perhitungan MLP pada tutupan lahan kelas 5 menjadi kelas 1	68
16. Perhitungan MLP pada tutupan lahan kelas 6 menjadi kelas 1	69
17. <i>Transition probability matrix</i> model tutupan lahan tahun 2023	69
18. Hasil pemodelan tutupan lahan tahun 2023	71
19. Uji akurasi model tutupan lahan tahun 2023.....	72
20. Nilai Kappa pada setiap kelas tutupan lahan.....	74
21. Hasil uji akurasi model kedua dengan survey lapangan	75
22. <i>Transition probability matrix</i> 2025	78
23. Prediksi tutupan lahan tahun 2025	79
24. Hasil survey lapangan.	104
25. <i>Transition probability matrix</i> 2023	123

26. <i>Transition probability matrix 2025</i>	123
27. Tabulasi silang uji akurasi kappa tahap pertama.....	124
28. Hasil uji akurasi kappa tahap pertama	124
29. Tabulasi silang uji akurasi kappa tahap kedua.....	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	8
2. Beberapa jenis model lingkungan CA.....	21
3. Peta lokasi penelitian.....	33
4. Diagram Alir Penelitian.	36
5. Citra Landsat 8 terkoreksi.	39
6. Alur klasifikasi citra.....	39
7. Tampilan plugin AcATaMa di QGIS.....	41
8. Alur pembuatan peta kemiringan lereng.	42
9. Alur pembuatan peta jarak dari jalan.	42
10. Alur pembuatan peta jarak dari sungai.....	43
11. Peta sebaran <i>training sample</i> tahun 2013.	48
12. Peta sebaran <i>training sample</i> tahun 2017	49
13. Peta sebaran <i>training sample</i> tahun 2021.	49
14. Peta sebaran <i>training sample</i> tahun 2023.	50
15. Peta tutupan lahan tahun 2013.	51
16. Peta tutupan lahan tahun 2017.	52
17. Peta tutupan lahan tahun 2021.	52
18. Peta tutupan lahan tahun 2023.	53
19. Peta ketinggian lahan.	56
20. Peta kemiringan lereng.....	57
21. Peta jarak dari jalan.....	59
22. Peta jarak dari sungai.	60
23. <i>Driving factor</i> yang telah di fuzzifikasi.	61
24. Grafik perubahan tutupan lahan tahun 2013-2023.....	64
25. Model tutupan lahan tahun 2023.....	70

26. Perbandingan model dengan tutupan lahan sebenarnya tahun 2023.....	73
27. Sebaran titik sampel	76
28. Sebaran titik sampel dengan dokumentasi lapangan.....	77
29. Prediksi tutupan lahan tahun 2025.	78
30. Peta citra Landsat 8 tahun 2013.	88
31. Peta citra Landsat 8 Tahun 2017.....	89
32. Peta citra Landsat tahun 2021.	90
33. Peta citra Landsat 8 tahun 2023	91
34. Peta <i>driving factor</i> ketinggian lahan	92
35. Peta <i>driving factor</i> lereng.....	93
36. Peta <i>driving factor</i> jarak dari jalan.....	94
37. Peta <i>driving factor</i> jarak dari sungai.	95
38. Peta tutupan lahan tahun 2013	102
39. Peta tutupan lahan tahun 2017.	103
40. Peta tutupan lahan tahun 2021	104
41. Peta tutupan lahan tahun 2023	105
42. Model tutupan lahan tahun 2023.....	106
43. Model prediksi tutupan lahan tahun 2025.....	106

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Kabupaten Bogor adalah salah satu kabupaten yang terletak di provinsi Jawa Barat. Secara geografis Kabupaten Bogor terletak antara 6°18' sampai dengan 6° 47' LS dan 106°01' sampai dengan 107°103' BT. Karena letaknya yang sangat dekat dengan ibukota Jakarta maka kabupaten Bogor menjadi daerah penyangga ibukota, dan menjadi salah satu area terpadat dan menjadi pusat kegiatan di Provinsi Jawa Barat. Badan pusat statistik mencatat jumlah penduduk Kabupaten Bogor sebanyak 5.566.838 jiwa menjadikannya kabupaten dengan jumlah penduduk terbanyak di Provinsi Jawa Barat (Badan Pusat Statistik, 2023). Dengan luas wilayah kabupaten Bogor adalah kurang lebih 2.986,20 Km² maka kepadatan penduduknya sebesar 1.838,30 jiwa/km².

Kondisi topografi Kabupaten Bogor memiliki beragam ketinggian wilayah, kenampakan lereng, perbukitan, hingga puncak gunung. Didukung dengan curah hujan yang cukup tinggi di sebagian besar wilayah Kabupaten Bogor membuatnya dilalui beberapa aliran sungai. Selain itu, terdapat juga gunung yang berada di wilayah selatan Kabupaten Bogor, yaitu Gunung Salak, Gunung Gede, dan Gunung Pangrango tepatnya terletak di beberapa kecamatan di selatan Kabupaten Bogor. Wilayah tersebut adalah wilayah yang akan menjadi lokasi penelitian ini. Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kabupaten Bogor telah membagi beberapa sub wilayah pengembangan. Salah satunya adalah sub wilayah pengembangan (SWP) Cigombong, yang terletak di bagian selatan wilayah Kabupaten Bogor. SWP Cigombong terdiri atas Kecamatan Cijeruk,

Caringin dan Cigombong. Hal ini menyebabkan wilayah SWP Cigombong memiliki berbagai kelas tutupan lahan.

Wilayah pengembangan merupakan sekelompok wilayah administratif di tingkat kecamatan yang memiliki karakteristik fisik dan fungsi yang serupa, dan ditujukan untuk pengembangan yang terintegrasi. Wilayah pengembangan tersebut memiliki karakteristik yang agak berbeda. Meskipun demikian, Wilayah Barat dan Wilayah Timur memiliki banyak kesamaan atau mirip dalam beberapa hal. Wilayah Tengah, terutama kecamatan Cibinong dan sekitarnya, merupakan pusat pertumbuhan utama di mana terjadi kapitalisasi ekonomi yang tinggi, didukung oleh tingkat industri yang sangat tinggi (Dione, 2018). Sehingga hal ini juga dapat mempengaruhi jenis tutupan lahan yang ada di wilayah tersebut.

SWP Cigombong direncanakan untuk kepentingan ekonomi dan kepentingan fungsi dan daya dukung lingkungan. Berdasarkan RTRW Kabupaten Bogor 2016-2036 pada SWP Cigombong terdapat kawasan yang memiliki nilai strategis dari sudut kepentingan pendayagunaan sumber daya alam dan/atau teknologi tinggi. Kawasan ini tepatnya berada pada kecamatan Caringin yang direncanakan menjadi kawasan strategis pusat kota. Hal ini menyebabkan peningkatan kebutuhan akan lahan untuk lahan terbangun, sehingga tutupan lahan di wilayah ini diperkirakan akan terjadi perubahan.

Tutupan lahan dapat didefinisikan sebagai keadaan atau kenampakan fisik pada permukaan bumi pada area tertentu, baik terbentuk secara alami maupun hasil pengaturan atau aktivitas manusia untuk melakukan berbagai macam kegiatan. Tutupan lahan adalah kenampakan materil fisik permukaan bumi, yang memiliki keterkaitan antara proses alami dan sosial (Sampurno dkk., 2021). Tutupan lahan adalah salah satu aspek penting dalam studi penggunaan lahan dan perencanaan tata ruang. Perubahan tutupan lahan yang tidak terkendali dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan keberlanjutan wilayah.

Tidak terkecuali, Kabupaten Bogor juga mengalami perubahan tutupan lahan yang cukup signifikan.

Penting untuk memahami pola perubahan tutupan lahan dan melakukan prediksi yang akurat untuk membantu pengambilan keputusan dalam perencanaan wilayah. Guna mengetahui adanya perubahan penggunaan lahan pada suatu wilayah, dapat diperoleh melalui beberapa metode, antara lain melalui penggunaan data penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Nilda dkk., 2015).

Sejalan dengan hasil penelitian oleh Trisasongko dkk., (2009) dalam (Fajarini dkk., 2015) temuannya menunjukkan bahwa konversi lahan pertanian di wilayah Jabodetabek terjadi karena adanya pembangunan jalan tol, yang meningkatkan aksesibilitas masyarakat dari Jakarta ke wilayah sekitarnya. Adanya akses yang lebih mudah ke Jakarta telah menciptakan fenomena komutasi, di mana orang bekerja di Jakarta tetapi tinggal di daerah sekitarnya seperti Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi. Berdasarkan hal ini, Kabupaten Bogor memiliki potensi besar untuk mengalami perubahan dalam penggunaan lahan, khususnya pergeseran lahan pertanian menjadi lahan yang dibangun.

Selain itu, pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan akan lahan dan kondisi Kabupaten Bogor yang menjadi daerah industri serta wilayah penyangga ibukota membuat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Bogor signifikan. Perubahan lahan yang dinamis tentu tidak hanya membawa dampak baik bagi manusia, tetapi tidak jarang sebaliknya. Selama dua dekade terakhir, tidak kurang dari 11% luas wilayah yang berupa semak belukar dikonversi menjadi lahan terbangun (Setiawan dkk., 2015).

Penelitian lain tentang perubahan tutupan lahan di wilayah Kabupaten Bogor juga membuktikan bahwa telah terjadi proses sub-urbanisasi karena meluasnya perkembangan pemukiman dari hasil konversi lahan produktif, baik pertanian maupun lahan perkebunan. Warga bebas merubah lahan sawah menjadi lahan

kering (lebih menguntungkan) atau dijadikan rumah tinggal (Trimarwanti, 2014).

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai perubahan tutupan lahan, serta prediksi bagaimana tutupan lahan akan berubah di masa mendatang untuk meminimalisir penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan yang tidak bertanggung jawab. Dalam bidang SIG, telah banyak metode yang digunakan untuk menganalisis perubahan bahkan memprediksi tutupan lahan, salah satunya adalah metode *Cellular Automata*. *Cellular Automata* (CA) adalah metode simulasi yang didasarkan pada pembagian ruang menjadi kisi-kisi sel (Wolfram, 1984). Setiap sel memiliki keadaan tertentu (hidup/mati, bervegetasi/tidak bervegetasi) dan mengikuti aturan yang menentukan bagaimana keadaannya berubah berdasarkan tetangganya. Metode *Cellular Automata* dianggap menjadi salah satu pendekatan yang efektif dalam memodelkan dinamika perubahan tutupan lahan. Dengan menggunakan pendekatan ini, penelitian di wilayah Kabupaten Bogor bagian selatan menggunakan *Cellular Automata-Markov Chain* sebagai landasan untuk menganalisis dan memprediksi perubahan tutupan lahan di masa mendatang.

Khususnya di wilayah kabupaten Bogor bagian selatan, tepatnya pada Kecamatan Cijeruk, Caringin dan Cigombong menggunakan metode *Cellular Automata-Markov Chain* untuk memodelkan dan menganalisis perubahan tutupan lahan, serta memprediksi bagaimana tutupan lahan di wilayah tersebut akan berubah. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan lain dalam menyusun perencanaan dan pembangunan bagi pihak yang berwenang agar keseimbangan dan kelestarian alam tetap terjaga serta dapat meningkatkan kesejahteraan hidup masyarakat di wilayah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi tutupan lahan di Sub Wilayah Pengembangan (SWP) Cigombong pada tahun 2013,2017,2021 dan 2023?
2. Apakah terdapat perubahan yang signifikan pada tutupan lahan di wilayah tersebut?
3. Bagaimana prediksi tutupan lahan di SWP Cigombong pada tahun 2025?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini diantaranya :

1. Mengetahui kondisi tutupan lahan di Kabupaten Bogor sub wilayah pengembangan Cigombong pada tahun 2013, 2017, 2021, dan 2023.
2. Mengidentifikasi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Bogor sejak tahun 2013 sampai dengan tahun 2023.
3. Memprediksi tutupan lahan SWP Cigombong di Kecamatan Caringin, Cigombong dan Cijeruk pada tahun 2025.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian yang membahas perubahan tutupan lahan di SWP Cigombong dan prediksi tutupan lahan di masa mendatang diharapkan dapat memberikan manfaat khususnya bagi:

1. Bagi instansi pemerintahan

Beberapa manfaat yang diharapkan dapat berguna bagi pemerintah setempat maupun pihak yang berwenang dalam perencanaan dan pembangunan adalah:

- a. Menjadi saran dan masukan tambahan agar pengelolaan wilayah dapat berjalan sesuai dengan aturan yang berlaku.
 - b. Menambah informasi mengenai keadaan terkini kondisi tutupan lahan di wilayah Kabupaten Bogor
 - c. Pemerintah diharapkan dapat menggunakan hasil penelitian untuk mengelola sumber daya alam dengan lebih efisien, khususnya pada pengelolaan wilayah.
2. Bagi Penulis dan Pembaca
- Bagi penulis sendiri penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan penulis dalam memahami penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh khususnya pada prediksi tutupan lahan. Serta penggunaan metode *Cellular Automata* dan *Markov Chain* dalam pembuatan model spasial tutupan lahan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

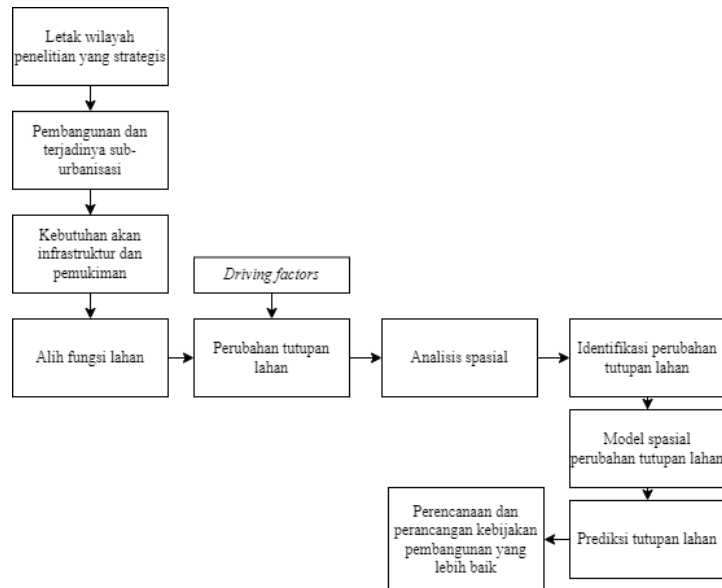
Ruang lingkup pada penelitian ini adalah :

1. Lokasi penelitian terdapat di bagian selatan Kabupaten Bogor yaitu di Kecamatan Cijeruk, Caringin dan Cigombong. Berdasarkan Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kabupaten Bogor, wilayah tersebut termasuk kedalam SWP (Sub Wilayah Pembangunan) Cigombong. Sehingga selanjutnya untuk menyederhanakan penyebutan wilayah penelitian yang terdiri dari tiga kecamatan, akan disebut sebagai SWP Cigombong.
2. Data yang digunakan adalah data primer berupa data hasil *groundchecking* tutupan lahan tahun 2023 dan data sekunder berupa citra satelit Landsat 8 tahun 2013, 2017, 2021, dan 2023, DEMNAS dari BIG, peta batas administrasi kecamatan tahun 2020, peta jaringan jalan tahun 2020, dan peta jaringan sungai tahun 2020.

3. Pengolahan data menggunakan metode *Cellular Automata-Markov Chain* untuk mendapatkan model tutupan lahan tahun 2023 sebagai dasar prediksi tutupan lahan.
4. Faktor pendorong yang digunakan dalam penelitian adalah ketinggian lahan dan kemiringan lereng dari data DEMNAS yang diunduh dari laman geoportal, peta jarak dari jalan, dan sungai hasil pengolahan data jaringan jalan dan jaringan sungai peta RBI yang juga diunduh dari laman geoportal. Data tersebut diolah dengan *tools Euclidean distance* dan fuzifikasi.
5. Uji akurasi model dengan indeks Kappa, dan *crosstab* tutupan lahan hasil pemodelan tahun 2023 dengan tutupan lahan sebenarnya tahun 2023.
6. Prediksi tutupan lahan pada 2025.

1.6 Kerangka Pemikiran

Kabupaten Bogor secara geografis terletak di selatan ibukota Jakarta. Daerah ini menjadi daerah penyangga ibukota dimana kebutuhan akan lahan terus meningkat serta area terbangun untuk hunian juga terus dibutuhkan. Dalam beberapa tahun belakangan, di kecamatan Cijeruk, Caringin dan Cigombong atau selanjutnya akan disebut dengan SWP Cigombong terjadi perubahan tutupan lahan yang cukup signifikan. Selain itu, berdasarkan RTRW Kabupaten Bogor, SWP Cigombong merupakan kawasan yang direncanakan sebagai kawasan yang memiliki nilai strategis ekonomi dan perkotaan. Didukung oleh temuan penelitian di Kabupaten Bogor mengenai perubahan tutupan lahan yang telah dilakukan. Serta, pembangunan infrastruktur seperti jalan tol, dan industri. Maka, diperlukan sebuah analisis spasial mengenai tutupan lahan untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi di masa mendatang.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran.

1.7 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah, perubahan tutupan lahan di wilayah SWP Cigombong akan terus terjadi dalam beberapa tahun mendatang. Tutupan lahan yang diperkirakan akan terus bertambah secara signifikan adalah lahan terbangun dan tutupan lahan yang diperkirakan akan terus berkurang adalah tanaman campuran dan daerah pertanian seperti ladang dan sawah. Faktor pendorong sangat berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan di wilayah SWP Cigombong. Serta arah perubahan yang terjadi diprediksi akan terpusat pada Kecamatan Caringin karena dalam RTRW disebutkan bahwa Kecamatan Caringin direncanakan sebagai kawasan strategis ekonomi dan perkotaan.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tutupan Lahan

Tutupan lahan berkaitan dengan jenis kenampakan yang ada pada permukaan tanah. Ladang jagung, vegetasi, dan lahan terbangun adalah beberapa contoh dari tutupan lahan. Dalam kata lain, tutupan lahan adalah jenis kenampakan yang dapat diamati pada permukaan bumi (Lillesand dkk., 2015).

Tutupan lahan mengacu pada berbagai tutupan permukaan tanah baik berupa lahan pertanian, lahan terbangun, badan air, lahan terbuka dan lain sebagainya (Wang dkk., 2019). Menurut Somae dkk., (2023) tutupan lahan adalah jenis lahan yang menggambarkan semua kondisi fisik di permukaan bumi. Keadaan fisik di permukaan tanah tersebut dapat berupa tutupan vegetasi, air dan tanah. Tutupan lahan penting karena mempengaruhi berbagai aspek lingkungan, termasuk iklim, sumber daya alam, keanekaragaman hayati dan berkaitan dengan aktivitas manusia dan hubungannya dengan lahan. Sehingga pemahaman tentang tutupan lahan dianggap penting untuk pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Dengan memahami bagaimana tutupan lahan dapat mempengaruhi manusia dan lingkungannya, diharapkan untuk dapat membuat keputusan yang lebih baik tentang bagaimana menggunakan lahan dan melindungi sumber daya alam.

Klasifikasi tutupan lahan pada penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7465:2010 (Badan Standardisasi Nasional, 2010) tentang klasifikasi penutup lahan yang kemudian dilakukan sedikit penyesuaian dan diklasifikasikan kedalam tujuh kelas.

Tabel 1. Kelas tutupan lahan

No	Kelas Tutupan Lahan	Deskripsi
1	Lahan terbangun	Area yang telah mengalami substitusi penutup lahan alami ataupun semi alami dengan penutup lahan buatan yang biasanya bersifat kedap air dan relatif permanen.
2	Sawah	Areal pertanian yang digenangi air atau diberi air, baik dengan teknologi pengairan, tadah hujan, maupun pasang surut. Areal pertanian dicirikan oleh pola pematang, dengan ditanami jenis tanaman pangan berumur pendek (padi).
3	Ladang	Ladang dengan penggarapan secara temporer atau berpindah-pindah. Ladang adalah area yang digunakan untuk kegiatan pertanian dengan jenis tanaman selain padi, tidak memerlukan pengairan secara ekstensif, vegetasinya bersifat artifisial dan memerlukan campur tangan manusia untuk menunjang kelangsungan hidupnya.
4	Lahan Terbuka	Lahan tanpa tutupan lahan baik yang bersifat alamiah, semi alamiah maupun artifisial. Menurut karakteristik permukaannya, lahan terbuka dapat dibedakan menjadi <i>consolidated</i> dan <i>unconsolidated surface</i> .
5	Tanaman Campuran	Lahan yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi.
6	Hutan Lahan Kering	Hutan yang tumbuh dan berkembang di habitat lahan kering.
7	Badan Air	Semua kenampakan perairan termasuk laut, waduk, terumbu karang dan padang lamun.

Sumber : Standar Nasional Indonesia (SNI 7645:2010) dengan penyesuaian.

2.2 *Driving Factor*

Driving factors atau faktor pendorong adalah istilah yang merujuk pada faktor-faktor utama yang menyebabkan atau mempengaruhi suatu fenomena, dalam hal ini adalah perubahan tutupan lahan yang terjadi. Faktor pendorong dapat berupa faktor alami maupun buatan.

2.2.1 Ketinggian Lahan

Ketinggian lahan atau elevasi merujuk pada tinggi rendahnya suatu wilayah dihitung dari permukaan laut. Ketinggian lahan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tutupan lahan. Wilayah dengan ketinggian lahan yang tinggi akan memiliki kondisi lingkungan yang lebih ekstrem, seperti suhu yang lebih rendah atau curah hujan yang lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi jenis tutupan lahan yang mungkin tumbuh di sana. Selain itu, kondisi topografi yang berbeda di daerah yang lebih tinggi dapat membatasi aktivitas manusia seperti pertanian atau pembangunan sehingga dapat berakibat pada berkurangnya peluang tutupan lahan akan berubah.

2.2.2 Kemiringan Lereng

Lereng adalah suatu kondisi pada permukaan tanah yang cenderung membentuk sudut tertentu dengan sumbu horizontal. Secara sederhana, lereng dapat dijelaskan sebagai permukaan tanah yang memiliki ketinggian yang berbeda di beberapa titik, sehingga membentuk sudut. Perbedaan ketinggian pada permukaan tanah seperti lereng dapat mengakibatkan pergerakan massa tanah dari bidang dengan ketinggian yang tinggi menuju bidang dengan ketinggian lahan yang lebih rendah, pergerakan ini diakibatkan oleh gravitasi (Arifin, 2015).

Kemiringan Lereng pada suatu wilayah juga dapat mempengaruhi perubahan tutupan lahan. Lereng yang curam cenderung sulit untuk dibangun atau diolah, sehingga lebih mungkin dipertahankan sebagai vegetasi alami atau hutan. Di sisi lain, lereng yang landai akan lebih sesuai untuk kegiatan manusia seperti pertanian atau pemukiman. Perubahan kemiringan lereng dapat mempengaruhi erosi tanah, perubahan aliran air, dan risiko bencana alam seperti tanah longsor, yang semuanya dapat memengaruhi pola tutupan lahan. Sehingga kemiringan lereng dianggap menjadi salah satu faktor yang dapat menentukan perubahan tutupan lahan pada suatu wilayah.

2.2.3 Jaringan Jalan

Sesuai dengan SNI 7645:2010 jaringan jalan adalah jaringan sarana transportasi yang diperuntukkan bagi lalu lintas kendaraan. Jaringan jalan ini berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan. Karena jaringan jalan merupakan sarana transportasi maka perubahan tutupan lahan khususnya lahan terbangun akan bergerak mengikuti jalan dan sebaliknya jaringan jalan juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan akan sarana transportasi. Sehingga tutupan lahan di area yang lebih dekat atau dilalui oleh jalan akan semakin terpengaruh untuk berubah.

2.2.4. Sungai

Sungai juga merupakan faktor pendorong yang penting dalam perubahan tutupan lahan. Hal ini dikarenakan wilayah yang dekat dengan sungai mungkin memiliki kelebihan akses air yang dapat mendukung pertanian atau pemukiman manusia. Namun, kedekatan dengan sungai juga dapat meningkatkan risiko banjir atau erosi, yang dapat membatasi penggunaan lahan atau mengubah pola tutupan lahan secara signifikan. Sehingga

jarak dari sungai akan menjadi salah satu faktor pendorong yang signifikan pada beberapa kelas tutupan lahan.

Dari keempat *driving factors* diatas, selanjutnya akan dilakukan *scoring* untuk menentukan nilai pengaruh setiap faktor pendorong terhadap perubahan tutupan lahan.

2.3 Penginderaan Jauh

Penginderaan jarak jauh adalah suatu ilmu untuk memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dari sebuah alat yang tidak berhubungan langsung dengan objek, yang sedang diamati (Lillesand dkk., 2015). Dalam definisi lain, Penginderaan jauh adalah teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis informasi tentang bumi, informasi tersebut berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi (Sutanto, 1986).

Tujuan dari penginderaan jauh adalah untuk mengambil data dan informasi dari gambar-gambar, baik berupa foto maupun non-foto, dari berbagai objek di permukaan bumi yang direkam atau digambarkan oleh sensor pada alat pengindera buatan. Pengetahuan dasar dalam interpretasi penginderaan jauh menjadi fondasi yang harus dipahami sebelum mempelajari dan melakukan interpretasi terhadap gambar-gambar, baik foto maupun non-foto, dalam berbagai bidang (Yusuf, 2017).

2.3.1 Landsat 8

Landsat 8 merupakan sebuah wahana satelit observasi bumi yang diluncurkan pada 11 Februari 2013. Satelit ini merupakan misi lanjutan dari misi Landsat sebelumnya. Dengan menggunakan 2 sensor baru berupa OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infrared Sensors*) untuk mengukur bumi pada spektrum tampak, inframerah, dan

suhu permukaan tanah. Landsat 8 memiliki resolusi spasial 15 meter pada untuk *band* pankromatik dan 30 meter pada gelombang multispektral sepanjang 185 km untuk satu citra yang dihasilkan. Resolusi dari citra landsat 8 dapat dilihat pada tabel di berikut.

Tabel 2. Resolusi Citra Landsat 8

<i>Band</i>	Resolusi (m)	Panjang Gelombang (μm)	Spektrum
1	30	0,435 -0,451	<i>Coastal/Aerosol</i>
2	30	0,452 – 0,512	<i>Blue</i>
3	30	0,533 – 0,590	<i>Green</i>
4	30	0,636 -0,673	<i>Red</i>
5	30	0,851 – 0,879	NIR
6	30	1,566 – 1,651	SWIR 1
7	30	2,107 – 2,294	SWIR 2
8	15	0,503 – 0,676	<i>Panchromatic</i>
9	30	1,363 – 1,384	<i>Cirrus</i>
10	100	10,60 – 11,19	TIR 1
11	100	11,50 – 12,51	TIR 2

Sumber : USGS 2022.

Landsat 8 memiliki berbagai jenis produk data citra yang dirilis, diantaranya adalah :

a. L1T (*Level 1 Terrain-corrected*):

- Data telah dikoreksi geometrik menggunakan model DEM (Digital Elevation Model) dan kontrol titik darat (*Ground Control Points*)GCP.
- Diharapkan memiliki akurasi geometrik yang sangat tinggi.

b. L1GT (*Level 1 Systematic Terrain-corrected*):

- Data telah dikoreksi menggunakan informasi sistematis serta DEM untuk meningkatkan akurasi geometrik, namun tidak menggunakan GCP.
- Akurasi geometrik lebih baik dibandingkan L1G, tetapi mungkin tidak setinggi L1T.

c. L1G (*Level 1 Systematic*):

- Data dikoreksi sistematis menggunakan parameter sensor dan satelit.
- Akurasi geometrik dasar, tidak termasuk koreksi dengan GCP atau DEM.

Data dari Landsat 8 OLI biasanya sudah cukup untuk banyak aplikasi tanpa koreksi tambahan, terutama jika menggunakan produk L1T.

2.3.2 Koreksi Citra

Koreksi citra dapat diartikan sebagai perbaikan citra yang berarti melakukan perbaikan terhadap data atau keadaan citra yang salah akibat pengaruh semua faktor yang mempengaruhi data, akan tetapi tidak ada hubungannya dengan perubahan objek pada citra (Yusuf, 2017). Koreksi citra termasuk kedalam proses pra pengolahan data dalam penginderaan jauh. Tujuan utama dari koreksi citra adalah untuk meningkatkan kualitas dan keakuratan citra sehingga informasi yang diperoleh dari citra tersebut menjadi lebih bermanfaat dan dapat diinterpretasikan dengan lebih tepat. Terdapat beberapa jenis koreksi citra diantaranya :

a. Koreksi Atmosferik

Koreksi atmosferik adalah proses perbaikan nilai spektral citra yang masih memiliki kesalahan dikarenakan faktor tertentu seperti gangguan atmosfer dan kesalahan sensor. Atmosfer memiliki pengaruh signifikan terhadap radiasi elektromagnetik yang diterima oleh sensor satelit. Radiasi yang terdeteksi oleh sensor dapat terpengaruh oleh hamburan Rayleigh (hamburan molekul kecil), hamburan Mie (hamburan partikel aerosol), dan penyerapan oleh gas-gas atmosfer seperti uap air dan ozon. Pengaruh ini dapat mengubah nilai Digital Number (DN) atau reflektansi yang terukur, membuatnya berbeda dari kondisi sebenarnya di permukaan bumi (Gao, dkk. 1990).

Gangguan atmosfer menyebabkan nilai pantulan dari objek di permukaan bumi yang direkam oleh sensor menjadi tidak sesuai dengan nilai aslinya. Hal ini dapat mengakibatkan nilai tersebut menjadi lebih besar karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan. Oleh karena itu, koreksi radiometrik diperlukan untuk memperbaiki nilai piksel sehingga mencerminkan kondisi yang seharusnya, dengan mempertimbangkan gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama (Lukiawan dkk., 2019).

Terdapat perubahan nilai pada band citra antara citra Landsat 8 yang telah dikoreksi atmosferik dan yang belum dikoreksi. Perubahan ini mencerminkan bagaimana koreksi atmosferik menghilangkan pengaruh atmosfer, sehingga nilai reflektansi yang dihasilkan lebih akurat. Setelah koreksi atmosferik, nilai reflektansi pada setiap *band* akan lebih mendekati kondisi aktual di permukaan bumi. Koreksi ini dilakukan dengan menghilangkan pengaruh hamburan dan penyerapan atmosfer, sehingga nilai reflektansi lebih rendah pada band-band yang sensitif terhadap hamburan (misalnya band biru) dan lebih tinggi pada band-band yang dipengaruhi oleh penyerapan aerosol atau uap air. Sebelum melakukan koreksi atmosferik, citra harus terlebih dahulu dikalibrasi radiometrik dengan mengubah nilai Digital Number (DN) menjadi radiance (L_λ) menggunakan persamaan berikut:

$$L_\lambda = ML \times Q_{cal} + AL \dots \dots \dots (1)$$

Dengan ketentuan :

L_λ : Radiance dalam $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

ML : Multiplier gain

AL : Additive offset

Q_{cal} : Nilai Digital Number (DN)

Setelah mendapatkan radiance, langkah berikutnya adalah mengonversi radiance ke reflectance top-of-atmosphere (TOA) dengan menggunakan rumus berikut :

$$\rho TOA = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{E_{sun} \times \cos \theta_s} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan ketetapan :

ρTOA : Reflectance top-of-atmosphere

L_{λ} : Radiance dalam $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

d : jarak matahari dan bumi dalam SA

E_{sun} : Irradiance matahari pada panjang gelombang tertentu

θ_s : sudut zenith matahari

Sebagai contoh, band biru (0.45–0.51 μm) akan mengalami penurunan nilai reflektansi setelah koreksi karena efek hamburan Rayleigh yang lebih dominan pada panjang gelombang pendek. Band lain, seperti band NIR (0.85–0.88 μm), mungkin menunjukkan peningkatan nilai reflektansi karena koreksi terhadap penyerapan uap air.

b. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik bertujuan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan geometris pada citra satelit akibat perbedaan sudut pandang, rotasi, atau skala antara citra yang dihasilkan oleh sensor dan kondisi sebenarnya di lapangan. Citra Landsat 8 sebenarnya telah melalui proses peningkatan kualitas data geometrik. Sehingga biasanya tidak memerlukan koreksi geometrik tambahan karena citra yang dihasilkan sudah memiliki kualitas geometrik yang cukup baik (Roy, dkk., 2014).

2.3.3 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan tahapan dalam interpretasi citra satelit yang dilakukan dengan tujuan untuk mengelompokkan nilai piksel sesuai nilai spektralnya ke dalam beberapa kelas sehingga kelas tersebut merepresentasikan suatu kenampakan tertentu. Klasifikasi citra dalam penginderaan jauh dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu

klasifikasi visual dan klasifikasi digital. Klasifikasi visual melibatkan proses interpretasi dan penandaan langsung pada citra, sementara klasifikasi digital menggunakan pendekatan yang terkomputerisasi, baik metode *supervised* atau *unsupervised*, yang bergantung pada nilai digital citra dengan bantuan perangkat lunak khusus (Marini dkk., 2014).

Dalam penelitian ini, metode klasifikasi citra yang digunakan adalah klasifikasi digital, dengan metode *supervised classification* dan algoritma *maximum likelihood*. Klasifikasi *supervised maximum likelihood* menggunakan nilai piksel yang telah dikategorikan atau didefinisikan dalam sampel pelatihan untuk setiap jenis tutupan lahan sebagai acuannya (Marini dkk., 2014).

2.3.4 Interpretasi Citra

Interpretasi citra adalah proses menganalisis dan mengidentifikasi objek serta fenomena yang terdapat dalam citra untuk memahami kondisi dan karakteristik permukaan bumi atau objek lainnya. Proses ini melibatkan penggunaan teknik-teknik visual maupun digital untuk mengekstraksi informasi dari gambar yang diambil oleh sensor optik, radar, atau satelit. Menurut Lillesand dan Kiefer (2000), "Interpretasi citra adalah proses mengidentifikasi dan menilai makna objek atau fenomena yang tergambar pada citra untuk memperoleh informasi tentang lingkungan permukaan bumi"

Dalam proses menginterpretasi citra, terdapat kunci dan unsur-unsur interpretasi yang perlu diperhatikan. Kunci interpretasi citra adalah panduan atau petunjuk yang digunakan untuk mengidentifikasi objek berdasarkan unsur-unsur interpretasi citra. Kunci ini sering kali berupa tabel, diagram, atau deskripsi yang membantu dalam mengenali objek tertentu. Menurut Campbell (2002), "Kunci interpretasi citra adalah alat yang membantu penginterpretasi untuk mengenali dan

mengklasifikasikan objek pada citra berdasarkan karakteristik visualnya", berikut adalah unsur interpretasi citra, diantaranya :

1. Rona(*Tone*)

Rona merupakan tingkat kecerahan sebuah objek pada citra. Rona merupakan atribut visual yang paling dasar dalam interpretasi citra. Permukaan yang kasar cenderung menghasilkan rona gelap pada foto karena cahaya yang datang mengalami hamburan, sehingga mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan. Selain itu objek yang basah menimbulkan rona yang gelap

2. Warna(*Color*)

Perbedaan warna pada citra berwarna yang membantu membedakan objek atau fenomena. Objek memantulkan spektrum tertentu sehingga menghasilkan warna berbeda.

3. Bentuk (*Shape*)

Kontur atau siluet dari objek yang dapat membantu mengidentifikasi jenis objek tersebut. Misalnya Gedung berbentuk huruf I, L, U. atau sungai berkelok-kelok, dan jalan memiliki persimpangan.

4. Ukuran (*Size*)

Dimensi objek yang dapat memberikan petunjuk tentang jenis dan skala objek tersebut. Gunung dapat dibedakan dengan bukit berdasarkan ukurannya.

5. Tekstur (*Texture*)

Tekstur kasar atau halus yang muncul pada permukaan objek dalam citra, yang dapat membantu mengenali tipe vegetasi atau permukaan. Misalnya sawah memiliki tekstur yang lebih halus dan merata dibandingkan dengan ladang jagung.

6. Bayangan (*Shadow*)

Area gelap yang dihasilkan oleh objek yang terhalang oleh cahaya, yang dapat membantu mengidentifikasi tinggi dan bentuk objek.

7. Pola (*Pattern*)

Susunan spasial objek yang berulang, yang bisa menunjukkan pola penggunaan lahan atau distribusi vegetasi.

8. Asosiasi (*Association*)

Hubungan objek dengan objek lain di sekitarnya, yang dapat memberikan konteks untuk interpretasi.

2.4 Metode *Cellular Automata* dan *Markov Chain*

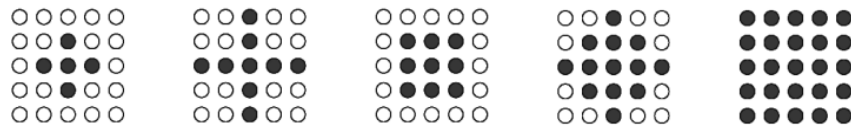
Cellular automata (CA) adalah jaringan sel yang tersusun secara teratur, di mana setiap sel memiliki jumlah keadaan yang terbatas (disebut juga sebagai mesin keadaan yang terbatas). Setiap sel, atau otomat seluler, berinteraksi dengan lingkungannya dalam waktu yang terpisah-pisah, di mana pada setiap langkah, setiap sel berubah ke keadaan baru berdasarkan keadaan sendiri dan keadaan sel tetangganya. CA dapat disimulasikan dalam bentuk jaringan yang terbatas, seperti garis satu dimensi, persegi panjang dua dimensi, atau kubus tiga dimensi. Sel-sel dalam jaringan ini bergerak dari satu keadaan ke keadaan berikutnya sesuai dengan aturan lokalnya, yang menentukan bagaimana keadaan setiap sel berkembang berdasarkan keadaan sendiri dan tetangganya. Semua sel menggunakan aturan lokal yang sama dan berubah ke keadaan baru secara bersamaan (Burguillo, 2018).

Pada tahun 1970, Conway merilis *Cellular Automaton* (CA) yang paling terkenal, yaitu *Game of Life*, yang diperkenalkan oleh Martin Gardner di *Scientific American*. *Game of Life* adalah permainan CA 2 Dimensi di mana setiap sel memiliki lingkungan yang terdiri dari dirinya sendiri dan delapan sel tetangga (dikenal sebagai lingkungan Moore). Dalam *Game of Life*, setiap sel dapat berada dalam keadaan hidup atau mati (dua status) dan berkembang sesuai dengan tiga aturan sederhana:

1. Kelahiran: Sebuah sel mati akan hidup kembali jika memiliki tepat tiga tetangga.

2. Kematian: Sebuah sel yang hidup akan mati jika memiliki kurang dari dua tetangga (isolasi) atau lebih dari tiga tetangga (kelebihan populasi).
3. Bertahan Hidup: Sebuah sel yang hidup akan terus hidup jika memiliki dua atau tiga tetangga di sekitarnya.

Terdapat beberapa jenis lingkungan (*Neighborhoods*) dalam konsep CA, sel-sel dalam dimensi 2D biasanya direpresentasikan dengan kotak tetapi terkadang segitiga maupun segi enam juga dapat digunakan. Pada konsep ini, lingkungan biasanya berdasarkan jarak *Euclidean*.



Gambar 2. Beberapa jenis model lingkungan CA.

(Sumber : Burguillo, 2018)

Penerapan konsep CA dalam konteks geografis sangat dipengaruhi faktor tetangga (*neighbour*), hal ini dikarenakan adanya relasi spasial. Dengan adanya faktor ketetanggaan maka otomatis dapat dibentuk secara geometris dengan lebih baik (Pambudi, 2023).

$$A \sim (S, T, N) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

A : *Automaton*

S : *state*

T : *transition rules*

N : *Neighborhood*

a. *Automaton*

Automaton adalah model yang terdiri dari sel-sel yang berinteraksi berdasarkan aturan tertentu. Setiap sel bisa dalam keadaan tertentu dan berinteraksi dengan sel tetangganya sesuai aturan. *Automaton* ini digunakan untuk memodelkan sistem yang berubah seiring waktu.

Dalam *Game of Life*, *automaton* adalah kumpulan sel dan aturan yang menentukan perubahan keadaan sel-sel dari satu generasi ke generasi berikutnya. Tetapi umumnya CA mengadopsi *grid* atau kisi persegi untuk merepresentasikannya dan ini sangat mirip dengan struktur data *raster* dalam SIG (Pambudi, 2023).

b. Keadaan sel (*State*)

Dalam *cellular automata*, "*state*" merujuk pada kondisi atau status individu dari setiap sel dalam jaringan sel. Setiap sel memiliki kemampuan untuk mengambil salah satu dari beberapa keadaan yang mungkin, tergantung pada aturan yang diterapkan dalam model *cellular automata* tersebut. Sebagai contoh, dalam *Game of Life*, setiap sel dapat berada dalam satu dari dua keadaan: hidup atau mati. Dengan demikian, dalam konteks *cellular automata*, "*state*" adalah representasi dari keadaan aktual dari setiap sel pada waktu tertentu selama evolusinya.

c. Aturan transisi (*Transition rules*)

Aturan transisi dalam *cellular automata* adalah serangkaian aturan yang mengatur bagaimana setiap sel akan berubah dari satu periode waktu ke periode waktu berikutnya. Aturan ini menentukan cara setiap sel merespons keadaan sekitarnya, berdasarkan aturan yang telah ditetapkan. Dalam *Game of Life*, contohnya, aturan transisi menentukan kapan sebuah sel akan hidup, mati, atau tetap dalam keadaan saat ini, tergantung pada jumlah tetangga yang hidup.

d. Lingkungan (*Neighborhood*)

Neighborhood dalam konsep *cellular automata* adalah sekelompok sel yang berdekatan dengan suatu sel tertentu. Ini menentukan sel-sel mana yang diperhitungkan saat menentukan perubahan keadaan sel tersebut pada langkah waktu berikutnya.

Metode *Cellular Automata-Markov Chain (CA-MC)* merupakan kombinasi metode antara automata seluler (CA) dan rantai *Markov* (MC) (Losiri dkk., 2016). *Cellular automata* adalah model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam SIG. Data terdiri dari susunan sel-

sel (*grid*), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan (Baharuddin, 2018).

Markov Chain (MC) suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa kini yang didasarkan pada sifat-sifatnya di masa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut dimasa yang akan datang. Model *Markov Chain* dikembangkan oleh seorang ahli Rusia A.A. Markov pada tahun 1896. Dalam analisis *markov* yang dihasilkan adalah suatu informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu pembuatan keputusan, jadi analisis ini bukan suatu teknik optimisasi melainkan suatu teknik deskriptif. Analisis *Markov* merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik yang lebih umum yang dikenal sebagai proses Stokastik (Melati dkk., 2022).

Jadi, metode CA-MC adalah gabungan antara metode *Cellular Automata* dan *Markov Chain* yang digunakan dalam SIG untuk memprediksi keadaan suatu objek atau fenomena berdasarkan sifat-sifatnya di masa lalu.

2.5 *Multilayer Perceptron Neural Network (MLP)*

Multilayer perceptrons (MLPs) juga disebut sebagai jaringan saraf maju multilapis, jaringan saraf buatan ini sangat populer dan digunakan lebih banyak daripada jenis jaringan saraf lainnya untuk memecahkan berbagai macam masalah. MLP didasarkan pada prosedur yang terbimbing, yaitu jaringan membangun model berdasarkan contoh dalam data dengan keluaran yang diketahui. MLP harus mengekstrak hubungan ini semata-mata dari contoh yang disajikan. MLP terdiri dari tiga lapisan (*input*, tersembunyi, dan *output*) dengan elemen komputasi nonlinear (juga disebut neuron dan unit pemrosesan). Informasi mengalir dari lapisan *input* ke lapisan *output* melalui lapisan tersembunyi (Park dkk., 2016).

Dalam pemodelan ekologi, variabel lingkungan umumnya diberikan ke lapisan *input* sebagai variabel independen untuk memprediksi variabel biologis, yang diberikan ke lapisan *output* sebagai nilai target yang sesuai dengan nilai *input*

yang diberikan. Selain itu, baik jumlah lapisan tersembunyi maupun *neuron* mereka bergantung pada kompleksitas model dan merupakan parameter penting dalam pengembangan model MLP. MLP digunakan dalam prediksi tutupan lahan karena kemampuannya untuk memahami pola-pola kompleks data dan memperkirakan nilai *output* data berdasarkan *inputnya*.

2.6 Matriks Peluang Transisi

Matriks probabilitas transisi adalah alat yang digunakan untuk menggambarkan probabilitas perubahan dari satu status ke status lain dalam suatu sistem yang mengalami perubahan secara berurutan, seperti dalam model Markov. Matriks ini digunakan dalam berbagai bidang seperti ekonomi, ekologi, dan pemodelan stokastik untuk menganalisis bagaimana probabilitas sistem berpindah dari satu keadaan ke keadaan lainnya seiring berjalannya waktu.

Secara matematis, matriks transisi dalam rantai Markov adalah matriks yang mengandung probabilitas transisi dari satu keadaan (state) ke keadaan lainnya dalam satu langkah waktu. Jika kita memiliki n keadaan, maka matriks transisi P akan menjadi matriks $n \times n$ di mana elemen P_{ij} mewakili probabilitas berpindah dari keadaan i ke keadaan j .

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix}$$

Secara matematis dituliskan :

$$P_{ij} \geq 0 \text{ dan } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \text{ pada setiap } i \dots\dots\dots (4)$$

Untuk menentukan probabilitas keadaan setelah beberapa langkah, kita mengalikan matriks transisi p dengan vektor peluang awal π .

Matriks probabilitas transisi P adalah matriks yang elemen-elemennya adalah probabilitas berpindah dari satu status (keadaan) ke status lainnya dalam satu langkah waktu. Dengan ketentuan sebagai berikut :

Baris: Mewakili status awal.

Kolom: Mewakili status akhir.

Elemen Matriks: Probabilitas berpindah dari status awal ke status akhir. Menurut Ross (2014), Matriks peluang transisi adalah alat yang secara lengkap menggambarkan kemungkinan perubahan dari satu status atau keadaan ke keadaan lain dalam sebuah proses stokastik. Sedangkan dalam proses yang bersifat acak atau probabilistik, artinya masa depan dari proses tersebut bergantung pada probabilitas tertentu, bukan kepastian. Contohnya, cuaca, harga saham, dan permainan dadu semuanya bisa dianggap sebagai proses stokastik.

2.7 Metode Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk melihat seberapa baik model yang dihasilkan sehingga ketelitian model yang dihasilkan dapat ditentukan dalam persentase. Uji akurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji akurasi Kappa dengan bantuan *crosstab* atau tabulasi silang antara data yang akan diuji dengan referensinya.

Indeks kappa atau nilai kappa adalah sebuah metode untuk menguji akurasi sebuah model matematis. Indeks kappa biasanya digunakan dalam analisis *inter-observer* atau *inter-rater reliability*, terutama dalam bidang statistik dan penelitian. Indeks kappa memberikan angka antara -1 hingga 1, yang mencerminkan tingkat kesepakatan yang dicapai. Terdapat tiga jenis akurasi yang dapat dihitung dengan metode ini, yaitu *producer's accuracy*, *user's accuracy*, dan *overall accuracy* (Muhammad dkk., 2016).

Secara matematis dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$User's\ accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} 100\% \dots\dots\dots (5)$$

$$producer's\ accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

X_{ii} : nilai diagonal dari matriks baris ke-i dan kolom ke-i

X_{+i} : jumlah piksel dalam kolom ke-i

X_{i+} : jumlah piksel dalam baris ke- i

N : banyaknya piksel dalam contoh

Sedangkan untuk kategori kesesuaian nilai akurasi kappa berkisar antara -1 sampai dengan 1. Angka mendekati 1 berarti akurasi cukup baik dan angka mendekati -1 berarti menunjukkan akurasi yang lebih rendah. Menurut penelitian oleh Viera dan Garrett (2005), terdapat 5 kategori kesesuaian akurasi kappa seperti pada tabel di bawah.

Tabel 3. Kategori nilai Kappa

Nilai Kappa (%)	Tingkat Kesesuaian
<0	<i>Less Than change agreement</i>
0,01 – 0,20	<i>Slight Agreement</i>
0,21 – 0,40	<i>Fair Agreement</i>
0,41 – 0,60	<i>Moderate agreement</i>
0,61 – 0,80	<i>Substantial Agreement</i>
0,81 – 0,99	<i>Almost Perfect Agreement</i>

Sumber : Viera dan Garrett (2005)

Congalton dan Green (2009) menyarankan bahwa nilai kappa diatas 0,6 telah menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik pada sebagian besar penggunaannya, tetapi dalam beberapa kasus, mungkin dibutuhkan nilai yang lebih tinggi dan mempertimbangkan konteks dan tujuan penggunaan model yang diuji akurasi.

2.8 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau *Geographic Information System (GIS)* adalah sebuah sistem yang dikembangkan untuk menyimpan, memproses, menganalisa dan memproses data geografis. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis (Wibowo dan Kanedi, 2021).

Elemen-elemen SIG menurut Chang (2006:3) diantaranya adalah:

1. *Hardware*, Elemen ini terdiri atas komputer, *printer*, *plotter*, dan GPS untuk pekerjaan di lapangan.
2. *Software*, baik yang berupa *software* berlisensi maupun *opensource*, berupa program yang dijalankan di komputer untuk manajemen, analisis, dan menampilkan data.
3. *People*, seorang yang bekerja atau profesional di bidang SIG untuk menentukan tujuan dilakukannya Analisa menggunakan SIG dan menginterpretasikannya
4. *Organization*, SIG ada pada lingkungan organisasi, karena SIG harus terintegrasi.

2.9 Prediksi Tutupan Lahan

Prediksi adalah suatu cara untuk mengolah data yang digunakan untuk memperkirakan sesuatu yang belum terjadi. Terdapat banyak sekali metode prediksi yang digunakan dalam berbagai bidang termasuk statistika, matematika, ilmu komputer, kecerdasan buatan, dan lain-lain.

Salah satunya adalah metode *neural network*. Prediksi tutupan lahan dilakukan dengan metode CA-MC berdasarkan data citra satelit yang telah dilakukan *pre-processing* dan melakukan iterasi pada komputer dengan bantuan MLP dan faktor pendorong. Hasil prediksi adalah perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan di masa mendatang.

2.10 Teknik *Sampling*

Sampel merupakan sebagian dari total jumlah dan sifat-sifat yang dimiliki oleh suatu populasi. Jika populasi tersebut besar dan tidak memungkinkan bagi peneliti untuk mempelajari seluruhnya karena kendala seperti keterbatasan dana, tenaga, dan waktu, maka peneliti dapat menggunakan sampel yang

mewakili populasi tersebut (Malik dan Chusni, 2018). Sedangkan Teknik *sampling* adalah suatu metode pengumpulan data apabila yang diteliti merupakan unsur *sampling* dari populasi. Data yang diperoleh dari hasil *sampling* merupakan data perkiraan (*estimated value*).

Dalam penelitian ini digunakan Teknik *probability sampling* tepatnya *stratified random sampling*. *Stratified random sampling* sendiri merupakan proses *sampling* dengan memperhatikan strata yang terdapat pada populasi. Sehingga sampel akan proporsional dalam setiap strata (Abdullah dan Sutanto, 2015). Tetapi tidak sampai disitu, sampel yang digunakan akan dikelompokkan berdasarkan proporsi luas tutupan lahan, sehingga teknik ini dinamakan *stratified random sampling by area based proportion*.

Untuk menentukan sampel dengan teknik *sampling* ini, pertama dilakukan dengan menghitung proporsi luas setiap kelas tutupan lahan dengan persamaan berikut :

$$P_i = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan ketentuan :

P_i : proporsi luas dari tutupan lahan i

A_i : Luas kelas tutupan lahan i

A_{total} : jumlah total luas semua tutupan lahan

Setelah itu menentukan ukuran sampel total yang ingin diambil, terakhir menghitung jumlah sampel pada setiap kelas tutupan lahan dengan persamaan berikut :

$$n_i = P_i \times n \dots\dots\dots(9)$$

Dengan ketentuan :

n_i : jumlah sampel pada kelas tutupan lahan i

P_i : proporsi luas dari tutupan lahan i

n : jumlah keseluruhan sampel

2.11 Model Spasial

Model spasial mengacu pada representasi dan analisis data yang berkaitan dengan lokasi geografis atau spasial. Ini melibatkan pemodelan dan analisis pola spasial, hubungan spasial antara entitas, dan proses geografis yang terjadi di dalam ruang. Menurut Longley et al. (2015), "*A spatial model is a simplified representation of spatial relationships and processes in the real world, which helps to understand and predict spatial patterns and dynamics*".

Model spasial dapat digunakan untuk memahami dan menganalisis fenomena geografis seperti distribusi populasi, perubahan penggunaan lahan, pola pergerakan, persebaran penyakit, atau pengaruh lingkungan terhadap kejadian tertentu.

Beberapa jenis model spasial yang umum digunakan meliputi:

1. Model *raster*: Data *raster* mewakili informasi spasial dalam bentuk grid atau piksel dengan nilai atribut yang terkait. Model raster biasanya digunakan untuk analisis kontinu seperti peta suhu, ketinggian lahan, atau tutupan lahan.
2. Model vektor: Data vektor merepresentasikan entitas geografis sebagai titik, garis, atau poligon. Model vektor sering digunakan untuk merepresentasikan objek seperti jalan, sungai, bangunan, atau batas administratif.
3. Model jaringan: Model jaringan digunakan untuk mewakili dan menganalisis struktur jaringan seperti jaringan jalan, jaringan pipa, atau jaringan transportasi. Model ini mencakup elemen seperti simpul (*node*) dan ruas (*edge*) yang terhubung oleh relasi jarak atau keterkaitan.
4. Model titik proses: Model ini digunakan untuk menganalisis pergerakan dan distribusi titik-titik tertentu dalam ruang. Contoh penggunaannya termasuk analisis penyebaran penyakit atau pergerakan migrasi hewan.

Dalam pengembangan model spasial, berbagai algoritma dan teknik statistik, seperti analisis spasial, interpolasi spasial, atau analisis kluster, dapat

digunakan untuk memahami pola spasial dan membuat prediksi atau keputusan berdasarkan data geografis yang tersedia.

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan penulis bukanlah penelitian yang baru dan satu-satunya tetapi justru berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pencarian mengenai penelitian-penelitian terdahulu ini dilakukan dengan tujuan memperoleh referensi dan juga akan dijadikan sebagai perbandingan terhadap penelitian yang dilakukan penulis. Pada dasarnya, penelitian ini memiliki kesamaan sekaligus perbedaan dengan penelitian terdahulu.

Kesamaan dari penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah pada data yang digunakan merupakan data citra satelit dan penggunaan metode *Cellular automata* untuk membuat pemodelan. Sedangkan perbedaannya terletak pada rentang waktu yang digunakan dalam penelitian, jumlah data, dan lokasi dimana penelitian dilakukan. Serta terdapat sedikit perbedaan pada faktor pendorong yang digunakan dalam penelitian ini. Meskipun secara umum, sebagian besar penelitian terdahulu tetap membahas perubahan tutupan lahan. Penelitian serupa telah banyak dilakukan baik oleh peneliti luar negeri seperti pada penelitian yang dilaksanakan di Beijing, China. Maupun di dalam negeri seperti penelitian-penelitian pada daerah aliran sungai yang dilakukan Nadhi Sugandhi, serta di Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat oleh Fadhli Akbar. Untuk lebih jelasnya, tabel di bawah ini memuat informasi beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan.

Tabel 4. Penelitian terdahulu

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Hasil
Huiran Han, Chengfeng Yang dan Jinping Song	2015	<i>Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China</i>	Beijing, China	Hasil penelitian ini adalah bahwa terjadi perubahan yang signifikan dalam penggunaan lahan di Beijing. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lahan pertanian beralih menjadi lahan perkotaan yang dibangun, yang akan menjadi ciri utama dari perubahan penggunaan lahan di masa depan. Pola ini cenderung lebih serius terjadi di daerah pegunungan, seperti distrik Mentougou, Shijingshan, Huairou, dan Kabupaten Yanqing.
Fadhli Akbar dan Supriatna	2019	<i>Land cover modelling of Pelabuhanratu City in 2032 using cellular automata-markov chain method</i>	Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat	Prediksi tutupan lahan tahun 2032 berhasil dilakukan dengan nilai kappa sebesar 0,9175. Lahan terbangun diprediksi meningkat sebanyak 52% .
Irland Fardani, Fhanji Alain Jauzi Mohmed, Ivan Chofyan	2020	Pemanfaatan Prediksi Tutupan Lahan Berbasis <i>Cellular Automata-Markov</i> dalam Evaluasi Rencana Tata Ruang	Kota Cirebon, Jawa Barat	berdasarkan penelitian hasil perhitungan evaluasi pola ruang RTRW kota Cirebon akan ada 78,1% wilayah yang diprediksi sesuai dengan RTRW dan 21,9% yang tidak sesuai dengan RTRW.

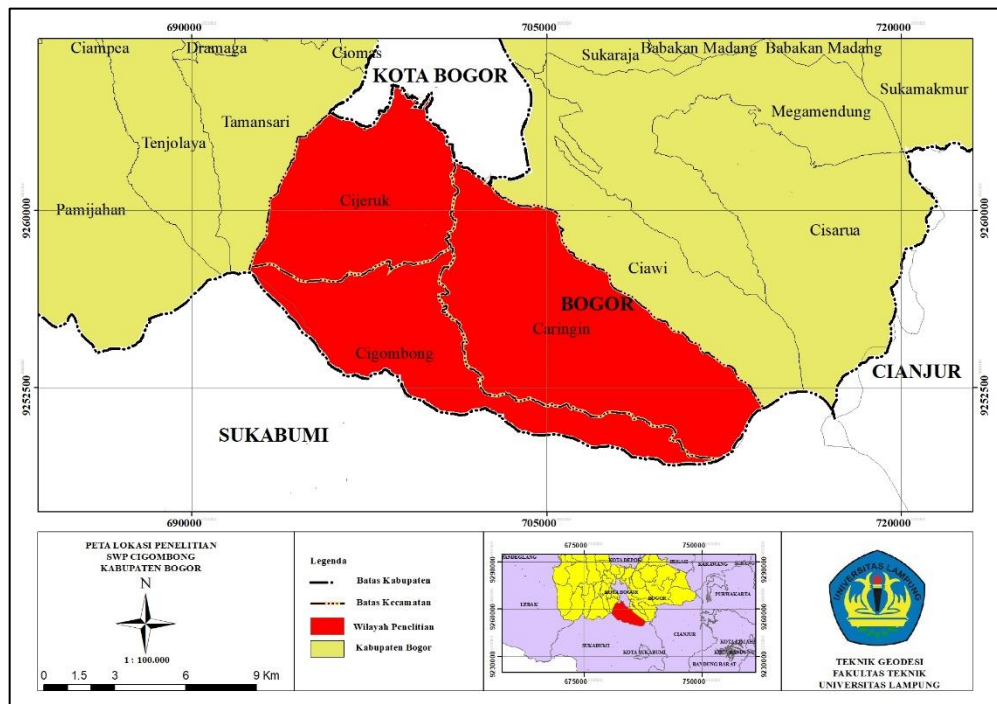
Tabel 4. Lanjutan

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Hasil
Nadhi Sugandhi, Supriatna, Eko Kusratmoko, Heinrich Rakuasa	2022	Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Sirimau, Kota Ambon Menggunakan <i>Celular Automata-Markov Chain</i>	Kecamatan Sirimau, Kota Ambon	selama tahun 2012 hingga 2022 tutupan lahan di kecamatan Sirimau mengalami peningkatan pada pemukiman dan lahan terbuka. Lahan pertanian dan tanaman campuran berkurang, badan air tetap. Model mendapat nilai kappa sebesar 0,8593 menunjukkan hasil uji akurasi yang diperoleh sangat baik digunakan untuk pembuatan model tutupan lahan tahun 2031.
Arya Pambudi	2023	Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode <i>Cellular Automata</i> Di Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang	Kecamatan Panimbang, Pandeglang, Banten	Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor pendorong yang sangat berpengaruh terhadap perubahan garis pantai adalah tinggi gelombang dan tutupan lahan. Model prediksi yang dihasilkan mendapat nilai kappa sebesar 0,99907712. dan diprediksi bahwa garis pantai akan mengalami abrasi dari tahun ke tahun hingga tahun 2030.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November 2023 sampai bulan Januari 2024 selama 2 bulan. Lokasi penelitian terletak di bagian selatan wilayah Kabupaten Bogor atau tepatnya di Kecamatan Cijeruk, Cigombong dan Caringin, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Dengan area cakupan penelitian sekitar 17.250 Ha mencakup 3 Kecamatan di wilayah administrasi Kabupaten Bogor. Wilayah ini dalam Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kabupaten Bogor termasuk kedalam sub wilayah pembangunan (SWP) Cigombong, sehingga selanjutnya wilayah penelitian akan disebut juga dengan istilah SWP Cigombong.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini :

3.2.1 Alat yang digunakan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diperlukan peralatan baik itu berupa perangkat keras dan perangkat lunak untuk melakukan setiap proses dalam penelitian. Berikut peralatan yang digunakan :

1. Perangkat keras
 - a. Satu unit laptop dengan spesifikasi *processor* AMD Ryzen 3 2200U 4 CPU 2,5 GHz , RAM 12 Gb, GPU Radeon Vega 3 dan penyimpanan sebesar 500Gb dengan sistem operasi windows 10 Pro 64bit untuk menjalankan perangkat lunak sistem informasi geografis dan perangkat lunak Microsoft office untuk penulisan laporan.
 - b. Satu unit GPS *handheld* jenis Garmin 64s, untuk keperluan *groundchecking*.
2. Perangkat lunak
 - a. Perangkat lunak *Quantum GIS version 3.16 Hannover* atau QGIS untuk keperluan koreksi citra, klasifikasi dan pembuatan *layout* peta hingga uji akurasi hasil klasifikasi.
 - b. Perangkat lunak SIG yang digunakan untuk membuat model *cellular automata*.
 - c. Perangkat lunak *Microsoft office* berkaitan dengan penyusunan laporan penelitian

3.2.2 Bahan yang digunakan

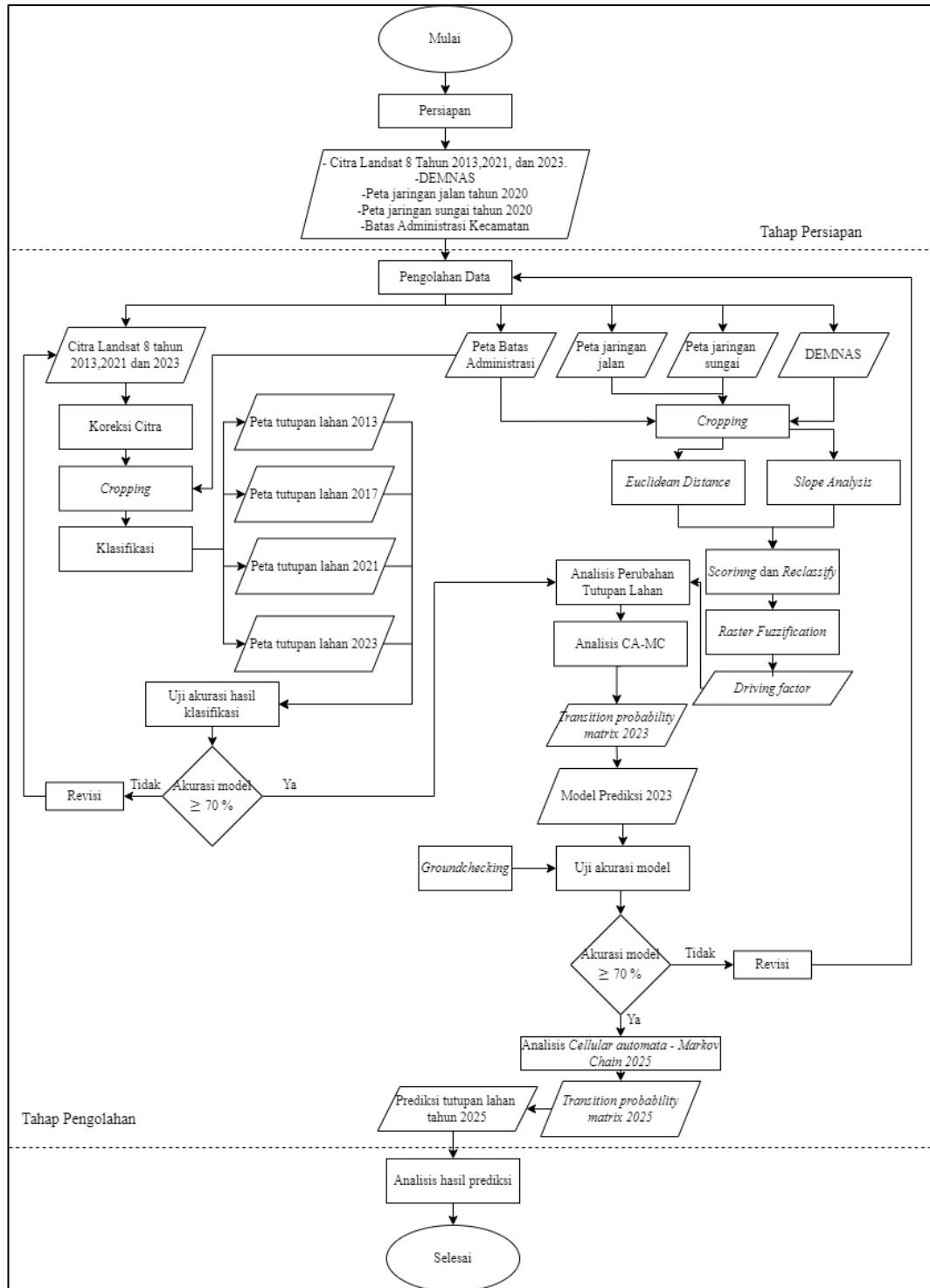
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta berformat *Shapefile* batas administrasi kecamatan Kabupaten Bogor tahun 2020 yang diunduh dari laman resmi milik Badan Informasi Geospasial (BIG) <https://tanahair.indonesia.go.id/unduh-rbi/>.
2. Citra Landsat 8 L1TP tahun 2013, 2017, 2021, dan 2023 yang diunduh dari laman resmi badan survey milik Amerika Serikat (USGS) yaitu di <https://glovis.usgs.gov/app>
3. Data DEMNAS yang diunduh dari laman Badan Informasi Geospasial (BIG) di <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/> untuk kemudian diolah menjadi data ketinggian dan kelerengan.
4. Data citra google earth *historical imagery* tahun 2013,2017,2021, dan 2023 diperoleh dari Google earth Pro.
5. Peta berformat *Shapefile* jaringan jalan dan jaringan sungai Kabupaten Bogor tahun 2020 yang diunduh dari laman <https://tanahair.indonesia.go.id/unduh-rbi/>
6. Data tabulasi hasil *groundchecking* sampel tutupan lahan tahun 2023.

3.3 Metode penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam mengolah data hingga dihasilkan model prediksi dan analisis prediksinya. Tahapan-tahapan tersebut akan dijelaskan dalam suatu diagram alir.

Diagram alir penelitian merupakan sebuah gambar yang menjelaskan tahapan atau proses yang akan dilalui dan dilakukan oleh penulis dalam sebuah penelitian. Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.

3.4 Persiapan

Tahapan paling awal pada penelitian ini merupakan tahap persiapan, pada tahap persiapan terbagi kedalam dua bagian yaitu persiapan data dan dokumen pendukung penelitian dan persiapan alat dan bahan yang digunakan selama penelitian.

Pada tahapan ini dilakukan untuk merumuskan permasalahan. Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi. Dan permasalahan mengenai terus berubahnya tutupan lahan secara signifikan. Selanjutnya dalam tahapan ini dilakukan studi literatur. Tahapan ini adalah tahapan dilakukannya pencarian data, dokumen, maupun publikasi sebagai referensi dan teori pendukung penelitian ini. Studi literatur diambil dari jurnal, buku, dan sumber lainnya yang dianggap kredibel dan masih relevan.

3.5 Pengumpulan Data

Tahapan ini merupakan tahap pengumpulan data, data yang dipakai ada dua macam yaitu data primer dan data sekunder. Pada data primer berupa data tutupan lahan hasil *groundchecking* tutupan lahan di wilayah penelitian pada tahun 2023 yang dikumpulkan dengan metode survey lapangan. Menggunakan GPS *handheld* sebagai pendekatan koordinatnya serta mengambil foto sebagai bukti *existing* tutupan lahan di area tersebut. Untuk kemudian data tersebut menjadi referensi pada saat dilakukan uji akurasi menggunakan metode kappa dan tabulasi silang.

Selanjutnya data sekunder didapat dari publikasi data milik BIG seperti peta RBI, jaringan jalan, sungai dan DEMNAS diperoleh dari geoportal BIG. Dimana data tersebut akan diolah menjadi data *driving factor* dalam pembuatan model prediksi dan citra Landsat 8 L1TP tahun 2013, 2017, 2021, dan 2023 diperoleh dari USGS.

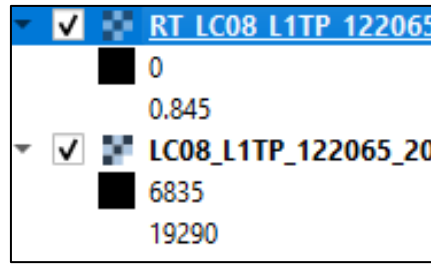
3.6 Pengolahan Data

Data yang sebelumnya dikumpulkan akan diolah menjadi peta tutupan lahan, peta ketinggian wilayah, peta kemiringan lereng atau kelerengan, peta *driving factor* jarak dari jalan, jarak dari sungai yang telah dilakukan proses fuzifikasi. model prediksi tahun 2023 dan model prediksi tahun 2025. Berikut tahapan pengolahan data akan dijelaskan secara lebih rinci.

3.6.1 Proses Koreksi Citra

Pada tahapan ini, citra satelit yang telah diunduh akan dilakukan proses koreksi. Citra satelit masih memiliki kesalahan, atau *error* yang mempengaruhi nilai spektral yang ada dalam *pixel* pada citra satelit tersebut. Oleh karena itu koreksi citra perlu dilakukan, dan proses ini termasuk kedalam tahap *preprocessing* citra satelit. Untuk melakukan koreksi atmosferik citra digunakan *tools* yang ada pada *plugin* SCP (*Semi Automatic-Classification Plugin*) pada *software* QGIS.

Proses koreksi yang dilakukan pada penelitian ini hanya pada koreksi atmosferik untuk memperbaiki nilai spektral citra. Data citra yang digunakan adalah citra satelit Landsat 8 L1TP sehingga tidak dibutuhkan lagi koreksi geometrik karena produk L1TP adalah produk dengan ketelitian geometrik yang paling baik. Gambar dibawah adalah perbedaan antara citra Landsat yang telah diperbaiki secara atmosferik dengan kode RT dengan yang belum diperbaiki (bawah). Terdapat perbedaan nilai spektral pada band 3 citra dimana sebelum diperbaiki rentang nilainya adalah 6835-19290, setelah diperbaiki menjadi rentang nilai reflektannya menjadi 0-0,845.



Gambar 5. Citra Landsat 8 terkoreksi.

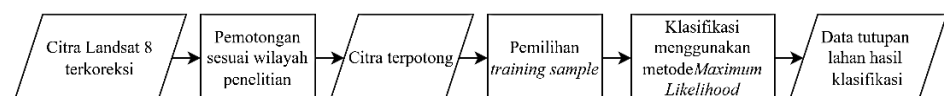
3.6.2 Pemotongan Citra

Proses selanjutnya adalah *clipping* atau memotong citra satelit menjadi bagian yang lebih kecil dari satu *scene* citra satelit. Tujuannya adalah agar mempermudah proses analisis dan mengurangi ukuran file sehingga proses pengolahan lebih optimal.

Proses pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan menu *clip raster by mask layer* dengan citra satelit yang sudah terkoreksi sebagai data masukannya, dan *masking layer* batas wilayah SWP Cigombong sebagai batas wilayah lokasi penelitian. Sehingga akan dihasilkan citra satelit yang hanya memuat wilayah penelitian saja.

3.6.3 Klasifikasi Citra

Proses klasifikasi tutupan lahan menggunakan data citra landsat 8 tahun 2013, 2021, dan 2023. Data ini nantinya akan digunakan sebagai data *input* untuk membuat model prediksi tutupan lahan tahun 2025. Tahapan klasifikasi ini seperti terlihat pada gambar di bawah

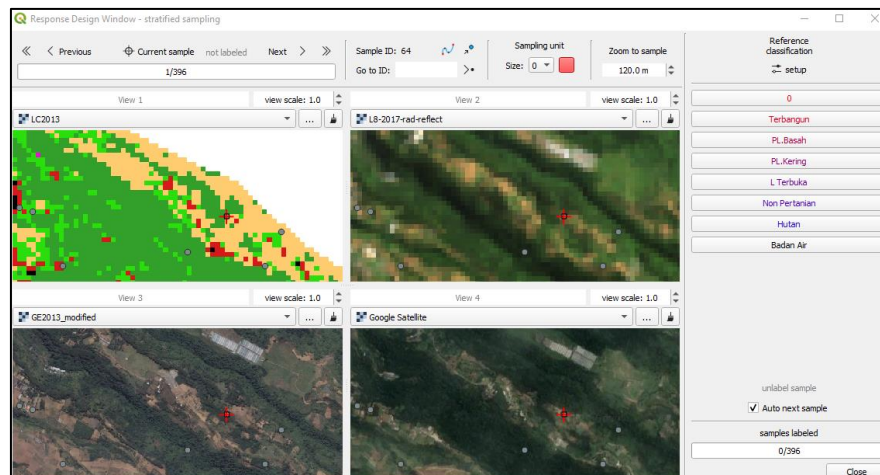


Gambar 6. Alur klasifikasi citra.

Setelah dilakukan pemotongan, tahap selanjutnya adalah mengklasifikasikan citra satelit landsat 8. Tahap ini dimulai dengan melakukan pemilihan *training sample*, yang akan terbagi menjadi 7 kelas tutupan lahan. Ketujuh kelas tutupan lahan tersebut adalah hutan lahan kering, tanaman campuran, ladang, sawah, lahan terbuka, lahan terbangun dan badan air. Pada setiap kelas tutupan lahan, akan diambil dua puluh hingga tiga puluh sampel dengan luas bervariasi. Setelah selesai dilakukan pemilihan *training sample*, selanjutnya klasifikasi terbimbing atau *supervised classification* dilakukan dengan algoritma *maximum likelihood*.

3.6.4 Uji Akurasi Hasil Klasifikasi

Uji akurasi hasil klasifikasi citra dilakukan dengan bantuan perangkat lunak QGIS, dan *plugin* AcATaMa (*Accuracy Assesment of Thematic Map*). AcATaMa adalah sebuah *plugin* pada *software* QGIS yang dikembangkan untuk secara khusus melakukan uji akurasi pada peta tutupan lahan termasuk peta-peta yang hasil klasifikasi terbimbing maupun klasifikasi tidak terbimbing. Sebanyak 396 sampel dihasilkan pada masing-masing peta hasil klasifikasi. Menggunakan metode *stratified random sampling* berdasarkan luas area. Sehingga sampel tersebut sudah memenuhi syarat minimum untuk merepresentasikan suatu populasi.



Gambar 7. Tampilan *plugin* AcATaMa di QGIS.

3.6.5 Pembuatan Peta *Driving Factor*

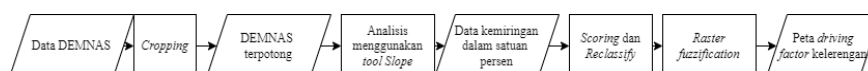
Pembuatan peta *driving factor* merupakan tahapan pembuatan peta yang menjadi faktor pendorong utama terhadap perubahan tutupan lahan. Keempat faktor tersebut adalah

a. Pembuatan Peta ketinggian lahan

Membuat peta ketinggian lahan dilakukan dengan mengolah data DEMNAS yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial. Tahapan ini dimulai dengan menggabungkan data DEMNAS nomor 1209-14,1209-12, dan 1209-13. Setelah digabungkan dengan *tools merge*, selanjutnya data DEMNAS dipotong menggunakan menu *clip raster by mask layer* dengan batas wilayah penelitian sebagai *masking layer*-nya.

b. Pembuatan peta kemiringan lereng

Peta kemiringan atau lereng diperoleh dari data DEMNAS sebelumnya, tetapi dilakukan analisis lebih lanjut. Proses pembuatan peta kemiringan ini seperti pada gambar berikut

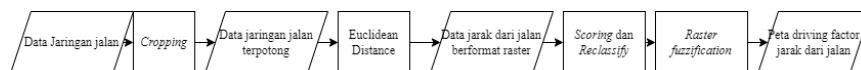


Gambar 8. Alur pembuatan peta kemiringan lereng.

Dalam gambar terlihat bahwa tahapan yang dilakukan pertama kali adalah *merging* dan *clipping* sesuai wilayah penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *tool slope* yang menghitung perbedaan ketinggian titik berdasarkan nilai piksel yang ada untuk dihasilkan gambaran kemiringan lereng dalam satuan persen.

c. Pembuatan Peta Jarak dari Jalan

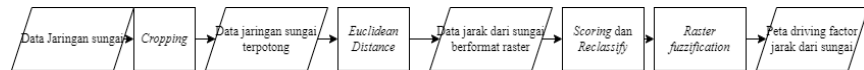
Pembuatan peta jarak dari jalan menggunakan data awal jaringan jalan tahun 2020 skala 1:25.000 di wilayah penelitian dengan format *shapefile*. Setelah itu dilakukan pengolahan dengan *tools Euclidean distance* untuk menentukan jarak dari jalan kedalam beberapa kelas jarak dan membuat *buffer area* dari jaringan jalan. Setelah itu dilakukan *scoring* dan *reclassify* untuk membagi area dengan jarak tertentu ke dalam kelas jarak.



Gambar 9. Alur pembuatan peta jarak dari jalan.

d. Pembuatan Peta Jarak dari Sungai

Pembuatan peta jarak dari sungai tidak jauh berbeda dengan peta jalan sebelumnya. Pengolahan menggunakan data awal jaringan sungai tahun 2020 skala 1:25.000 di wilayah penelitian dengan format *shapefile*. Setelah itu dilakukan pengolahan dengan *tools Euclidean distance* untuk menentukan jarak dari sungai dan membuat *buffer area* dari jaringan sungai. Setelah itu dilakukan *scoring* dan *reclassify* untuk membagi area dengan jarak tertentu ke dalam kelas jarak.



Gambar 10. Alur pembuatan peta jarak dari sungai.

e. Penerapan Metode Fuzzy

Logika fuzzy diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 sebagai cara untuk menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan yang tidak dapat diatasi oleh logika biner klasik. Dalam logika klasik, suatu pernyataan hanya dapat benar (1) atau salah (0). Namun, dalam logika fuzzy, suatu pernyataan dapat memiliki nilai kebenaran yang kontinu antara 0 dan 1, yang merepresentasikan derajat keanggotaan.

Metode fuzzy pada *driving factor* dilakukan untuk menyederhanakan nilai yang ada dan mengubahnya menjadi bilangan biner yaitu antara 0 sampai 1. Penerapan logika fuzzy dilakukan dengan bantuan perangkat lunak QGIS dengan *tool fuzzify raster (linear membership)*.

Dalam pembuatan peta *driving factor*, sebelum melakukan fuzzifikasi masing-masing data *driving factor* dibagi kedalam 5 kelas terlebih dahulu. Untuk mempermudah proses selanjutnya.

Tabel 5. Tabel *scoring* pada faktor pendorong

No	Driving Factor	Klasifikasi	Bobot
1	Ketinggian Lahan	300-600 mdpl	5
		601-850 mdpl	4
		851-1100 mdpl	3
		1.101-1.600 mdpl	2
		>1.600 mdpl	1
2	Lereng	0-10 %	5
		10-20 %	4
		20-30 %	3
		30-40%	2
		>40%	1
3	Jarak dari Jalan	0-50 m	5
		51-100 m	4
		101-500 m	3
		501-1.000 m	2
		>1.000 m	1
4	Jarak dari Sungai	0-30 m	1
		31-50 m	2
		51-100 m	3
		101-250 m	4
		>250 m	5

Keterangan : Modifikasi pembobotan dari penelitian oleh (Rakuasa dkk., 2022), Lisanyoto, dkk. (2019), dan Supriatna dkk. (2020).

3.7 Analisis CA-MC

Pada proses ini, data masukan berupa data tutupan lahan hasil klasifikasi tahun 2013 sebagai tahun awal dan tutupan lahan tahun 2017 sebagai data tahun akhir dalam format *raster*. Data dengan rentang waktu tersebut akan di analisis perubahannya. Selain itu terdapat data pendukung berupa data *driving factor* untuk analisis *cellular automata-markov chain* yaitu data ketinggian lahan, lereng, jarak dari jalan dan jarak dari sungai yang telah dilakukan *scoring* dan *reclassify* sebelumnya. Setelah analisis perubahan tutupan lahan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah pembuatan sub model transisi.

Sub-model transisi atau *transition sub-model* adalah bagian dari suatu model atau sistem yang digunakan untuk memodelkan perubahan dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Sub-model ini bertanggung jawab untuk menggambarkan bagaimana suatu entitas atau sistem berubah dari satu kondisi ke kondisi lainnya seiring waktu. Pembuatan sub model transisi menggunakan metode *Multilayer Perceptron Neural Network* (MLP) dengan pengaturan 10.000 iterasi dan hidden layer 3. MLP digunakan untuk menghitung seberapa jauh faktor pendorong mempengaruhi perubahan tutupan lahan di wilayah penelitian.

Setelah sub model transisi dibuat, maka akan dihasilkan matriks probabilitas transisi atau *transition probability matrix* (TPM). Langkah terakhir dari tahapan ini adalah pembuatan model prediksi tutupan tahun 2023. Model prediksi ini dibuat dengan metode *Markov Chain* berdasarkan sub model transisi yang telah dibuat dan didasarkan pada matriks probabilitas transisi.

3.8 Uji Akurasi Model

Model yang telah dihasilkan masih memiliki tingkat kesalahan yang belum terukur. Oleh karena itu, setelah model dihasilkan akan dilakukan uji akurasi yang bertujuan untuk menguji tingkat ketelitian model dalam memprediksi perubahan tutupan lahan di masa mendatang.

Model prediksi yang akan diuji adalah model prediksi tutupan lahan tahun 2023 hasil analisis tutupan lahan tahun 2013 sampai tahun 2021. Pengujian dilakukan dengan metode uji akurasi kappa dengan nilai 0,70 sebagai batas minimum akurasi model dan dengan bantuan *crosstab* atau tabulasi silang. Data referensi yang digunakan pada uji akurasi ini adalah data tutupan lahan tahun 2023 hasil klasifikasi. Congalton dan Green (2009) menyarankan bahwa nilai kappa diatas 0,6 telah menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik, tetapi dalam beberapa kasus mungkin dibutuhkan nilai yang lebih tinggi dan mempertimbangkan konteks dan tujuan penggunaan model yang diuji akurasi. Sehingga, dalam penelitian ini Jika model sudah mendapat nilai kappa

keseluruhan $\geq 70\%$ atau 0,70 maka dapat dilakukan tahapan selanjutnya yaitu prediksi tutupan lahan pada tahun 2025.

3.9 *Groundchecking*

Tahapan ini sebenarnya masih termasuk dalam tahapan uji akurasi, tetapi data hasil survey lapangan yang dilakukan dengan *groundchecking* ini hanya sebagai data pendukung untuk uji akurasi utama. Tahapan ini dilakukan dengan menentukan sampel yang dipilih melalui teknik *stratified random sampling* sehingga akan dihasilkan 164 titik sampel untuk diamati. Pada titik sampel ini akan dilakukan survey lapangan dan dokumentasi untuk membuktikan kelas tutupan lahan yang ada pada titik tersebut.

Setelah semua titik sampel selesai diidentifikasi, selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai uji akurasi kappa dengan bantuan *crostab* atau tabulasi silang dengan data model prediksi tahun 2023. Sehingga model prediksi tutupan lahan tahun 2023 sudah dua kali mengalami uji akurasi. Tahapan uji akurasi yang pertama dengan menghitung piksel pada setiap kelas dengan bantuan *crostab*, dan yang kedua dengan titik sampel yang sudah diidentifikasi melalui *groundchecking*.

3.10 Pembuatan Model Prediksi Tahun 2025

Model prediksi tahun 2023 yang sudah diuji akurasi akan menjadi dasar untuk melakukan prediksi pada tahun 2025. Pembuatan model prediksi ini dilakukan menggunakan metode *Markov Chain*. Prosedur *markov chain* menentukan jumlah perubahan dengan menggunakan data tutupan lahan awal dan akhir bersama dengan tahun yang ditentukan. Dalam metode ini, digunakan dua data penutup lahan yang diambil pada dua tahun yang berbeda, bersama dengan tahun yang akan diprediksi. Metode tersebut kemudian menggunakan matriks probabilitas transisi atau *transition probability matrix* untuk memproyeksikan

perubahan penutupan lahan dari waktu kedua ke waktu prediksi berdasarkan potensi transisi di masa depan.

Dengan menggunakan matriks probabilitas transisi, metode *markov chain* dapat menghitung secara probabilistik seberapa banyak lahan yang diperkirakan akan berubah dari satu kelas tutupan lahan ke tutupan lahan lainnya dalam rentang waktu tertentu. Metode ini memungkinkan pemodelan perubahan secara lebih terperinci. Dengan demikian, matriks probabilitas transisi adalah elemen kunci dalam proses prediksi menggunakan metode *markov chain* dalam konteks pemodelan perubahan penutupan lahan.

3.11 Penyajian Hasil

Hasil penelitian ini akan disajikan dalam bentuk peta dan tabel data tutupan lahan pada tahun 2013, 2021 dan 2023, maupun prediksinya di tahun 2025. Pada hasil berupa peta, akan dilakukan *layouting* dan disajikan dalam bentuk gambar, atau pdf untuk dicetak maupun ditampilkan secara digital.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab sebelumnya, hasil penelitian dapat disimpulkan dalam beberapa poin berikut:

1. Kondisi tutupan lahan di wilayah penelitian (SWP Cigombong) pada tahun 2013 didominasi oleh hutan dengan luas 7.246,98 ha atau 42,01% dari luas wilayah penelitian. Selanjutnya tanaman campuran menjadi tutupan lahan terbanyak setelah hutan dengan luas 5.791,05 ha atau 33,57% dari luas wilayah penelitian. Ladang seluas 2.466 ha atau 14,3%, lahan terbangun 1.092,78 ha atau 6,34%, sawah 563,58 ha atau 3,27%, lahan terbuka 75,69 ha atau 0,44% dan yang paling sedikit adalah badan air dengan luas 12,51 ha atau 0,07%. Selama 8 tahun, lahan terbangun telah meningkat secara eksponensial, perkiraannya setiap 4 tahun akan meningkat sebanyak 100 ha. Diikuti ladang dan juga lahan terbuka, tetapi tanaman campuran menyusut secara signifikan akibat perkembangan area terbangun. Sedangkan badan air dan hutan cenderung tetap, meski mengalami penurunan tidak signifikan.
2. Berdasarkan hasil analisis *cellular automata* dengan bantuan MLP keempat faktor pendorong memiliki pengaruh yang berbeda pada setiap kelas tutupan lahan. Tetapi secara keseluruhan faktor-faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan tutupan lahan di SWP Cigombong. Model yang digunakan untuk prediksi pada tahun 2025 adalah model dengan rentang waktu delapan tahun yaitu tahun 2013, 2017 dan tahun 2021. Model ini tergolong sebagai model dengan kategori *Almost*

Perfect Agreement dengan nilai kappa sebesar 0,861161 pada pengujian pertama dan 0,89 pada pengujian kedua dengan survey lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dihasilkan sudah cukup baik dan panjang rentang waktu pada data input yang digunakan maka model sudah cukup baik. Berdasarkan hasil prediksi tutupan lahan pada tahun 2025, lahan terbangun, lahan terbuka dan ladang diprediksi akan terus meningkat. Sedangkan pada tanaman campuran, sawah dan hutan diperkirakan akan cenderung berkurang. Sedangkan badan air akan tetap.

3. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan tutupan lahan yang cukup signifikan terjadi di wilayah penelitian. Perubahan tersebut terjadi pada hampir setiap kelas tutupan lahan. Khususnya pada lahan terbangun dan ladang yang terus meningkat. Mengakibatkan berkurangnya tutupan lahan daerah non pertanian dan hutan. Wilayah yang paling banyak mengalami perubahan adalah Kecamatan Caringin di bagian tengah wilayah penelitian, melebar kearah timur dan barat hingga Kecamatan Cijeruk dan Cigombong bagian utara.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perubahan tutupan lahan sangat berpengaruh pada banyak hal khususnya dalam bidang kehidupan, terutama pada bidang ekonomi dan kelestarian lingkungan sekitar yang juga mempengaruhi kehidupan masyarakat. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut dan mendalam mengenai perubahan tutupan lahan.
2. Pada penelitian mendatang, dapat menggabungkan beberapa metode analisis, melakukan perbandingan, maupun penggunaan data yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi serta rentang waktu data yang lebih panjang untuk menghasilkan pemodelan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S., & Sutanto, T. E. 2015. *Statistika Tanpa Stress* (I. Faradillah (ed.)). Transmedia.33
- Arifin, A. I. N. 2015. Analisis Faktor Keamanan (Safety Factor) Stabilitas Lereng Menggunakan Geo-Slope W 2012. *Program Studi Teknik Sipil. Fakultas Teknik Universitas Majalengka, 2012.*
https://www.academia.edu/download/49375958/0_TA_Full.pdf
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Kabupaten Bogor Dalam Angka 2023*. 5(1), 1689–1699.
<https://revistas.ufrj.br/index.php/rce/article/download/1659/1508%0Ahttp://hpatiapress.com/hpjournals/index.php/qre/article/view/1348%5Cn>
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *SNI 7645:2010 Klasifikasi penutup lahan*. 1–28.
- Burguillo, J. C. 2004. Cellular Automata. *Encyclopedia of Mathematical Physics: Five-Volume Set, January 2018*, 455–467. <https://doi.org/10.1016/B0-12-512666-2/00281-9>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. 2002. *Introduction to remote sensing*. Guilford press.
- Chang, K.-T. 2006. *Introduction to Geographic Information Systems*.
- Congalton, R. 2016. *Evaluación de la exactitud de los principios y prácticas de los datos de detección remota*. 01, 1–23.
- Dione, F. 2018. Kesesuaian Penataan Ruang Dan Potensi Investasi Di Kabupaten Bogor. *Jurnal Manajemen Pembangunan*, 4(1), 1–19.
<https://ejournal.ipdn.ac.id/JMPB/article/view/199>
- Fajarini, R., Barus, B., & Panuju, D. R. (2015). Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan Dan Prediksinya Untuk Tahun 2025 Serta Keterkaitannya Dengan Perencanaan Tata Ruang 2005-2025 Di Kabupaten Bogor. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 17(1), 8. <https://doi.org/10.29244/jitl.17.1.8-15>
- Koko Mukti Wibowo, Indra Kanedi, J. J. 2021. *Sistem Informasi Geografis (Sig)*

- Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara Di Provinsi Bengkulu Berbasis Website. *Jurnal Media Infotama*, 11(1), 223–260.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. 2015. Remote Sensing and Image Interpretation. In *John Wiley & Sons*.
- Losiri, C., Nagai, M., Ninsawat, S., & Shrestha, R. P. 2016. Modeling urban expansion in Bangkok Metropolitan region using demographic-economic data through cellular Automata-Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain models. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/su8070686>
- Lukiawan, R., Hari, E., & Ayundyahrini, M. 2019. *MANFAAT BAGI PENGGUNA Standards of Geometric Correction of Satellite Images Medium Resolution and*. 45–54.
- Malik, A., & Chusni, M. M. 2018. *Pengantar Statistika Pendidikan* (1st ed.). DEEPUBLISH.
- Marini, Y., Hawariyah, S., Hartuti, M., Pemanfaatan, P., & Jauh, P. 2014. Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh Seminar Nasional Penginderaan Jauh. *Deteksi Parameter Geobiofisik Dan Diseminasi Penginderaan Jauh*, 505–516.
- Muhammad, A. M., Rombang, J. A., & F. B. Saroinsong. 2016. Identifikasi Jenis Tutupan Lahandi Kawasan Kphp Poigardengan Metode Maximum Likelihood. *Cocos*, 7(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.35791/cocos.v7i2.11451>
- Nilda, Adnyana, I. W. S., & Merit, I. N. (2015). *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya Terhadap Hasil Air di DAS Cisadane Hulu*. 9(1), 1–45.
- Nurul, M., Prasiarnatri, N., Elvira, W. V., Safitri, W., & Prabowo, R. 2021. Kondisi Tutupan Lahan di Kabupaten Tangerang Berdasarkan Indeks Vegetasi. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i1.39>
- Park, Y., Lek, S., & Sabatier, P. 2016. Artificial Neural Networks : Multilayer Perceptron for Ecological Modeling. *BS:DEMO*, 28, 123–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63623-2.00007-4>
- Rakuasa, H., Salakory, M., & Mehdil, M. C. 2022. Prediksi perubahan tutupan lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon menggunakan Cellular Automata Markov Chain Prediction of land cover change in the Wae Batu Merah watershed, Ambon City using Cellular Automata Markov Chain. *Jplb*, 6(2), 59–75. <http://www.bkpsl.org/ojswp/index.php/jplbJPLB6>

- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., ... Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Setiawan, G., Syaufina, L., & Puspaningsih, N. 2015. Estimation of Carbon Stock Loss from Land Use Changes in Bogor Regency. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), 141. <https://doi.org/10.19081/jpsl.5.2.141>
- Somae, G., Supriatna, S., Rakuasa, H., & Lubis, A. R. 2023. PEMODELAN SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN PREDIKSI TUTUPAN LAHAN KECAMATAN TELUK AMBON BAGUALA. *Jurnal Sains Informasi Geografi [JSIG]*, 1(November), 40–43.
- Sutanto, P. D. 1986. "Penginderaan Jauh Jilid 1,2". Gadjahmada University Press. 8(2).
- Trimarwanti, T. K. E. 2014. Evaluasi Perubahan Penggunaan Lahan Kecamatan di Daerah Aliran Sungai Cisadane Kabupaten Bogor. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 10(1), 43. <https://doi.org/10.14710/pwk.v10i1.7632>
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. 2005. *Understanding Interobserver Agreement : The Kappa Statistic*. May, 360–363.
- Yusuf, D. 2017. *Penginderaan Jauh*. Universitas Negeri Gorontalo.