

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE
CELLULAR AUTOMATA DI KECAMATAN PANIMBANG KABUPATEN
PANDEGLANG**

(Skripsi)

Oleh

**ARYA PAMBUDI
NPM 1815013011**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE *CELLULAR AUTOMATA* DI KECAMATAN PANIMBANG KABUPATEN PANDEGLANG

Oleh

ARYA PAMBUDI

Perubahan garis pantai merupakan fenomena yang terjadi secara alami dan dapat memiliki dampak signifikan pada lingkungan dan masyarakat di daerah pesisir. Perubahan garis pantai yang terjadi di sebagian besar wilayah Panimbang merupakan hasil dari interaksi antara berbagai faktor, baik alam maupun manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya, memilih model garis pantai terbaik yang digunakan untuk memprediksi garis pantai pada tahun 2030, serta menganalisis luas perubahan garis pantai.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Cellular Automata* (CA) dengan menggunakan citra Landsat tahun 2012, 2016, 2017, dan 2019, serta data tinggi gelombang signifikan, kemiringan lereng, tutupan lahan dan jenis tanah yang nantinya akan dijadikan data input dan faktor pendorong analisis CA. Menggunakan tiga skenario pemodelan dengan tahun akhir yang berbeda model 1 menggunakan data input tahun awal 2012 dan tahun akhir 2016, model 2 menggunakan data input dengan tahun awal 2012 dan tahun akhir 2017, dan model 3 menggunakan data input tahun awal 2012 dan tahun akhir 2019

Hasil penelitian menunjukkan faktor yang paling berpengaruh terhadap abrasi adalah tinggi gelombang dan faktor yang paling berpengaruh terhadap akresi adalah tutupan lahan. Model 3 merupakan model terbaik yang akan digunakan untuk memprediksi garis pantai pada tahun 2030 dengan nilai akurasi sebesar 87,137%. Perubahan garis pantai pada tahun 2022 hingga tahun 2030 dalam waktu 8 tahun, garis pantai tahun 2022 yang semula memiliki panjang sebesar 36794,15 meter menjadi 35586,98 meter pada tahun 2030 ke depan mengalami abrasi sebesar -17,350 meter dengan luas perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dan akresi sebesar 429612 m² dan 35651 m².

Kata kunci: Perubahan Garis Pantai, Penginderaan Jauh, *Cellular Automata*

ABSTRACT

ANALYSIS OF COASTLINE CHANGES USING CELLULAR AUTOMATA METHOD IN PANIMBANG DISTRICT, PANDEGLANG REGENCY

By

ARYA PAMBUDI

Shoreline change is a naturally occurring phenomenon that can have significant impacts on the environment and communities in coastal areas. Shoreline change that occurs in most areas of Panimbang is the result of interactions between various factors, both natural and human. This study aims to analyze the factors that influence it, select the best shoreline model used to predict the shoreline in 2030, and analyze the extent of shoreline change. The method used in this research is the Cellular Automata (CA) method using Landsat images in 2012, 2016, 2017 and 2019, as well as data on significant wave height, slope, land cover and soil type which will be used as input data and driving factors for CA analysis. Using three modeling scenarios with different end years, model 1 uses input data for the initial year 2012 and the final year 2016, model 2 uses input data with the initial year 2012 and the final year 2017, and model 3 uses input data for the initial year 2012 and the final year 2019. The results showed that the most influential factor on abrasion is wave height and the most influential factor on accretion is land cover. Model 3 is the best model that will be used to predict the coastline in 2030 with an accuracy value of 87.137% The change in coastline from 2022 to 2030 within 8 years, the coastline in 2022 which originally had a length of 36794.15 meters to 35586.98 meters in 2030 in the future experienced abrasion of -17.350 meters with an area of shoreline changes caused by abrasion and accretion of 429612 m² and 35651 m².

Keywords: Shoreline Change, Remote Sensing, Cellular Automata

**ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE
CELLULAR AUTOMATA DI KECAMATAN PANIMBANG KABUPATEN
PANDEGLANG**

Oleh

ARYA PAMBUDI

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
2023**

Judul Skripsi

**: ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI
MENGUNAKAN METODE *CELLULAR*
AUTOMATA DI KECAMATAN PANIMBANG
KABUPATEN PANDEGLANG**

Nama Mahasiswa

: Arya Pambudi

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815013011

Program Studi

: Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

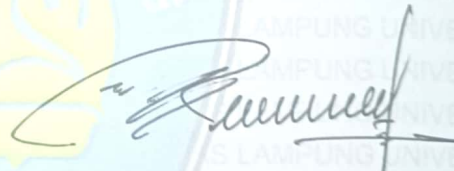
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

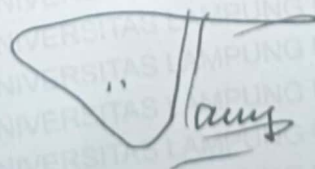


Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.
NIP 19670514 199303 1 002



Romi Fadly, S.T., M.Eng.
NIP 197708242008121001

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



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

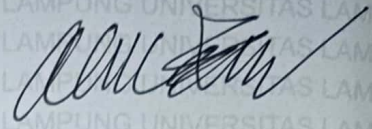
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

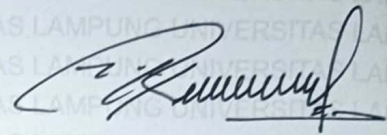
Ketua

: Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.



Sekretaris

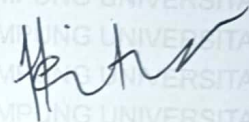
: Romi Fadly, S.T., M.Eng.



Penguji

Bukan Pembimbing

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



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Oktober 2023

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arya Pambudi
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815013011
Program Studi : Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak berisi tentang karya yang telah dipublikasikan atau ditulis kecuali sebagai kutipan atau acuan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah pada umumnya. Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan saya bersedia menanggung segala akibat yang ada, apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Arya Pambudi

NPM 1815013011

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir pada tanggal 27 Januari 2000 di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Ngatiman dan Ibu Suryanah. Pendidikan yang telah ditempuh yaitu Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 01 Sindangmulya dan lulus tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 03 Rangkasbitung dan lulus pada tahun 2014. Lalu menempuh Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 01 Rangkasbitung yang diselesaikan pada tahun 2017.

Pada tahun 2018 penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung tepatnya pada Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik melalui jalur seleksi bersama atau SBMPTN. Penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) yang menjabat sebagai anggota Akademik dan Riset pada tahun 2018 - 2020. Penulis juga aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Fossi Fakultas Teknik yang menjabat sebagai anggota Akademik dan Riset pada tahun 2018 - 2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktik pada bidang Sistem Informasi Geospasial di PT. Efort Digital Multisolution yang berada di Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat pada tahun 2021. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bandar Negeri, Labuhan Maringgai, Lampung Timur pada tahun 2022. Pada masa akhir studi sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung penulis membuat skripsi yang berjudul **“Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Cellular Automata Di Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang”** dengan bimbingan Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., dan Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng., yang dilaksanakan pada tahun 2023 sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji Syukur di panjatkan kepada Allah SWT dengan rahmat dan karunia-Nya, maha besar Allah yang telah memberikan kesehatan, kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini. Ku ucapkan Syukur hanya kepada Allah SWT sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Ku persembahkan karya ini untuk:

“Kedua Orang Tuaku tercinta (Ngatiman dan Suryanah) yang selalu memberikan do’a, dukungan dan pelajaran tentang perjuangan maupun kerja keras hingga saat ini, dan Kakakku (Zeta Prasetuya) yang memberikan semangat serta dukungan kepada saya”

“Seluruh keluargaku yang telah memberikan arahan, motivasi, do’a serta dukungannya yang tiada henti kepada saya”

“Bapak Ibu Dosen Pembimbing, Penguji serta pengajar yang telah ikhlas membimbing, memberikan ilmu serta arahan kepada saya”

Terimakasih untuk do’a, arahan dan dukungan yang sudah diberikan kepada saya semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang diberikan kepada penulis.

MOTTO

“Don't be afraid to dream, because dreams are a place to plant seeds of hope and map ideals.” (Eiichiro Oda)

“Hidup ini adalah petualangan. semua orang memiliki petualangannya masing-masing, maka jadilah seorang petualang yang melakukan hal terbaik.” (Tere Liye)

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah:286)*

SANWACANA

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT. Segala puji hanya bagi Allah atas berkat, rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Cellular Automata Di Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang”**. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan 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, M.T., I.P.M., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung serta dosen pembimbing akademik yang telah membimbing penulis, memberi banyak masukan dan nasihat kepada penulis.
3. Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberi masukan, nasihat, motivasi dan telah banyak meluangkan waktu, tenaga, serta pikirannya sehingga penelitian pada skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
4. Romi Fadly, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah memberi banyak masukan, bimbingan, serta nasihat sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan baik.
5. Citra Dewi, S.T., M.Eng., yang berkenan menjadi dosen penguji dan memberikan banyak nasihat, kritik dan saran kepada penulis untuk skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan banyak sekali ilmu pengetahuan dan pengalaman baru kepada penulis.

7. Staf dan karyawan Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Mba Irma, Pak Narto, Mas Sajiran, yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
8. Keluarga besarku yang telah memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis.
9. Keluarga besar Teknik Geodesi dan Geomatika angkatan 2018 yang telah menemani, membantu dan menjadi teman seperjuangan penulis dalam meraih gelar sarjana. Terimakasih telah menjadi keluarga bagi penulis yang memberikan banyak cerita dan pengalaman indah yang akan selalu dikenang selamanya oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Semoga nantinya skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembacanya.

Bandar Lampung, Agustus 2023

Penulis,

Arya Pambudi

NPM 1815013011

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	3
1.2.1 Maksud.....	3
1.2.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Wilayah Pesisir	5
2.2 Pantai	5
2.3 Perubahan Garis Pantai	6
2.4 Faktor Pendorong	7
2.4.1 Tutupan Lahan	7
2.4.2 Jenis Tanah.....	8
2.4.3 Tinggi Gelombang	8
2.4.4 Kemiringan Lereng	9
2.5 Penginderaan Jauh	10
2.6 Sistem Informasi Geografis.....	10
2.7 Citra Satelit Landsat	11
2.7.1 Landsat 7	11
2.7.2 Landsat 8	12
2.8 Metode Pengolahan Citra Satelit	13
2.8.1 Koreksi Radiometrik	13
2.8.2 Klasifikasi Citra	14
2.9 Logika Fuzzy	15
2.10 Model dan Pemodelan	15
2.10.1 Model <i>Cellular Automata</i>	16
2.11 <i>Multilayer Perceptron Neural Network</i>	18
2.12 Uji Akurasi Model.....	19
2.13 Peneliti Terdahulu	19
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi Penelitian	22
3.2 Alat yang Digunakan	23

3.3	Bahan yang Digunakan	23
3.4	Tahap Persiapan	26
3.5	Tahap Pengumpulan Data.....	26
3.6	Tahap Pengolahan Data.....	26
3.6.1	Proses Pemisahan Daratan dan Perairan	27
3.6.2	Proses Klasifikasi Tutupan Lahan.....	28
3.6.3	Proses Interpolasi Tinggi Gelombang	30
3.6.4	Proses Pembuatan Kemiringan Lereng	31
3.6.5	Proses Klasifikasi Jenis Tanah	32
3.7	Penerapan Metode <i>Fuzzy</i>	33
3.8	Analisis Pengaruh Faktor Pendorong Perubahan Garis Pantai dan Pemodelan	33
3.9	Uji Akurasi Model.....	34
3.10	Pembuatan Model Prediksi.....	34
3.11	Pembuatan Laju Perubahan Garis Pantai Prediksi	34
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Peta Batas Daratan dan Perairan	35
4.2	Peta Tutupan Lahan	38
4.3	Peta Jenis Tanah	40
4.4	Peta Kemiringan Lereng.....	41
4.5	Peta Gelombang	43
4.6	Analisis Pengaruh Faktor Pendorong Perubahan Garis Pantai dan Pemodelan	45
4.7	Pengujian Model.....	53
4.8	Peta Prediksi Garis Pantai dan Laju Perubahan	53
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN.....	66
	Lampiran I Peta Batas Daratan Dan Laut.....	67
	Lampiran II Peta Faktor Pendorong	68
	Lampiran III Peta Perbandingan Model	69
	Lampiran IV Peta Perubahan Garis Pantai	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kelas kepekaan tutupan lahan terhadap erosi	7
2. Kelas kepekaan jenis tanah terhadap erosi.....	8
3. Kelas tinggi gelombang.....	9
4. Kelas kemiringan lereng	9
5. <i>Band</i> citra Landsat 7.....	12
6. <i>Band</i> Citra Landsat 8.....	13
7. Penelitian terdahulu.....	20
8. Kelas <i>Training area</i>	39
9. Stasiun pengamatan dan tinggi gelombang.....	43
10. Faktor pendorong jika nilai konstan pada daratan menjadi perairan	46
11. Faktor pendorong jika nilai konstan pada perairan menjadi daratan	47
12. Hasil uji akurasi model.....	53
13. Laju perubahan garis pantai	54
14. Luas perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi.....	57
15. Luas perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh akresi.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	4
2. Model Cellular Automata.....	16
3. Lokasi penelitian	22
4. Diagram alir	25
5. Diagram proses pemisahan daratan dan perairan.....	27
6. Diagram proses klasifikasi tutupan lahan	28
7. Diagram alir peta tinggi gelombang.....	30
8. Diagram alir peta kemiringan lereng.....	31
9. Peta klasifikasi tahun 2012.....	36
10. Peta klasifikasi tahun 2016.....	36
11. Peta klasifikasi tahun 2017.....	37
12. Peta klasifikasi tahun 2019.....	37
13. Peta sampel training area	38
14. Peta tutupan lahan	40
15. Peta jenis tanah.....	41
16. Peta kemiringan lereng.....	42
17. Peta sebaran stasiun pengamatan tinggi gelombang	44
18. Peta tinggi gelombang.....	45
19. Model 1 garis pantai.....	48
20. Model 1 garis pantai serta data survei lapangan	48
21. Model 2 garis pantai.....	49
22. Model 2 garis pantai serta data survei lapangan	50
23. Model 3 garis pantai.....	50
24. Model 3 garis pantai serta data survei lapangan	51
25. Perbandingan garis pantai model dan eksisting	52

26. Peta garis pantai tahun 2022 dan 2030.....	54
27. Prediksi laju perubahan garis pantai rata-rata	56
28. Peta perubahan garis pantai akibat abrasi dan akresi	57

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki wilayah serta panjang garis pantai 99.093 km² (BIG, 2017). Kawasan pesisir pantai merupakan kawasan yang memiliki sifat yang sangat dinamis dengan berbagai ekosistem kehidupan didalamnya. Sifatnya yang dinamis membuat perubahan garis pantai terjadi seiring waktu. Perubahan pesisir pantai dipengaruhi oleh pasang surut air laut, erosi pantai, serta faktor lain seperti angin, arus, gelombang, jenis serta material pantai yang berpengaruh terhadap proses sedimentasi, gerakan air, morfologi pantai, dan juga adanya perbedaan nilai laju penurunan muka tanah antara satu tempat dengan tempat lainnya (Setyawan, 2021).

Abrasi merupakan pengikisan atau pengurangan daratan (pantai) akibat aktivitas gelombang, arus dan pasang surut (Damaywanti, 2013). Jika jumlah sedimen yang terangkut ke suatu titik lebih besar daripada jumlah yang terangkut keluar dari titik tersebut, maka pantai tersebut dikatakan mengalami abrasi (Damaywanti, 2013). Proses perpindahan sedimen dari daratan atau sungai ke laut melalui proses akresi dikenal sebagai akresi pantai. Pembukaan lahan, limpasan air tawar yang substansial dari curah hujan yang berkepanjangan, dan proses transportasi sedimen dari sungai ke laut dapat mempengaruhi proses sedimentasi di darat.

Kecamatan Panimbang, yang terletak di Kabupaten Pandeglang, memiliki garis pantai yang panjang dan memiliki empat desa yang berhadapan langsung dengan Selat Sunda. Wilayah pantai ini juga mencakup sebagian dari Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor

5 Tahun 1983 ZEE merupakan Kawasan yang diberikan hak eksklusif untuk memanfaatkan dan mengelola sumber daya alam yang ada di dalamnya.

Fenomena abrasi dan akresi yang terjadi di Kecamatan Panimbang telah menyebabkan perubahan morfologi pantai dan merusak lingkungan pesisir. Erosi pantai dapat merusak lahan pertanian, pemukiman, serta objek wisata pantai yang merupakan aset penting bagi ekonomi lokal. Perubahan garis pantai di Kecamatan Panimbang juga berdampak pada sektor sosial-ekonomi masyarakat setempat, terutama yang bergantung pada aktivitas perikanan dan pariwisata. Penurunan produktivitas perikanan akibat erosi pantai dan penurunan daya tarik wisata akibat hilangnya pantai yang indah dapat mengancam mata pencaharian dan pendapatan masyarakat. Selain itu, perubahan garis pantai juga dapat berkontribusi pada risiko bencana alam seperti banjir rob dan intrusi air laut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Damar Wicaksono dkk., 2020) di Kecamatan Panimbang mengalami penurunan laju perubahan garis pantai sebesar 12,5 meter per tahun, angka tersebut menunjukkan adanya proses abrasi yang signifikan di Kecamatan Panimbang. Proses abrasi yang terjadi dapat berdampak negatif pada ekosistem pesisir, infrastruktur pantai, serta aktivitas manusia di wilayah tersebut.

Masalah ini perlu dianalisis dan dievaluasi. Oleh karena itu, diperlukannya prediksi mengenai perubahan garis pantai agar dapat mengambil keputusan terkait upaya mitigasi bencana dan pengembangan pengelolaan kawasan pesisir khususnya di Kecamatan Panimbang. Dengan dinamika perubahan garis pantai yang cepat dan terus, untuk memahami pola dan arah perubahan garis pantai di Kecamatan Panimbang digunakan metode *Cellular Automata*, metode ini memungkinkan untuk memodelkan dan menganalisis pola dinamika perubahan garis pantai yang kompleks. Diharapkan hasil evaluasi ini dapat digunakan sebagai bahan penunjang dalam menyusun perencanaan pembangunan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan kehidupan masyarakat di wilayah pesisir.

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Maksud dilakukannya penelitian ini adalah melakukan analisis secara spasial perubahan garis pantai di Kecamatan Panimbang untuk perencanaan pembangunan yang lebih baik.

1.2.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menganalisis faktor perubahan garis pantai di Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang.
2. Memilih model terbaik yang akan digunakan untuk memprediksi garis pantai pada tahun 2030.
3. Menganalisis perubahan garis pantai dan arah perubahan pada tahun 2030.

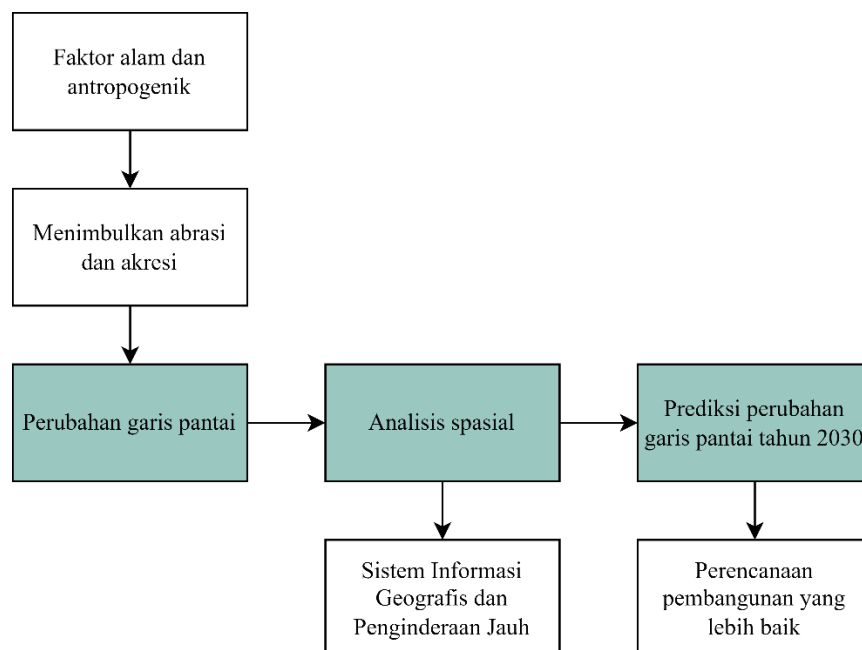
1.3 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai masukan dan acuan bagi pemerintah atau pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan terkait upaya pengembangan pengelolaan kawasan pesisir khususnya di Kecamatan Panimbang Kabupaten Pandeglang.

1.4 Kerangka Pemikiran

Abrasi dan akresi terjadi dikarenakan oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam merupakan faktor yang tidak dapat dihindari, faktor penyebabnya adalah pasang surut air laut, angin, dan gelombang laut yang dapat mengikis ataupun terjadinya penumpukan sedimen yang menyebabkan akresi. Angin merupakan salah satu faktor pembentuk gelombang yang mempengaruhi dinamika pantai, Gelombang yang merambat dari laut ke darat bergesekan dengan dasar laut di kedalaman tertentu, sehingga membawa sedimen bersamanya. Hal ini

mempengaruhi pola sebaran sedimen di sepanjang pantai. Faktor pasang surut juga dapat menyebabkan perubahan garis pantai, pasang surut adalah fluktuasi permukaan air laut yang disebabkan oleh benda-benda langit, terutama matahari dan bulan yang mempengaruhi massa air laut bumi. Faktor antropogenik menjadi penyebab terjadinya abrasi dan akresi di sekitar area pesisir aktivitas manusia menjadi penyebab kerusakan, kegiatan yang merusak yaitu mengeksploitasi daerah pantai berupa pengambilan material pasir pantai. Dengan teknologi sistem informasi geografis dan penginderaan jauh perubahan, analisis spasial yang digunakan yaitu analisis model *Cellular Automata* dan *Markov Chain*, kemudian diperoleh peta perubahan garis pantai serta luasan yang berubah, analisis tersebut dapat digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai pada tahun 2030 untuk menentukan strategi yang diambil sebagai pertimbangan dalam mengarahkan kebijakan terkait pengembangan dan perencanaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wilayah Pesisir

Menurut Rais (dalam Mukhtar, 2018) Pesisir adalah suatu daerah pertemuan antara daratan dan lautan, yang batas daratannya meliputi bagian negara, baik yang kering maupun yang terendam, yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut, seperti rembesan air (intrusi), yang dicirikan oleh vegetasinya yang lebat, sedangkan batas lepas pantai zona pantai meliputi bagian terluar atau batas landas kontinen yang sifat-sifat perairannya terus dipengaruhi oleh proses alam yang berbasis daratan seperti sedimentasi dan aliran air tawar, serta proses induksi di darat, seperti penggundulan hutan dan polusi.

2.2 Pantai

Garis pantai merupakan peralihan antara daratan dan lautan. Idealnya, itu didefinisikan sebagai antarmuka fisik antara tanah dan air. garis pantai dinyatakan sebagai perpotongan daratan pantai dan permukaan air yang menunjukkan pergerakan tepi air saat pasang dan surut. Pantai bersifat fleksibel tergantung dari tinggi muka air laut, besar gelombang, pasang surut dan arus dekat pantai (Fadly et al., 2023; Toure et al., 2019; Xu, 2018).

Garis pantai mempunyai sifat yang fluktuatif sehingga dapat berubah dari waktu ke waktu. Pembentukan garis pantai merupakan hasil dari proses hidrodinamik dan morfodinamik yang terjadi selama beberapa periode (Hapke et al., 2016). Dengan mengetahui perubahan tersebut dapat digunakan untuk membuat model memprediksi pada tahun yang akan datang sehingga perencanaan pembangunan lebih terarah.

2.3 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai merupakan kawasan yang selalu mengalami perubahan. Perubahan garis pantai dapat terjadi secara perlahan atau cepat, tergantung dari faktor yang mempengaruhinya. Perubahan pantai ditunjukkan oleh perubahan kedudukannya, tidak hanya ditentukan oleh satu faktor, tetapi juga oleh sejumlah faktor dan cara mereka berinteraksi satu sama lain, yang merupakan hasil dari kombinasi proses manusia dan alam. Faktor perubahan tersebut dipengaruhi oleh proses hidrooseanografi laut seperti hempasan ombak, pergeseran pola arus, dan variasi pasang surut, serta perubahan iklim (Fadly et al., 2023; Mukhtar, 2018).

Dari pengertian di atas faktor utama yang mempengaruhi terjadinya perubahan garis pantai adalah:

2.3.1 Faktor Hidro-Oseanografi

Faktor Hidro-Oseanografi yaitu ketika proses geomorfologi yang berlangsung di setiap bagian pantai melebihi proses normal, maka terjadi perubahan pada garis pantai. Faktor geomorfologi yang dimaksud yaitu faktor angin, gelombang, dan pasang surut (Irawan et al., 2018). Dengan seiring waktu faktor tersebut menimbulkan perubahan pada garis pantai seperti terjadinya abrasi dan akresi.

2.3.2 Faktor Antropogenik

Proses geomorfologi yang merupakan hasil aktivitas manusia dikenal sebagai proses antropogenik. Lingkungan di sepanjang pantai dapat menjadi tidak stabil akibat aktivitas manusia. Ada dua jenis gangguan di lingkungan pesisir: disengaja dan tidak disengaja. Pantai dan lingkungan di sepanjang pantai dilindungi oleh gangguan yang disengaja, seperti pembuatan tahi lalat, groin, pemecah gelombang, atau perbaikan pantai. Perusakan hutan mangrove untuk pembangunan tambak merupakan salah satu contoh kegiatan manusia yang tidak disengaja yang

berdampak buruk terhadap pesisir dan lingkungan di sepanjang pesisir. (Mukhtar 2018).

2.4 Faktor Pendorong

Faktor pendorong (driving factor) adalah kondisi atau keadaan yang mempengaruhi atau mendukung suatu perubahan atau peristiwa tertentu. Faktor pendorong dapat berupa faktor internal atau eksternal yang mempengaruhi suatu sistem. Dalam hal ini faktor pendorong yang mempengaruhi perubahan area pantai adalah tutupan lahan, jenis tanah, tinggi gelombang, dan kemiringan lereng.

2.4.1 Tutupan Lahan

Tutupan lahan adalah permukaan fisik bumi. Penggunaan lahan merupakan penyebab utama perubahan lingkungan global (Juniyanti *et al.*, 2020). Tutupan lahan mempunyai pengaruh terhadap perubahan area pantai, tutupan lahan yang mempunyai pengaruh paling besar terhadap perubahan area pantai adalah tutupan lahan yang tidak ada vegetasi atau sedikit vegetasi dalam hal ini area pantai yang tidak mempunyai penghalang gelombang seperti pohon mangrove akan cepat mengalami abrasi, dengan tidak adanya tutupan lahan pada area pantai tanah akan lebih rentan terhadap abrasi. Faktor yang dapat merusak tutupan lahan adalah pembukaan lahan dan penambangan pada area pantai. Kelas kepekaan tutupan lahan terhadap erosi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kelas kepekaan tutupan lahan terhadap erosi (sumber: Damar Wicaksono dkk., 2020)

Kelas kepekaan terhadap erosi	Jenis tutupan Lahan
Sangat peka	Lahan kosong
Sedang	Lahan terbangun/pemukiman
Rendah	Lahan pertanian
Tidak peka	Hutan

2.4.2 Jenis Tanah

Definisi tanah adalah kumpulan dari benda alam di permukaan bumi yang tersusun dalam horizon-horizon, terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air, udara, dan merupakan media untuk tumbuhnya tanaman (Arifin *et al.*, 2019). Jenis tanah memiliki kaitan yang erat terhadap tutupan lahan oleh karena itu faktor jenis tanah dijadikan faktor pendukung perubahan area pantai.

Klasifikasi tanah adalah cara mengumpulkan dan mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat dan ciri-ciri tanah, kemudian diberi nama agar mudah diingat dan dibedakan antara tanah yang satu dengan lainnya. Setiap jenis tanah memiliki sifat dan ciri yang spesifik, potensi dan kendala untuk penggunaan tertentu. Jenis tanah yang sering mengalami abrasi adalah jenis tanah aluvial, dikarenakan tanah aluvial memiliki sifat fisik yang kecil dan halus sehingga mudah terbawa gelombang maka jenis tanah aluvial mempunyai pengaruh paling besar terhadap perubahan area pantai. Kelas kepekaan jenis tanah terhadap erosi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kelas kepekaan jenis tanah terhadap erosi (sumber: Khosiah dan Ariani, 2017; Yazalia *et al.*, 2020)

Kelas kepekaan terhadap erosi	Jenis Tanah
Sangat peka	Aluvial
Sedang	Podsolik
Rendah	Latosol

2.4.3 Tinggi Gelombang

Seperti pada uraian faktor perubahan garis pantai gelombang merupakan salah satu faktor hidro-oseanografi yang dapat merubah area pantai. Gelombang yang tinggi dapat menghasilkan energi yang cukup besar sehingga dapat mengikis permukaan pantai dan mengakibatkan abrasi. Menurut WMO tinggi gelombang dapat dilihat pada tabel rendah berkisar antara 0,5 – 1,25 m, pada perairan sedang tinggi

gelombang berkisar antara 1,25 – 2,5 m, sedangkan tinggi gelombang tinggi berkisar antara 2,5 – 4 m

Tabel 3. Kelas tinggi gelombang (sumber: BMKG, 2019).

Kelas	Tinggi gelombang (m)
Rendah	0,5 – 1,25
Sedang	1,25 – 2,5
Tinggi	2,5 – 4

2.4.4 Kemiringan Lereng

Lereng merupakan parameter topografi, dimana lereng memiliki pengaruh yang besar terhadap pengolahan atau penggunaan suatu lahan (Lesmana et al., 2021). Kemiringan lereng yang mempunyai pengaruh yang sangat tinggi pada abrasi adalah kelas datar dan landai dikarenakan pada kelas tersebut gelombang laut yang datang ke pantai akan merambat ke arah pantai, dan ketika sampai di pantai, gelombang tersebut akan menghantam pantai dengan kekuatan yang cukup besar. Ketika gelombang menghantam pantai, maka terjadi pergerakan material pasir dan batuan di sepanjang garis pantai. Material-material tersebut akan tergerus, terkikis, dan terbawa oleh air laut yang kembali surut. Proses inilah yang menyebabkan abrasi pantai.

Tabel 4. Kelas kemiringan lereng (sumber: Lesmana dkk., 2021)

Kelas	Kemiringan (%)
Datar	0 – 8
Landai	8 – 15
Agak curam	15 – 25
Curam	25 – 45
Sangat Curam	>45

2.5 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh secara umum didefinisikan sebagai teknologi pengukuran karakteristik suatu objek atau permukaan dari suatu jarak tertentu (Ma et al., 2015). Tujuan penginderaan jauh adalah untuk mengekstraksi data dan informasi dari foto dan non foto berbagai objek di lapangan, yang diambil atau difoto dengan alat pengamatan buatan (sensor). Sebelum mempelajari dan menginterpretasikan foto dan nonfoto dalam bidang apapun, dasar-dasar interpretasi penginderaan jauh harus dikuasai (Yusuf dan Rijal, 2019).

Sumber energi alam dan sumber energi buatan dalam sistem penginderaan jauh sangat penting bagi keberadaannya yang jauh. Energi tersebut mengenai suatu benda di permukaan bumi, yang kemudian dipantulkan kembali ke sensor, atau dapat berupa energi yang dipancarkan dari benda ke sensor. Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain waktu (jam, musim), lokasi dan kondisi cuaca. Jumlah energi yang dikonsumsi pada siang hari berbeda dengan jumlah energi yang dikonsumsi pada malam dan pagi hari. Posisi matahari dalam kaitannya dengan suatu tempat di permukaan bumi berubah seiring dengan pergantian musim. Selain itu, jumlah energi yang diterima juga dipengaruhi oleh letaknya di permukaan bumi (Yusuf dan Rijal 2019).

2.6 Sistem Informasi Geografis

Geographic Information System (GIS) atau Sistem Informasi Geografis (SIG) didefinisikan sebagai sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, mengambil, memproses, menganalisis, dan menghasilkan informasi georeferensi atau data spasial. Pada dasarnya sistem informasi geografis adalah sekumpulan kegiatan yang bertujuan untuk memperoleh gambaran keadaan di permukaan bumi atau informasi tentang permukaan bumi yang diperlukan untuk menjawab atau memecahkan suatu masalah di permukaan bumi. dipertanyakan rangkaian kegiatannya meliputi pengumpulan, pengorganisasian, pengolahan, penganalisaan dan penyajian data yang ada atau ada di permukaan tanah tertentu.

Dalam aplikasinya SIG bertujuan untuk melihat potensi bidang pariwisata, potensi bencana dan pengolaannya (Yang et al., 2015).

SIG menggambarkan objek di permukaan bumi, khususnya sebagai data spasial yang berkaitan dengan koordinat geografis (misalnya bujur dan lintang), data non-spasial, atau data atribut yang tidak terkait dengan lokasi geografis (misalnya warna dan tekstur). dan hubungan antara data lokasi dan data atribut dan waktu akuisisi. SIG dapat menggabungkan data geospasial dan menyajikan data atribut yang terhubung secara geografis atau bereferensi ke bumi (beberapa penulis sering menyebut data tersebut data geospasial). Selain itu, SIG juga dapat menggabungkan data, mengorganisir data, dan melakukan analisis data yang pada akhirnya menghasilkan hasil yang dapat digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan terkait masalah geografis.

2.7 Citra Satelit Landsat

Landsat (Satelit Bumi) adalah hasil dari program satelit Sumber Daya Bumi yang dikembangkan oleh NASA (*The National Aeronautics and Space Administration*) Amerika Serikat dan diluncurkan pertama kali pada tahun 1972 sebagai ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), yang kemudian berganti nama menjadi Landsat 1. Sistem Landsat dimiliki oleh Amerika Serikat yang memiliki tiga imager yaitu RBV (*Return Beam Vidicon*), MSS (*Multispectral Scanner*) dan TM (*Thematic Mapper*). Keunggulan dari satelit ini adalah jumlah kanal yang digunakan, hingga 7 kanal (*band*), dan penggunaan 3 kanal panjang gelombang tampak, 3 kanal panjang gelombang inframerah dekat dan 1 kanal panjang gelombang inframerah termal (Pujilestari 2017).

2.7.1 Landsat 7

Citra satelit Landsat 7 ETM+ terdiri dari 8 band (kanal). Pita 1 menggunakan spektrum ultraviolet, pita 3 menggunakan spektrum biru, pita 4 menggunakan spektrum hijau, pita 5 menggunakan spektrum merah, pita 5, 7 menggunakan

spektrum inframerah dekat dan jauh, pita 6 menggunakan spektrum termal, dan pita 8 menggunakan spektrum tampak itu. Citra Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) memiliki beberapa resolusi spasial, resolusi spasial kanal 1,2,3,4,5,7 adalah 30 meter, kanal 6 adalah 60 meter dan kanal 8 adalah 15 meter. Setiap scene pada citra satelit Landsat memiliki coverage area 170 x 183,15 kilometer (106 x 115 mil). Berbagai keunggulan termasuk pita pankromatik dengan resolusi spasial 15 m, saluran inframerah termal dengan resolusi spasial 60 m, dan penyesuaian radiometrik 5%. (Hardianto, 2019).

Tabel 5. *Band* citra Landsat 7 (Sumber: USGS 2022)

<i>Band</i>	Panjang Gelombang (μm)	Spektrum	Resolusi
1	0.45 – 0.52	Biru	30
2	0.52 – 0.61	Hijau	30
3	0.63 – 0.69	Merah	30
4	0.78 – 0.90	Infra merah dekat	30
5	1.55 – 1.75	Infra merah dekat	30
6	10.40 – 12.50	Infra merah termal	60
7	2.08 – 2.38	Infra merah tengah	30
8	9.52 – 0.90	Pankromatik	15

2.7.2 Landsat 8

Landsat 8 merupakan kelanjutan dari misi Landsat yang merupakan satelit pengamatan bumi pertama sejak tahun 1972 (Landsat 1). Satelit Landsat 8 memiliki sensor *onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dengan 11 kanal. Dari saluran tersebut, 9 saluran (kanal 1-9) ada di OLI dan 2 saluran lainnya (kanal 10 dan 11) ada di TIRS. Sebagian besar saluran memiliki spesifikasi yang mirip dengan Landsat 7, yang tercermin dalam karakteristik mirip Landsat 7 dalam hal resolusi (spasial, temporal, spektral), metode koreksi, ketinggian penerbangan, dan karakteristik sensor. Ada beberapa tambahan yang menjadi pusat perhatian untuk Landsat 7, seperti jumlah band, rentang spektral gelombang elektromagnetik terendah yang dapat dideteksi sensor, dan nilai bit dari setiap piksel gambar. (Pujilestari, 2017).

Tabel 6. *Band* Citra Landsat 8 (Sumber: USGS 2022)

<i>Band</i>	Panjang Gelombang (μm)	Spektrum	Resolusi (m)
1	0.43 – 0.45	Coastal Aerosol	30
2	0.45 – 0.51	Biru	30
3	0.53 – 0.59	Hijau	30
4	0.64 – 0.67	Merah	30
5	0.85– 0.88	Infra merah dekat	30
6	1.55 – 1.65	SWIR 1	30
7	2.11 – 2.29	SWIR 2	30
8	0.50 – 0.68	Pankromatik	15
9	1.36 – 1,38	Cirrus	30
10	10.6 – 11.19	TIRS 1	100
11	11.5 – 12.51	TIRS 2	100

2.8 Metode Pengolahan Citra Satelit

Dalam mengolah data citra, terdapat kesalahan - kesalahan sehingga perlu dilakukan koreksi. Ada dua jenis koreksi dalam pengolahan citra satelit, yaitu koreksi geometrik dan koreksi radiometrik. Koreksi geometri adalah transformasi citra penginderaan jauh sehingga citra tersebut memiliki sifat peta yang berkaitan dengan bentuk, skala dan proyeksi. Koreksi radiometrik (koreksi dan offset untuk variasi data satelit) melibatkan pemrosesan citra digital untuk meningkatkan akurasi nilai kecerahan citra (Ghiffary, 2016).

2.8.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah untuk memperbaiki dan mengkalibrasi nilai radiometrik atau kecerahan piksel dalam citra, sehingga menghasilkan representasi yang lebih akurat dari data radiometrik yang terkandung dalam citra tersebut (Tu *et al.* 2018;(Prieto-Amparan *et al.*, 2018). Koreksi ini mengeliminasi efek dari perubahan karakteristik spektral pada citra. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi timbulnya kesalahan atau inkonsistensi pada nilai kecerahan gambar yang dapat

mempengaruhi hasil. Koreksi ini dilakukan karena gambar yang disimpan mengandung beberapa kesalahan (Ghiffary, 2016).

Koreksi radiometrik harus dilakukan pada data citra yang mengandung interferensi, sebagai berikut (Darmawan *et al.* 2018):

- *Striping*: disebabkan respons sensor yang berubah karena perubahan suhu atau umur masa pakai.
- *(Partially) missing lines*: disebabkan kelemahan pada peralatan pemindaian, transmisi data untuk perekaman.
- *Illumination and view angle effects*: disebabkan perubahan posisi matahari terhadap bumi
- *Sensor calibration*: disebabkan gangguan internal sensor karena pemakaian atau kegagalan teknis fungsi
- *Terrain effects*: disebabkan perbedaan ketinggian dimana pada lereng dengan ketinggian dan sudut tertentu mendapatkan intensitas penyinaran matahari lebih tinggi dibandingkan lereng dengan ketinggian dan sudut berbeda.
- *Atmospheric correction*: disebabkan gangguan pada atmosfer seperti debu antariksa, awan, gejala iklim dan lain sebagainya.

2.8.2 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan proses mengelompokkan piksel-piksel pada suatu citra ke dalam beberapa kelas (*class*) sehingga setiap kelas dapat menggambarkan suatu entitas dengan karakteristik tertentu. Tujuan utama mengklasifikasikan gambar penginderaan jauh adalah untuk membuat peta tematik, di mana satu warna mewakili objek tertentu. Contoh benda yang berhubungan dengan permukaan bumi adalah air, hutan, sawah, kota, jalan raya dan lain-lain. Sedangkan pada citra satelit meteorologi, proses klasifikasi dapat menghasilkan peta awan yang menunjukkan sebaran awan pada suatu wilayah tertentu. Klasifikasi citra yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi terbimbing (*supervised*) dan klasifikasi pemisahan daratan dan perairan menggunakan metode *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Klasifikasi terbimbing diterapkan setelah mendefinisikan *area of interest*

(AOI) yang disebut kelas *training*. Lebih dari satu area *training* digunakan untuk mewakili kelas tertentu (Rwanga & Ndambuki, 2017). NDWI merupakan indeks yang khusus digunakan untuk mengukur keberadaan air dalam citra satelit penginderaan jauh. Indeks ini dirancang khusus untuk mengidentifikasi dan memetakan wilayah yang mengandung air, seperti danau, sungai, atau daerah yang tergenang air (Özelkan, 2020). Indeks ini menggunakan 2 kanal yaitu kanal hijau dan infra merah jarak dekat (NIR), dengan perhitungan yang dapat dilihat dibawah ini.

$$NDWI = \frac{Band\ Green - Band\ NIR}{Band\ Green + Band\ NIR} \dots\dots\dots(1)$$

2.9 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan salah satu cabang sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang mensimulasikan kemampuan berpikir manusia dalam bentuk algoritma, yang kemudian dieksekusi oleh mesin (Salakory & Rakuasa, 2022). Logika *fuzzy* dinyatakan nilai 0-1 (boolean) dimana salah memiliki nilai 0 dan benar memiliki nilai 1 (Salakory & Rakuasa, 2022; Wantoro dkk., 2023), logika *fuzzy* merupakan alat yang sangat baik untuk menginterpretasikan data yang terjadi secara terus menerus, efektif dan efisien, untuk melakukan pemodelan *cellular automata* karena menggunakan komputasi paralelisme kompleks sel yang saling berhubungan dan mempunyai nilai kontinu.

2.10 Model dan Pemodelan

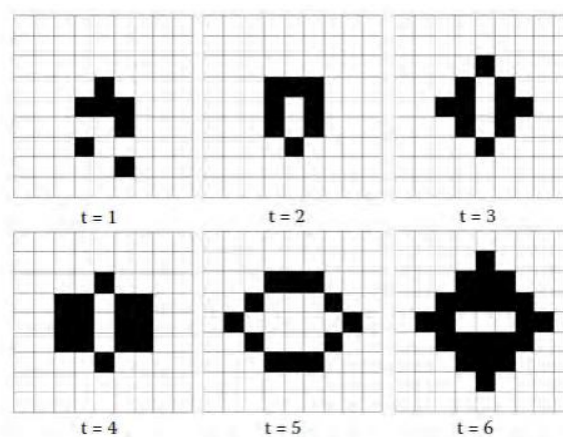
Model adalah alat penting dalam bidang spasial seperti halnya dalam banyak disiplin ilmu. Model merupakan representasi abstrak dari suatu sistem atau proses. Model dapat diformulasikan dengan berbagai cara. Model menyediakan kerangka kerja untuk pengembangan dan konteks di mana hasil simulasi harus ditafsirkan (Turner & Gardner, 2015). Menurut (Sanz, 2015) model adalah representasi dari realitas, seperti peta. Peta dengan skala besar memodelkan aliran sungai dengan

area luasan, sedangkan peta dengan skala kecil memodelkan aliran sungai dengan bentuk garis.

Pemodelan berarti membuat prototipe, mendesain, dan membuktikan sesuatu. Model adalah penyederhanaan dari fenomena nyata. Sebuah model dapat dikatakan sebagai representasi kondisi realitas yang ideal dan terstruktur (Sanz 2014). Model dapat digunakan untuk mendefinisikan sesuatu yang tidak diketahui, memandu studi lapangan, mengembangkan teori, atau membuat prediksi (Turner & Gardner, 2015).

2.10.1 Model *Cellular Automata*

Cellular Automata (CA) adalah model matematika yang digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem yang dinamis (Hasanzadeh Mofrad et al., 2015; Jamali et al., 2019). Ilustrasi bagaimana model CA bekerja, *Conway's Game of Life* digunakan dalam model sederhana yang beroperasi di atas kisi persegi panjang dengan sel persegi. Sebuah sel hanya memiliki satu atribut dan satu dari dua keadaan, mati atau hidup. Aturan modelnya sangat sederhana: setiap sel memeriksa keadaan dirinya sendiri dan sembilan sel di sekitarnya (yaitu, lingkungan Moore) dan, bergantung pada keadaan sel ini (Sugiarto 2018).



Gambar 2. Model Cellular Automata
(Sumber: Sugiarto 2018)

CA mempunyai peran penting dalam sistem informasi geografis. SIG merupakan sistem untuk mengumpulkan, menyimpan, memproses, dan menganalisis data geografis sedangkan CA adalah alat yang dapat digunakan untuk memodelkan mensimulasikan fenomena spasial (Ghosh et al., 2017). Pernyataan lain juga menyatakan bahwa pemodelan CA digunakan dalam SIG untuk menentukan dinamika suatu objek/fenomena, dimana dinamika sering diartikan sebagai perubahan (Sugiarto 2018).

Penerapan CA dalam konteks geografis tidak hanya dinyatakan oleh S dan T saja, tetapi ada faktor lain yang merangsang A. Faktor tersebut adalah keadaan tetangga (neighbourhood). Kondisi lokal mempengaruhi A, sehingga terbentuk relasi spasial. Dengan adanya faktor ketetanggaan yang bekerja pada A, otomatis yang terdiri dari otomata (A), Kelas (S), transisi (T) dan faktor ketetanggaan (N) dapat dibentuk secara geometris dengan lebih tepat (Sugiarto, 2018).

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

Keterangan:

A: *automaton*

S: *state* (kelas)

T: *transition rules* (aturan transisi)

N: *neighborhood* (ketetanggaan)

- Ruang Sel (*Automaton/Cell Space*)

Ruang sel tersusun atas sel individu. Meskipun sel tersebut terdiri dari berbagai bentuk geometrik, kebanyakan CA mengadopsi grid regular (berbentuk persegi) untuk merepresentasikan ruangnya, yang membuat CA sangat mirip dengan struktur cellular pada data bertipe raster dalam SIG.

- Kelas Sel (*Cell States*)

State pada tiap sel mungkin merepresentasikan berbagai variabel spasial, contohnya berbagai variasi tipe penggunaan lahan. Transisi state dari CA didefinisikan dengan keterkaitan yang mengikutinya.

- Aturan Transisi (*Transition Rules*)

Sebagai sebuah aturan transisi dan merupakan kontrol simulasi dinamik dari CA. Pada CA klasik, aturan transisi merupakan suatu model deterministik dan tidak berubah selama waktu simulasi. Akan tetapi, aturan transisi dapat dimodifikasi kedalam model stokastik dan metode logika samar yang terkontrol.

- Ketetanggaan (*Neighborhood*)

Hal ini didefinisikan dari ketetanggaan lokal dari tiap sel. Model CA dua dimensi memiliki dua model ketetanggaan, yaitu model Von Neumann dengan 4 (empat) sel tetangga dan model Moore dengan 8 (delapan) sel tetangga.

Contoh penerapan CA dalam SIG adalah dalam pemodelan perubahan penggunaan lahan. Dalam konteks ini, CA dapat digunakan untuk mensimulasikan bagaimana pola penggunaan lahan akan berubah seiring waktu. Pada penelitian ini CA dimanfaatkan untuk memodelkan perubahan garis pantai. Hasil tersebut dapat menunjukkan pola perubahan dari waktu ke waktu sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengelolaan sumber daya alam dan perencanaan pembangunan yang lebih baik dimasa yang akan mendatang.

2.11 *Multilayer Perceptron Neural Network*

Multilayer Perceptron adalah model yang paling banyak digunakan dalam aplikasi jaringan saraf menggunakan algoritma pelatihan bobot balik. MLP terdiri dari beberapa lapisan neuron (unit pemrosesan informasi) yang terhubung secara sekuensial. Setiap neuron di lapisan satu terhubung dengan setiap neuron di lapisan berikutnya, dan informasi mengalir maju melalui jaringan tersebut.

Pemrosesan dari layer input ke hidden layer dan kemudian ke lapisan output disebut *forward propagation*. Jumlah (input bobot) bias diterapkan pada setiap layer dan kemudian nilai fungsi aktivasi disebarkan ke layer berikutnya. Lapisan selanjutnya bisa berupa hidden layer lain atau output layer (Sen et al., 2020).

MLP digunakan sebagai salah satu metode yang dipakai untuk memprediksi perubahan garis pantai, dimana MLP dapat mempelajari pola-pola kompleks dalam data dan memprediksi nilai output berdasarkan input yang diberikan, sama halnya perubahan tutupan lahan pola perubahan yang terjadi sulit diuraikan.

2.12 Uji Akurasi Model

Uji akurasi model adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan atau keakuratan dari suatu model atau prediksi. Tujuan utama dari uji akurasi model adalah untuk mengevaluasi sejauh mana model tersebut mampu memprediksi data dengan benar atau sesuai dengan model referensi. Dalam konteks prediksi perubahan garis pantai, uji akurasi model memainkan peran penting dalam mengukur seberapa baik model yang dikembangkan dapat merepresentasikan perubahan sebenarnya di lapangan.

Proses uji akurasi model dilakukan dengan membandingkan model prediksi garis pantai yang dihasilkan oleh Cellular Automata dengan garis pantai referensi yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Garis pantai referensi merupakan data yang didapatkan melalui citra Landsat. Dengan membandingkan garis pantai hasil prediksi model dengan garis pantai referensi, kita dapat mengukur sejauh mana model mampu menghasilkan perubahan garis pantai yang sebenarnya terjadi. Persamaan uji akurasi model dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$Akurasi = \frac{N_{benar}}{N_{keseluruhan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

2.13 Peneliti Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk memperoleh bahan perbandingan dan referensi untuk diterapkan untuk penelitian yang akan dilakukan penulis. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan perubahan garis pantai, pada bagian ini peneliti mencantumkan tujuan dan hasil yang dilakukan peneliti

terdahulu. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik yang akan diambil oleh peneliti dapat dilihat pada tabel 4.

Pada dasarnya penelitian ini memiliki persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Persamaan pertama adalah data yang digunakan merupakan data citra penginderaan jauh multitemporal. Kesamaan lainnya adalah penelitian ini menggunakan metode *Cellular Automata* untuk memodelkan perubahan garis pantai.

Salah satu perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah jumlah data penginderaan jauh yang digunakan. Selain itu, penelitian ini spesifik membahas perubahan garis pantai dengan faktor pendorong kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan dan tinggi gelombang. sedangkan pada penelitian sebelumnya membahas perubahan penggunaan lahan keseluruhan.

Tabel 7. Penelitian terdahulu

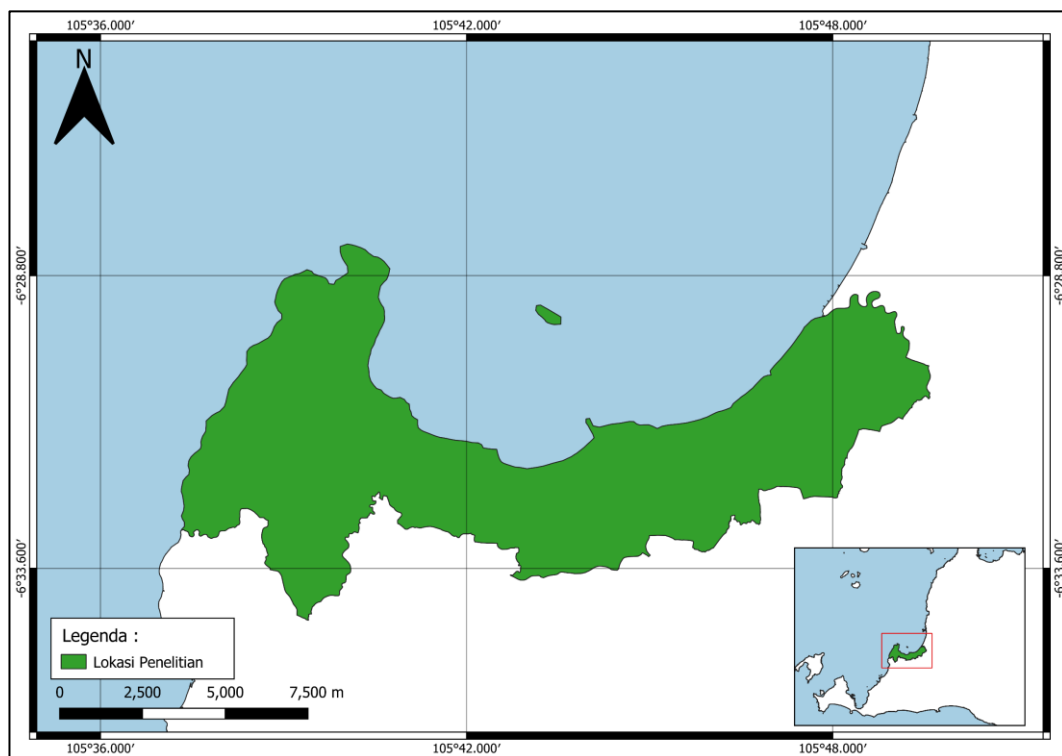
Peneliti	Judul	Metode	Hasil
Raimundo Lopes <i>et al.</i> (2022).	<i>Predicting future coastal land use/cover change and associated sea-level impact on habitat quality in the Northwestern Coastline of Guinea-Bissau.</i>	Model <i>Cellular Automata</i> dan <i>Markov chain</i> digunakan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan pada wilayah pesisir dengan variabel independen DEM dan <i>slope</i>	Penggunaan lahan pada area pesisir mengalami perubahan yang signifikan, rawa, hutan campuran, dan hutan bakau mengalami perubahan menjadi lahan pertanian dan lahan terbangun. Elevasi pantai yang rendah sebesar -1 m dan kemiringan kurang dari 2° berkontribusi terhadap perubahan pesisir.
Putri dan Supriatna (2021).	<i>Land cover change modeling to identify critical land in the Ciletuh Geopark tourism area, Palabuhanratu, Sukabumi Regency.</i>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Cellular Automata Markov Chain</i> untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan dan memprediksi transformasinya di masa mendatang dengan beberapa faktor pendorong berdasarkan logika	Perubahan tutupan lahan disebabkan oleh kebutuhan perumahan dan fasilitas untuk mendukung kegiatan pariwisata. Perubahan dari lahan pertanian yang terbengkalai menjadi semak belukar.

Peneliti	Judul	Metode	Hasil
		<i>fuzzy</i> . Variabel tersebut berisi kedekatan dengan jalan, pemukiman, garis pantai, lereng, dan kepadatan penduduk	
Asra <i>et al.</i> (2020).	Penerapan model <i>ca-Markov</i> untuk prediksi perubahan penggunaan lahan di Sub-DAS Bila tahun 2036	Metode yang digunakan adalah <i>Cellular Automata-Markov</i>	Prediksi penggunaan lahan tahun 2036, hutan lahan kering primer diprediksi berkurang seluas 10,2%, sedangkan hutan lahan kering sekunder diprediksi bertambah 8,63%. Penerapan model <i>CA-Markov</i> untuk memprediksi penggunaan lahan menunjukkan nilai Kstandard 0,9 dinyatakan bahwa pemodelan diterima secara ilmiah.
(Baharudin dkk., 2020)	Analisis geospasial menggunakan metode <i>Cellular Automata</i> untuk prediksi perubahan garis pantai	Analisis perubahan garis pantai menggunakan metode <i>Cellular Automata</i> dengan faktor pendorong yaitu data abrasi, sedimentasi / akresi, batimetri, topografi. Gambar	Hasil simulasi memberikan estimasi garis pantai daerah penelitian tahun 2020 dan 2030. Model simulasi menunjukkan perubahan garis pantai tahun 2010-2020 sebesar 181.4836 ha, perubahan garis pantai tahun 2010-2030 sebesar 172.6659 ha.
Fardani <i>et al.</i> (2020)	Pemanfaatan Prediksi Tutupan Lahan Berbasis <i>Cellular Automata-Markov</i> dalam Evaluasi Rencana Tata Ruang	Untuk mengevaluasi RTRW dilakukan model pendekatan <i>CA-Markov</i>	Terdapat 21.9 % tutupan lahan yang diprediksi tidak akan sesuai dengan RTRW, diakibatkan oleh penambahan penduduk

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Pandeglang, Banten, dengan lokasi penelitian yaitu di Kecamatan Panimbang. Kecamatan Panimbang terletak di $6^{\circ}27'$ Sampai $6^{\circ}32'$ Lintang Selatan dan $105^{\circ}37'$ sampai $105^{\circ}40'$ Bujur Timur. Secara geografis, Kecamatan Panimbang memiliki karakteristik wilayah yang beragam. Bagian barat kecamatan ini memiliki 4 desa yang berbatasan langsung dengan Selat Sunda yaitu Desa Tanjungjaya, Citeureup, Mekarsari, dan Panimbangjaya, dengan garis pantai yang membentang sepanjang beberapa kilometer. Wilayah pesisir ini ditandai oleh pantai berpasir putih dan ombak yang cukup kuat.



Gambar 3. Lokasi penelitian

3.2 Alat yang Digunakan

Dalam penelitian ini, diperlukan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak untuk melakukan proses pengolahan data. Berikut adalah daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Perangkat keras
 - a. Satu unit laptop dengan spesifikasi *processor intel core i5-11400H 2,70Ghz, RAM 16GB*, dengan ruang penyimpanan sebesar *512GB*, yang digunakan untuk menjalankan program Sistem Informasi Geografis dan *Microsoft Office*.
 - b. Satu unit *GPS handheld*, yang digunakan untuk pengambilan koordinat kondisi di lapangan.
2. Perangkat lunak
 - a. Perangkat lunak *Quantum GIS*, yang digunakan untuk mengkoreksi citra, membuat interpolasi dengan menggunakan metode IDW, dan penerapan metode *fuzzy* pada faktor pendorong
 - b. Perangkat lunak Sistem Informasi Geografis, yang digunakan untuk membuat klasifikasi tutupan lahan dan membuat model *cellular automata*.
 - c. Perangkat lunak *Microsoft Word*, yang digunakan untuk penyusunan laporan penelitian.
 - d. Perangkat lunak *Microsoft Excel*, yang digunakan untuk membuat grafik perubahan laju garis pantai.

3.3 Bahan yang Digunakan

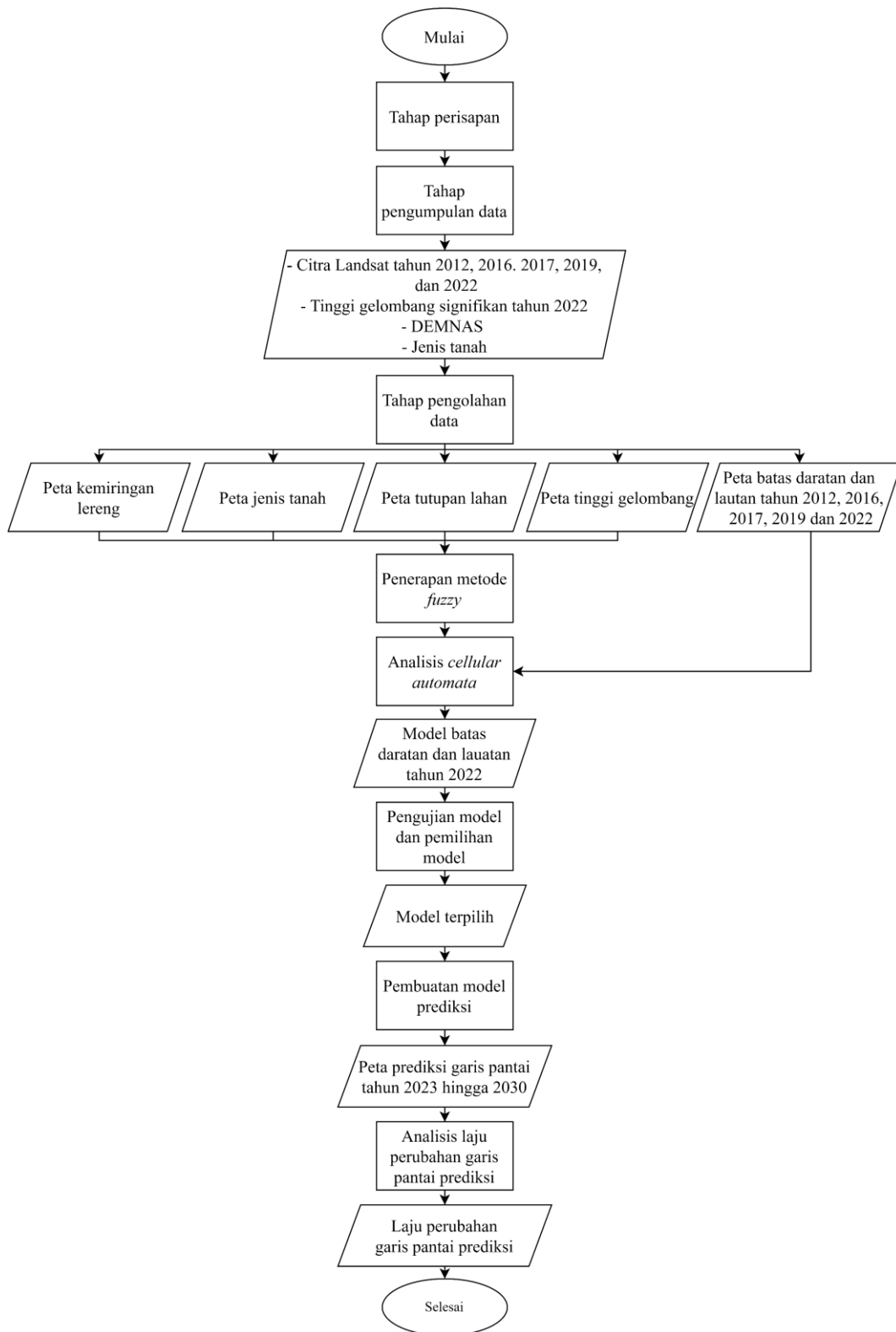
Bahan yang digunakan dalam analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan metode *cellular automata* yaitu:

1. Peta administrasi Kabupaten Pandeglang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dapat diunduh dari situs <https://tanahair.indonesia.go.id/>.
2. Citra Landsat 7 ETM tahun 2012 dan citra Landsat 8 OLI tahun 2016, 2017, 2019 dan 2022, yang diperoleh dari Badan Survey Geologi Amerika Serikat (USGS) yang dapat diunduh dari situs <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

3. Data DEMNAS diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dapat diunduh dari situs <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>.
4. Data tinggi gelombang diperoleh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang dapat diunduh dari situs <https://cds.climate.copernicus.eu/>.
5. Data jenis tanah diperoleh dari dinas PUPR Kabupaten Pandeglang.
6. Data pasang surut yang diperoleh dari situs <https://pasanglaut.com/>.

Tahapan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan yang berisi identifikasi masalah, studi literatur tentang garis pantai dan metode *cellular automata*, dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data citra Landsat tahun 2012, 2016, 2017, 2019, data tinggi gelombang, jenis tanah, dan DEMNAS yang digunakan pada penelitian ini.

Pengolahan data terdiri dari beberapa tahapan yaitu proses ekstraksi pemisahan daratan dan lautan, klasifikasi tutupan lahan, pembuatan kemiringan lereng, dan pembuatan interpolasi tinggi gelombang. Untuk faktor pendorong dilakukan penerapan metode *fuzzy* kemudian dilakukan analisis *cellular automata*, dilanjutkan dengan pembuatan model garis pantai tahun 2022, pengujian model, dan pemilihan model yang akan digunakan untuk memprediksi perubahan garis pantai pada tahun yang akan datang, setelah didapatkan model prediksi Langkah selanjutnya adalah analisis laju perubahan prediksi garis pantai dengan menggunakan DSAS, lalu hasilnya dapat digunakan sebagai acuan untuk Langkah pembangunan di masa yang akan datang. Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir (*flowchart*) dalam gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir

Tahap penelitian pada perubahan garis pantai menggunakan metode *cellular automata* dijelaskan pada sub bab berikut:

3.4 Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data. Identifikasi masalah bertujuan untuk merumuskan masalah yang terjadi. Adapun permasalahan pada penelitian ini, yaitu perubahan garis pantai di Kecamatan Panimbang yang terjadi sepanjang tahun. Pembuatan model perubahan garis pantai ini juga diperlukan untuk pengambilan keputusan terkait rencana pembangunan di daerah tersebut, sehingga diperlukannya model perubahan garis pantai ditahun yang akan datang untuk mengambil keputusan terkait perencanaan pembangunan. Tahap persiapan selanjutnya yaitu studi literatur, pada tahap ini dilakukan untuk mempelajari dan mengumpulkan referensi sehingga memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai topik yang akan diteliti, referensi yang dikumpulkan berasal dari jurnal ilmiah.

3.5 Tahap Pengumpulan Data

Setelah melakukan persiapan, selanjutnya peneliti melakukan pengumpulan data. Pengumpulan data merupakan kegiatan mencari data dari berbagai sumber untuk digunakan dalam penelitian dan untuk menjawab permasalahan yang ada. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data Landsat yang diunduh dari USGS, peta batas administrasi Kabupaten Pandeglang yang bersumber dari BIG, serta data DEMNAS yang diambil dari BIG, Peta jenis tanah dari Dinas PUPR Kabupaten Pandeglang, dan tinggi gelombang dari ECMWF.

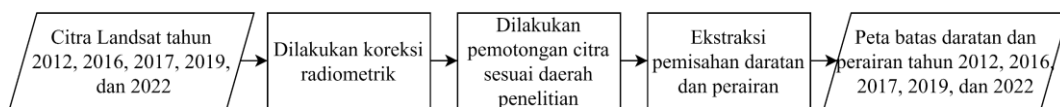
3.6 Tahap Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah menjadi peta klasifikasi garis pantai, peta tutupan lahan, peta jenis tanah, peta interpolasi tinggi gelombang, dan peta

kemiringan lereng. Adapun penjelasan dalam pengolahan data adalah sebagai berikut:

3.6.1 Proses Pemisahan Daratan dan Perairan

Proses pemisahan daratan dan perairan menggunakan perhitungan NDWI. NDWI menggabungkan informasi dari saluran multispektral citra satelit, yang memungkinkan identifikasi dan pemetaan area perairan dan daratan. Dengan melakukan pemantauan NDWI dapat diperoleh perubahan garis pantai dari waktu ke waktu. Proses pemisahan daratan dan perairan pada penelitian ini menggunakan data citra Landsat tahun 2012, 2016, 2017, dan 2019, menghasilkan peta batas daratan dan perairan yang akan dijadikan data input pemodelan *Cellular Automata* dan citra Landsat tahun 2022 yang akan dijadikan acuan untuk pengujian model. Secara umum proses pemisahan daratan dan perairan dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 5. Diagram proses pemisahan daratan dan perairan

Proses pemisahan daratan dan perairan terdiri dari beberapa proses yaitu koreksi radiometrik pada citra, pemotongan citra sesuai daerah penelitian, dan ekstraksi pemisahan daratan dan perairan, yang menghasilkan peta batas daratan dan perairan. proses tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Koreksi Citra

Koreksi yang dilakukan pada citra adalah koreksi radiometrik. Citra Landsat yang digunakan memerlukan koreksi dikarenakan pada saat pengambilan citra terdapat distorsi efek atmosfer yang menyebabkan kesalahan pada citra. Koreksi ini diolah menggunakan tools *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* pada perangkat lunak QGIS.

2) Pemotongan Citra

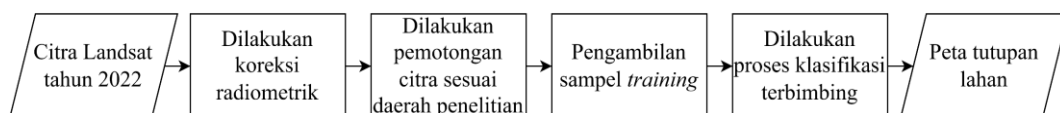
Setelah dilakukan koreksi radiometrik selanjutnya citra dipotong sesuai daerah penelitian. Tujuan dari pemotongan citra ini adalah untuk memfokuskan pada area yang lebih spesifik sesuai dengan lokasi penelitian dan meringankan kinerja pada proses klasifikasi. Pemotongan citra dilakukan dengan alat *clip raster by mask layer*. Input pada proses pemotongan yaitu citra Landsat dan area lokasi penelitian.

3) Ekstraksi Pemisahan Daratan dan Lautan

Ekstraksi pemisahan daratan dan lautan dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) yang dapat dilihat pada persamaan 1. NDWI memiliki nilai piksel dari -1 sampai dengan 1, dimana -1 hingga 0 merupakan daratan sedangkan rentang 0 hingga 1 merupakan objek perairan. Proses ekstraksi pemisahan daratan dan lautan dilakukan menggunakan alat *raster calculator* yang berada pada perangkat lunak QGIS.

3.6.2 Proses Klasifikasi Tutupan Lahan

Proses klasifikasi tutupan lahan menggunakan data citra Landsat tahun 2022 dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing, khususnya metode *Maximum Likelihood*. Metode ini adalah salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam klasifikasi citra dengan memanfaatkan informasi *training area* yang telah ditentukan sebelumnya. Proses klasifikasi tutupan lahan menghasilkan peta tutupan lahan yang akan digunakan sebagai faktor pendorong terjadinya perubahan garis pantai pada metode *Cellular Automata*. Secara umum proses klasifikasi tutupan lahan dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 6. Diagram proses klasifikasi tutupan lahan

Proses klasifikasi tutupan lahan terdiri dari beberapa proses yaitu koreksi radiometrik pada citra, pemotongan citra sesuai daerah penelitian, pengambilan

sampel *training*, dan dilakukan proses klasifikasi terbimbing, yang menghasilkan peta tutupan lahan. proses tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Koreksi Citra

Citra Landsat yang digunakan masih memiliki bias atmosfer yang mempengaruhi nilai radiometrik piksel-piksel citra tersebut. Oleh karena itu, diperlukan koreksi radiometrik untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh atmosfer tersebut. Koreksi ini diolah menggunakan tools *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)* pada perangkat lunak QGIS.

2) Pemotongan Citra

Setelah melalui proses koreksi radiometrik, langkah selanjutnya adalah memotong citra sesuai dengan area penelitian yang ditentukan. Tujuan dari pemotongan citra ini adalah untuk memfokuskan analisis pada area yang lebih spesifik sesuai dengan lokasi penelitian serta untuk mengoptimalkan kinerja pada proses klasifikasi. Pemotongan citra dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *clip raster by mask layer*. Pada proses ini, citra Landsat dan layer yang berisi batas area lokasi penelitian digunakan sebagai input. Dengan menggunakan alat tersebut, citra akan dipotong atau dibatasi hanya pada area yang ditentukan oleh batas layer lokasi penelitian, sehingga citra yang dihasilkan akan mencakup area yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.

3) Pemilihan Sampel *Training*

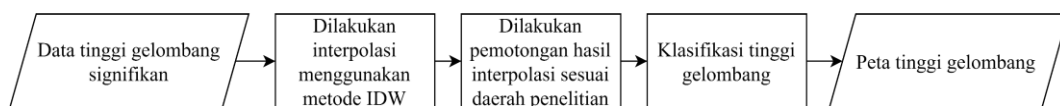
Setelah dilakukan pemotongan citra tahap selanjutnya adalah pemilihan sampel *training* untuk klasifikasi terbimbing. Sampel *training* diambil dari lima kelas yaitu kelas badan air, lahan pertanian, hutan, pemukiman, dan lahan kosong. Pada setiap sampel *training* diambil tiga sampel yang mewakili setiap kelas tersebut. Penggunaan sampel *training area* yang beragam membantu meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan.

4) Klasifikasi Terbimbing

Dalam klasifikasi citra terbimbing diperlukan adanya sampel *training area* pada setiap kelasnya. Setelah dilakukan pengambilan sampel *training* langkah selanjutnya adalah klasifikasi. Klasifikasi terbimbing menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Metode ini mengklasifikasikan piksel-piksel pada citra berdasarkan probabilitas dari setiap sampel *training*.

3.6.3 Proses Interpolasi Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang merupakan salah satu faktor pendorong terjadinya abrasi pada daerah pantai. Peta interpolasi didapatkan dari data tinggi gelombang signifikan ECMWF dengan menggunakan 8 stasiun pengamatan, Secara umum pengolahan peta tinggi gelombang dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 7. Diagram alir peta tinggi gelombang

Tahapan proses interpolasi tinggi gelombang mempunyai beberapa tahap yaitu data yang diperoleh kemudian dilakukan interpolasi menggunakan metode IDW, hasil interpolasi kemudian dipotong sesuai daerah penelitian, dan diklasifikasi berdasarkan kelas gelombang, proses tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Interpolasi IDW

Data tinggi gelombang dilakukan interpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighting*). Proses IDW dimulai dengan memilih sejumlah titik observasi yang memiliki nilai. Masing-masing titik ini memiliki atribut seperti koordinat spasial dan nilai. Untuk memperkirakan nilai pada lokasi yang tidak teramati, IDW mempertimbangkan jarak dari titik pengamatan terdekat ke lokasi tersebut. Data tinggi gelombang yang dipakai pada penelitian ini diperoleh dari delapan stasiun pengamatan yang didapatkan melalui situs ECMWF.

2) Klasifikasi Tinggi Gelombang

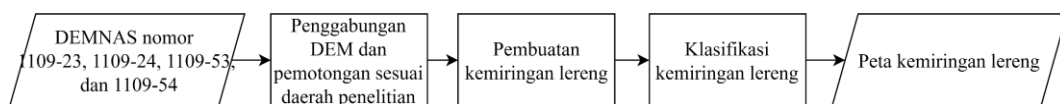
Hasil interpolasi tinggi gelombang kemudian dilakukan proses klasifikasi tinggi gelombang yang bertujuan untuk mengelompokkan atau mengelaskan tinggi gelombang. Tinggi gelombang dikelompokkan menjadi dua kelas yaitu tinggi gelombang rendah dan tinggi gelombang sedang, kelas tersebut berdasarkan pengelompokkan dari WMO.

3) Pemotongan Hasil Interpolasi

Setelah dilakukan proses klasifikasi tinggi gelombang, langkah selanjutnya adalah pemotongan hasil interpolasi tersebut. Pemotongan dilakukan untuk menghasilkan area atau wilayah yang lebih spesifik sesuai dengan kebutuhan penelitian atau aplikasi tertentu. Dengan pemotongan hasil interpolasi dapat memudahkan untuk keperluan analisis dan pemodelan. Pemotongan hasil interpolasi dilakukan dengan alat *clip raster by mask layer*. Input pada proses pemotongan yaitu hasil klasifikasi tinggi gelombang dan area lokasi penelitian.

3.6.4 Proses Pembuatan Kemiringan Lereng

Peta kemiringan lereng diperoleh dari data DEMNAS yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial, empat data DEMNAS yang digunakan pada penelitian ini yang mencakup daerah penelitian. Tahapan pengolahan peta kemiringan lereng terdiri dari penggabungan dan pemotongan DEM, pembuatan kemiringan lereng, klasifikasi kemiringan lereng. Tahap pengolahan peta kemiringan lereng dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 8. Diagram alir peta kemiringan lereng

Tahapan proses pembuatan kemiringan lereng dengan menggunakan data DEMNAS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Penggabungan dan Pemotongan DEM

DEMNAS yang diperlukan pada wilayah penelitian ini adalah empat bidang DEMNAS yaitu petak DEMNAS 1109-23, 1109-24, 1109-53, dan 1109-54. Oleh karena itu citra DEMNAS perlu digabungkan untuk diolah ke tahap selanjutnya. Data tersebut digabungkan dengan *tool merge* yang berada pada perangkat lunak QGIS. Data yang telah digabung kemudian dipotong sesuai dengan lokasi penelitian, pemotongan ini juga bertujuan mempercepat proses untuk mengefisiensi waktu dan ruang penyimpanan. Pemotongan raster dilakukan dengan alat *clip raster by mask layer*. Data input yang digunakan adalah data DEMNAS yang sudah digabung dan area lokasi penelitian sebagai data *mask layer*.

2) Pembuatan Kemiringan Lereng

Pembuatan kemiringan lereng dilakukan dengan menghitung perbedaan elevasi antara titik-titik tetangga dalam data DEM. Kemiringan lereng diperoleh dari data DEM yang telah digabungkan dan dipotong dilakukan tahap pengolahan kemiringan dengan *tool slope*. Tujuan dari kemiringan adalah untuk menjelaskan secara visual kelerengan pada DEMNAS. Pada tahap ini digunakan presentase sebagai nilai kelerengan.

3) Klasifikasi Kemiringan Lereng

Setelah melalui pengolahan *slope* langkah selanjutnya adalah klasifikasi atau pengkelasan pada kemiringan lereng, proses ini bertujuan untuk memudahkan dalam pengambilan keputusan, proses klasifikasi dilakukan dengan *tool reclassify by table*. Kelas kemiringan lereng dibagi menjadi lima kelas yaitu landai, datar, agak curam, curam, dan sangat curam, kelas tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

3.6.5 Proses Klasifikasi Jenis Tanah

Jenis tanah dapat mempengaruhi abrasi karena kekuatan dan ketahanannya terhadap erosi yang disebabkan oleh gelombang air dan angin. Secara umum jenis tanah yang mempunyai pengaruh terhadap abrasi adalah jenis tanah yang memiliki kandungan pasir yang tinggi. Oleh karena itu jenis tanah dijadikan sebagai salah satu parameter penyebab terjadinya abrasi. Terdapat tiga jenis tanah di Kecamatan Panimbang,

yaitu jenis tanah podsolik, latosol, dan alluvial. Jenis tanah yang paling banyak ditemukan di Kecamatan Panimbang adalah jenis tanah alluvial. Data jenis tanah didapatkan dari Dinas PUPR Kabupaten Pandeglang yang terdapat didalam *geodatabase* sistem informasi penataan ruang.

3.7 Penerapan Metode *Fuzzy*

Metode *fuzzy* diterapkan pada faktor pendorong yaitu tutupan lahan, tinggi gelombang, kemiringan lereng, dan jenis tanah. Metode *fuzzy* digunakan untuk menyederhanakan nilai faktor pendorong, menjadi bilangan biner yaitu diantara 0 dan 1 yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan atau analisis risiko. Penerapan metode *fuzzy* dilakukan dengan *tool fuzzify raster (linear membership)* yang berada pada perangkat lunak QGIS.

3.8 Analisis Pengaruh Faktor Pendorong Perubahan Garis Pantai dan Pemodelan

Dalam analisis pengaruh faktor pendorong perubahan garis pantai digunakan metode *Cellular Automata*, dimana metode tersebut digunakan untuk memahami pengaruh dari faktor pendorong perubahan. Data yang digunakan dalam metode *Cellular Automata* adalah data klasifikasi garis pantai tahun 2012 sebagai tahun awal dan klasifikasi garis pantai tahun 2016, 2017, dan 2019 sebagai tahun akhir. Analisis *Cellular Automata* menggunakan faktor pendukung yaitu peta tutupan lahan, peta gelombang, peta jenis tanah dan peta kemiringan lereng yang telah dilakukan penyederhanaan menggunakan metode *fuzzy*. Metode *training* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Multilayer Perceptron Neural Network* (MLP) dengan menggunakan 10000 iterasi dengan *hidden layer* 3. MLP menghitung bagaimana faktor pendorong mempengaruhi perubahan yang terjadi pada garis pantai.

Setelah dilakukan analisis tersebut selanjutnya pembuatan model garis pantai yang dibuat dengan tiga skenario yaitu model 1 menggunakan data garis pantai pada

tahun 2012 dan 2016, model 2 menggunakan data garis pantai pada tahun 2012 dan 2017, dan model 3 menggunakan data garis pantai tahun 2012 dan 2019. Pembuatan model menggunakan metode probabilitas *Markov Chain*. Metode *Markov Chain* menghitung perubahan yang terjadi pada data input tahun awal dan tahun akhir serta faktor pendorongnya.

3.9 Uji Akurasi Model

Uji akurasi model bertujuan untuk menguji tingkat ketelitian model yang telah dibuat, dari ketiga model tersebut diuji dengan menggunakan garis pantai tahun 2022 sebagai tahun referensi. Pengujian model menggunakan metode uji akurasi yang dapat dilihat pada persamaan 2. Nilai akurasi model berupa presentase, nilai akurasi model yang diukur dalam bentuk persentase biasanya mengacu pada tingkat kesesuaian antara prediksi model dan data referensi. Nilai akurasi ini memberikan gambaran tentang seberapa baik model mampu memprediksi data dengan mempertimbangkan perbedaan antara hasil prediksi dan nilai yang sebenarnya.

3.10 Pembuatan Model Prediksi

Model terpilih akan digunakan untuk memprediksi garis pantai pada tahun yang akan mendatang. Pembuatan model prediksi dimulai dari tahun 2023 hingga tahun 2030, dari tahun tersebut kemudian dilihat perubahan yang terjadi. Model garis pantai prediksi bertujuan untuk mengambil keputusan perencanaan pembangunan dimasa yang akan datang.

3.11 Pembuatan Laju Perubahan Garis Pantai Prediksi

Model prediksi yang telah dibuat dilakukan analisis laju perubahan garis pantai dengan menggunakan DSAS dan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) yang ada pada software tersebut. Metode NSM mengukur perubahan dari dua garis pantai dengan waktu yang berbeda, NSM memberikan informasi mengenai laju perubahan garis pantai.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan uraian pembahasan penelitian diatas yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis *cellular automata* faktor pendorong yang paling berpengaruh terhadap terjadinya abrasi adalah tinggi gelombang dan faktor pendorong yang paling berpengaruh terhadap terjadinya akresi adalah tutupan lahan.
2. Model yang digunakan untuk memprediksi garis pantai pada tahun 2030 adalah model 3 dengan rentang tahun 2012 dan 2019 dengan nilai akurasi 87,137%. Dapat disimpulkan bahwa semakin panjang rentang waktu data input semakin baik model yang dihasilkan
3. Berdasarkan hasil prediksi garis pantai tahun 2022 hingga tahun 2030 (8 tahun), garis pantai tahun 2022 yang semula memiliki panjang sebesar 36794,15 meter menjadi 35586,98 meter pada tahun 2030, di Kecamatan Panimbang mengalami laju perubahan garis pantai sebesar -17,350 meter dan perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dan akresi sebesar 429612 m² dan 35651 m². Perubahan ini menggambarkan adanya penurunan garis pantai secara signifikan dalam kurun waktu tersebut. Desa yang mengalami perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dan akresi paling besar adalah Desa Tanjungjaya, dengan perubahan luas garis pantai sebesar 181727 m² untuk abrasi dan 20591 m² untuk akresi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan empat faktor pendorong yaitu tutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, dan tinggi gelombang. Dihasilkan model yang cukup baik, namun untuk pemodelan yang lebih baik disarankan menambahkan faktor pendorong yaitu curah hujan dan arus air laut, untuk menghasilkan model garis pantai yang mendekati garis pantai referensi.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan memperhatikan pasang surut pada saat pengambilan data citra. Pasang surut memiliki pengaruh yang besar terhadap garis pantai dan kondisi lingkungan pesisir. Pastikan memilih waktu yang tepat untuk pengambilan citra yang akan dipakai untuk ekstraksi garis pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., Putri, N. D., Sandrawati, A., & Harryanto, R. (2019). Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Inceptisols di Jatinangor. *SoilREns*, 16(2), 37–44. <https://doi.org/10.24198/soilrens.v16i2.20858>
- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan Model CA-Markov Untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Di Sub-DAS Bila Tahun 2036. *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v5i1.630>
- Baharudin, Samsu, A., & Sakka. (2020). Analisis geospasial menggunakan metode Cellular Automata untuk prediksi perubahan garis pantai. *Hasanuddin University Repository*.
- BIG. (2017). *BIG Sediakan Data Dan Informasi Geospasial Untuk Mendukung Industri Bahari*. www.big.go.id
- BMKG. (2019). *Prakiraan Gelombang dan Hujan 24 jam*. www.maritim.bmkg.go.id
- Damar Wicaksono, A., Awaluddin, M., & Bashit, N. (2020). Analisis Laju Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Net Shoreline Movement (Nsm) Dengan Add-In Digital Shoreline Analysis System (Dsas) (Studi Kasus : Pesisir Barat Kabupaten Pandeglang). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(April), 21–31. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/26919/23727>
- Damaywanti, K. (2013). Dampak Abrasi Pantai terhadap Lingkungan Sosial (Studi Kasus di Desa Bedono , Sayung Demak). *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 363–367.
- Darmawan, A., Harianto, S. P., Santoso, T., & Winarno, G. D. (2018). Buku Ajar Penginderaan Jauh Untuk Kehutanan. In *Buku Ajar Penginderaan Jauh Untuk Kehutanan*. http://repository.lppm.unila.ac.id/7346/1/buku_ajar_penginderaan_jauh.pdf
- Fadly, R., Dewi, C., & Fajriyanto, F. (2023). Study of Coastline Shifts on the West Coast of Lampung Using Remote Sensing Data. *Jurnal Geoelebes*, 7(1), 44–52. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v7i1.23183>

- Fardani, I., Alain, F., Mohmed, J., & Chofyan, I. (2020). Pemanfaatan Prediksi Tutupan Lahan Berbasis Cellular Automata-Markov dalam Evaluasi Rencana Tata Ruang. *Media Komunikasi Geografi*, 21(2), 157–171.
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., & Al-Kofahi, S. (2020). Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, 6(9), e05092. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>
- Ghiffary, M. I. Al. (2016). Evaluasi Perubahan Garis Pantai Kabupaten Indramayu Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. *Jurnal Teknik ITS*, 10, 1–6.
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S. K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., & Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 5, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005>
- Gill, T., Collett, L., Armston, J., Eustace, A., Danaher, T., Scarth, P., Flood, N., & Phinn, S. (2010). Geometric correction and accuracy assessment of Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM imagery used for vegetation cover monitoring in Queensland, Australia from 1988 to 2007. *Journal of Spatial Science*, 55(2), 273–287. <https://doi.org/10.1080/14498596.2010.521977>
- Hapke, C. J., Plant, N. G., Henderson, R. E., Schwab, W. C., & Nelson, T. R. (2016). Decoupling processes and scales of shoreline morphodynamics. *Marine Geology*, 381, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.08.008>
- Hardianto, R. (2019). Pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan di kabupaten sidoarjo. *Planning for Urban and Regional Environment*, 8(3), 349–358.
- Hasanzadeh Mofrad, M., Sadeghi, S., Rezvanian, A., & Meybodi, M. R. (2015). Cellular edge detection: Combining cellular automata and cellular learning automata. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 69(9), 1282–1290. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2015.05.010>
- Irawan, S., Fahmi, R., Lubis, M. Z., Aji, S. B., Roziqin, A., & Khoirunnisa, H. (2018). Hydro-oceanographic condition (Tide, Sea Current, and Waves) of Nongsa Batam Sea. *Journal of Applied Geospatial Information*, 2(2), 135–144. <https://doi.org/10.30871/jagi.v2i2.968>
- Jamali, B., Bach, P. M., Cunningham, L., & Deletic, A. (2019). A Cellular Automata Fast Flood Evaluation (CA-ffé) Model. *Water Resources Research*, 55(6), 4936–4953. <https://doi.org/10.1029/2018WR023679>
- Juniyanti, L., Prasetyo, L. B., Aprianto, D. P., Purnomo, H., & Kartodihardjo, H.

- (2020). Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan, Serta Faktor Penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(3), 419–435. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.3.419-435>
- Khosiah, & Ariani, A. (2017). Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Di Dusun Landungan Desa Guntur Macan Kecamatan Gunungsari Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 3(1), 195–200. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Lesmana, D., Fauzi, M., & Sujatmoko, B. (2021). Analisis Kemiringan Lereng Daerah Aliran Sungai Kampar Dengan Titik Keluaran Waduk Plta Koto Panjang. *Jom FTEKNIK*, 8(2), 1–7.
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 51, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.10.029>
- Mukhtar, M. K. (2018). Evaluasi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. *Geoid*, 14(1), 66–74.
- Özelkan, E. (2020). Water body detection analysis using NDWI indices derived from landsat-8 OLI. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1759–1769. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>
- Prieto-Amparan, J. A., Villarreal-Guerrero, F., Martinez-Salvador, M., Manjarrez-Domínguez, C., Santellano-Estrada, E., & Pinedo-Alvarez, A. (2018). Atmospheric and radiometric correction algorithms for the multitemporal assessment of grasslands productivity. *Remote Sensing*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020219>
- Pujilestari, E. (2017). Aplikasi Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Tingkat Perubahan Kerapatan Vegetasi Di Taman Nasional Gunung Merbabu. *JURNAL GEOGRAFI*, 12(1), 63–70.
- Putri, R. A., & Supriatna, S. (2021). Land cover change modeling to identify critical land in the Ciletuh Geopark tourism area, Palabuhanratu, Sukabumi Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012081>
- Raimundo Lopes, N. D., Li, T., Qian, D., Matomela, N., & Sá, R. M. (2022). Predicting future coastal land use/cover change and associated sea-level impact on habitat quality in the Northwestern Coastline of Guinea-Bissau. *Ocean and Coastal Management*, 224(January), 116804. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106181>

- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 08(04), 611–622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
- Salakory, M., & Rakuasa, H. (2022). Modeling of Cellular Automata Markov Chain for Predicting the Carrying Capacity of Ambon City. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 12(2), 372–387. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.372-387>
- Sanz, G. (2015). Thesis Proposal: Demand Modelling and Calibration for Hydraulic Network Models `cnica de Catalunya Universitat Polit e Doctoral Programme: Doctoral Thesis Proposal: HYDRAULIC NETWORK MODELS Gerard Sanz Estap ´ c Puig. *Conference: 15th International Computing & Control for the Water Industry Conference*.
- Sen, S., Sugiarto, D., & Rochman, A. (2020). Prediksi Harga Beras Menggunakan Metode Multilayer Perceptron (MLP) dan Long Short Term Memory (LSTM). *Ultimatics : Jurnal Teknik Informatika*, 12(1), 35–41. <https://doi.org/10.31937/ti.v12i1.1572>
- Setyawan, F. (2021). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.22>
- Sugiarto, B. (2018). *Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Akibat Dampak Pembangunan Jembatan Suramadu Di Kabupaten Bangkalan*. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/51370>
- Suliztia, M. L., & Fauzan, A. (2019). Comparing Naive Bayes, K-Nearest Neighbor, and Neural Network Classification Methods of Seat Load Factor in Lombok Outbound Flights. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 16(2), 187. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v16i2.7864>
- Toure, S., Diop, O., Kpalma, K., & Maiga, A. S. (2019). Shoreline detection using optical remote sensing: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi8020075>
- Tu, Y. H., Phinn, S., Johansen, K., & Robson, A. (2018). Assessing radiometric correction approaches for multi-spectral UAS imagery for horticultural applications. *Remote Sensing*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/rs10111684>
- Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process, second edition. In *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>
- USGS. (2022). *Landsat — Earth Observation Satellites*. August, 2013–2016.

- Wantoro, A., Verdian, A., Rusliyawati, R., & Utami, Y. T. (2023). Penerapan Logika Fuzzy Dengan Fis Mamdani Untuk Kontrol Volume Televisi. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 4(1), 38–48. <https://doi.org/10.33365/jtikom.v4i1.2693>
- Xu, N. (2018). Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/atmos9030107>
- Yang, Y., Tang, J., Luo, H., & Law, R. (2015). Hotel location evaluation: A combination of machine learning tools and web GIS. *International Journal of Hospitality Management*, 47, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2015.02.008>
- Yazalia, J. M., Johan, H., & Wardana, R. W. (2020). Analysis of Abrasion in Coastal Areas of North Bengkulu Beach as Learning Material for Disaster Mitigation. *Bencoolen Journal of Science Education and Technology*, 1(2), 55–60. <https://doi.org/10.33369/bjset.1.2.55-60>
- Yusuf, D., & Rijal, S. A. S. (2019). Buku Ajar Penginderaan Jauh Program Studi Pendidikan Geografi. In *Program Studi Pendidikan Geografi*.