

**PEMETAAN SEBARAN TERUMBU KARANG DI PERAIRAN
PULAU KALIMANTUNG GADANG MENGGUNAKAN CITRA
CITRA SATELIT DENGAN ALGORITMA LYZENGA DAN
OPTIMISASI *ADAPTIVE MOMENT ESTIMATION***

SKRIPSI

SYAVIRA NUR KHAIRANI

201402087



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA**

MEDAN

2025

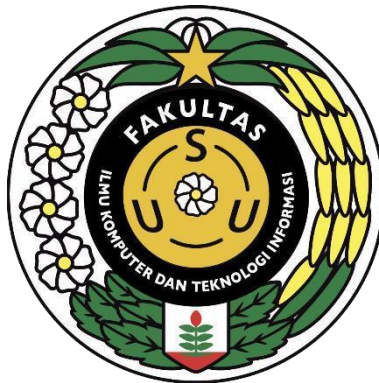
**PEMETAAN SEBARAN TERUMBU KARANG DI PERAIRAN PULAU
KALIMANTUNG GADANG MENGGUNAKAN CITRA SATELIT DENGAN
ALGORITMA LYZENGA DAN OPTIMISASI *ADAPTIVE MOMENT*
*ESTIMATION***

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat memperoleh ijazah Sarjana
Teknologi Informasi

SYAVIRA NUR KHAIRANI

201402087



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

PERSETUJUAN

Judul : PEMETAAN SEBARAN TERUMBU KARANG
DI PERAIRAN PULAU KALIMANTUNG
GADANG MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
DENGAN ALGORITMA LYZENG DAN
OPTIMISASI ADAPTIVE MOMENT
ESTIMATION

Kategori : SKRIPSI

Nama : SYAVIRA NUR KHAIRANI

Nomor Induk Mahasiswa : 201402087

Program Studi : SARJANA (S1) TEKNOLOGI INFORMASI

Fakultas : ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI
INFORMASI UNIVERSITAS SUMATERA
UTARA

Medan, 10 Januari 2025

Komisi Pembimbing :

Pembimbing 2

Pembimbing 1

Umayya Ramadhani Putri Nasution S.TI., M.Kom.
NIP. 199104112024062001

Dedy Arisandi S.T., M.Kom.
NIP. 197908312009121002

Diketahui/disetujui oleh

Program Studi S1 Teknologi Informasi

Ketua,

Dedy Arisandi S.T., M.Kom.
NIP. 197908312009121002

PERNYATAAN

PEMETAAN SEBARAN TERUMBU KARANG DI PERAIRAN PULAU
KALIMANTUNG GADANG MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
DENGAN ALGORITMA LYZENGA DAN OPTIMISASI
ADAPTIVE MOMENT ESTIMATION

SKRIPSI

Saya mengakui bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing telah disebutkan sumbernya.

Medan, 10 Januari 2025

Syavira Nur Khairani
201402087

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pemetaan Sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Kalimantan Gadang Menggunakan Citra Satelit dengan Algoritma Lyzenga dan Optimisasi Adaptive Moment Estimation.”** Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Sall Allahu alayhi wasalam beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Komputer pada Program Studi S1 Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Sumatera Utara. Dalam proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan, namun berkat bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, tantangan tersebut berhasil teratasi.

Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada semua pihak yang telah membantu hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

1. Kepada kedua orang tua penulis, Ayah Syapril Koto dan Mama Adek Vianty Siregar, serta adik-adik penulis, Muhammad Adril Bolkiah dan Syalsabila Nur Azzahra yang senantiasa memberikan dukungan, doa, serta kehangatan tiada henti, yang telah membantu penulis untuk tetap kuat hingga sampai pada tahap penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dedy Arisandi S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing I saya yang telah memberi bimbingan, dukungan, motivasi, serta kritik dan saran yang mendukung, yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Umayya Ramadhani Putri Nasution S.TI., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II saya yang juga telah membimbing, memotivasi, dan memberi kritik serta saran untuk penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Ivan Jaya S.Si., M.Kom. selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.

5. Ibu Dr. Maya Silvi Lydia, B.Sc., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fasilkom-TI USU yang telah memberikan ilmu baik di kelas perkuliahan maupun kegiatan akademik lainnya.
7. Seluruh staff Fasilkom-TI USU yang telah membantu dalam segala urusan administrasi selama masa perkuliahan.
8. Sahabat dari masa kecil saya, 'Papa N The Kids', Angel, Bebi, Dhila, Erick, Rizka, Ronald, Yudha, yang telah menemani penulis dari masa SD hingga kini dan selalu berbagi semangat dan menghibur di kala duka kepada penulis hingga penyelesaian skripsi ini terwujud.
9. Kepada 'duokapel', Atha dan Dhila, dan juga Yeftha dan Kevin Tulus yang telah banyak rela memberi bantuan dan saran yang mendukung kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
10. Sahabat 'jomjommanjalita', Syara dan Nurul yang telah menemani penulis dari SMP hingga kini dan telah memberi dukungan mental yang cukup banyak untuk penulis dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini.
11. Teman-teman 'harem', Arbani, Irwansyah, Teruna, Rere, Fildzah, Ali, dan Geby yang selalu memberikan hiburan dan semangat selama masa perkuliahan. Kepada Dara Fadilah, Manda, dan Stephani yang turut serta memberikan dukungan kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
12. Teman-teman 'wegelik', Monica, Jane, Rere, Pretty, dan Fildzah, dan juga Vicky, Arief, Atikah, Betsyeda yang sudah menemani penulis dari masa mahasiswa baru hingga penghujung perkuliahan ini.
13. Teman-teman seperjuangan Teknologi Informasi Angkatan 2020 terutama Kom C.
14. Teman-teman 'spy', Bertrand, Roy, dan Yola yang banyak menemani penulis di masa pengerjaan skripsi ini. Dan tidak lupa untuk abang DBIR yang telah memberikan pelayanan luar biasa selama saya mengerjakan skripsi disana.
15. Sepupu-sepupu terdekat penulis, Kak Tia, Irsyal, Akbar, Wewe, dan Lala, yang selalu memberikan semangat tiada henti kepada penulis.
16. Aux gens que j'aime, *mon bijou*, Rifqi Alnahwandi Putra, yang telah menemani semua masa suka duka, memberi semangat dan dukungan yang tiada henti, dan juga hiburan yang tiada usai untuk penulis. Selain keluarga, ia memiliki peran

besar untuk penulis, tanpanya sepertinya penulis tidak akan bisa melewati semua hal yang terjadi di ujung perkuliahan ini.

17. Seluruh keluarga dan teman-teman lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang juga turut serta memberi doa, dukungan, dan semangat kepada penulis hingga berhasil menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih.

Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala memberikan balasan yang berlipat ganda kepada setiap orang yang telah membantu dalam penulisan dan penyelesaian tugas akhir ini.

Medan, 10 Januari 2025

Penulis,

Syavira Nur Khairani

201402087

ABSTRAK

Pulau Kalimantanung Gadang, yang terletak di Kabupaten Tapanuli Tengah, memiliki ekologi terumbu karang yang kaya dan beragam. Namun, ekosistem ini menghadapi tekanan akibat berbagai aktivitas manusia, seperti polusi dan penggunaan dinamit dalam penangkapan ikan, yang mengancam keberlanjutan terumbu karang di wilayah tersebut. Pemanfaatan citra satelit menjadi salah satu pendekatan inovatif untuk memetakan distribusi dan kondisi terumbu karang secara efektif. Dengan jangkauan yang luas, resolusi tinggi, serta kemampuan integrasi dengan teknologi, citra satelit memberikan peluang untuk melakukan analisis mendalam yang mendukung upaya konservasi ekosistem. Metode penelitian yang digunakan adalah algoritma Lyzenga, optimisasi *Adaptive Moment Estimation*, dan model *Support Vector Machine* yang dapat mengatasi variasi spektral pada data citra satelit. Data yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2A yang mencakup Band 1, Band 2, Band 3, Band 4, dan Band 8. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini mencakup 212 *multipoints*. Data ini kemudian dibagi menjadi data train sebanyak 70%, data test sebanyak 20%, dan data validasi sebanyak 10%. Model *Support Vector Machine* dilatih dan dievaluasi untuk mengklasifikasikan daerah perairan: pasir, terumbu karang, vegetasi, dan laut. Hasil akhir menunjukkan bahwa model *Support Vector Machine* memiliki akurasi keseluruhan mencapai 92%.

Kata kunci : pemetaan sebaran, terumbu karang, citra satelit, Sentinel-2A, lyzenga, *Support Vector Machine*

*MAPPING THE DISTRIBUTION OF CORAL REEFS IN WATERS KALIMANTUNG
GADANG ISLAND USES SATELLITE IMAGERY WITH LYZENGA ALGORITHM
AND ADAPTIVE MOMENT ESTIMATION OPTIMIZATION*

ABSTRACT

Kalimantung Gadang Island, located in Central Tapanuli Regency, boasts a rich and diverse coral reef ecosystem. However, this ecosystem is under pressure due to various human activities, such as pollution and the use of dynamite for fishing, which threaten the sustainability of coral reefs in the area. The use of satellite imagery is one of the innovative approaches to map the distribution and condition of coral reefs effectively. With its wide range, high resolution, and integration capabilities with technology, satellite imagery provides an opportunity to conduct in-depth analysis that supports ecosystem conservation efforts. The research methods used are the Lyzenga algorithm, Adaptive Moment Estimation optimization, and the Support Vector Machine model that can overcome spectral variations in satellite image data. The data used is Sentinel-2A satellite imagery which includes Band 1, Band 2, Band 3, Band 4, and Band 8. The dataset used in this study includes 212 multipoints. This data is then divided into 70% train data, 20% test data, and 10% validation data. The Support Vector Machine model is trained and evaluated to classify aquatic areas: sand, coral reefs, vegetation, and the sea. The Support Vector Machine model has an overall accuracy of 92%, according to the final results.

Keywords: *distribution mapping, coral reefs, satellite imagery, Sentinel-2A, lyzenga, Support Vector Machine*

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR PSEUDOCODE	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Pemetaan Sebaran	7
2.2 Citra Satelit	8
2.3 Terumbu Karang.....	9
2.3.1 Jenis-jenis Terumbu Karang.....	10
2.3.2 Kerusakan Terumbu Karang	13
2.4 Pasir	14
2.5 Daratan	15
2.6 Laut	16
2.7 Algoritma Lyzenga.....	16
2.8 Optimisasi ADAM (<i>Adaptive Moment Estimation</i>).....	18
2.9 Support Vector Machine (SVM)	18
2.10 Confusion Matrix	20
2.11 Penelitian Terdahulu.....	21
BAB 3 ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM.....	26
3.1 Dataset.....	26

3.2 Analisis Sistem.....	27
3.3 Data Acquisition.....	28
3.4 Preprocessing Data.....	28
3.4.1 Filtering.....	28
3.4.2 <i>Cloud Masking, Filtering Date, dan Filtering Band</i>	29
3.5 Koreksi Permukaan	31
3.6 Perhitungan <i>Depth Invariance Index</i>	32
3.7 Pengumpulan dan <i>Sampling Data</i>	33
3.8 Klasifikasi dengan <i>Support Vector Machine (SVM)</i>	34
3.9 Learned Model	36
3.10 Pemetaan Sebaran Terumbu Karang	36
3.11 Evaluasi	37
3.12 Perancangan Sistem	37
3.12.1 Desain Tampilan Halaman Depan.....	37
3.12.2 Desain Tampilan Halaman Info Sebaran	38
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	39
4.1 Implementasi Sistem.....	39
4.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak.....	39
4.1.2 Implementasi Perancangan Antarmuka	39
4.2 Implementasi Model	41
4.2.1 Hasil Pelatihan Model.....	41
4.2.2 Hasil Pengujian Model.....	43
4.3 Analisis Hasil	45
4.3.1 Analisis Hasil Area Pasir.....	45
4.3.2 Analisis Hasil Area Terumbu Karang.....	46
4.3.3 Analisis Hasil Area Vegetasi	47
4.3.4 Analisis Hasil Area Laut	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	22
Tabel 3. 1 Jumlah Data Sampel.....	34
Tabel 4. 1 Hasil <i>Confusion Matrix</i>	41
Tabel 4. 2 Nilai TP, TN, FP, dan FN	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Tampilan Citra Satelit.....	8
Gambar 2. 2 Terumbu Karang di Indonesia	10
Gambar 3. 1 Arsitektur Umum.....	27
Gambar 3. 2 <i>Activity Diagram</i> Alur Kerja <i>Website</i>	28
Gambar 3. 4 Titik sampel.....	34
Gambar 3. 5 Desain Tampilan Halaman Depan.....	37
Gambar 3. 6 Desain Tampilan Halaman Info Sebaran.....	38
Gambar 4. 1 Tampilan Halaman Depan.....	40
Gambar 4. 2 Tampilan Halaman Info Sebaran.....	40
Gambar 4. 3 Hasil Pemetaan Sebaran Terumbu Karang.....	44
Gambar 4. 4 Hasil Peta Area Pasir	45
Gambar 4. 5 Hasil Peta Area Terumbu Karang.....	46
Gambar 4. 6 Hasil Peta Area Vegetasi	47
Gambar 4. 7 Hasil Peta Area Laut.....	48

DAFTAR PSEUDOCODE

Pseudocode 3. 1 <i>Filtering</i>	29
Pseudocode 3. 2 <i>Cloud masking</i>	30
Pseudocode 3. 3 <i>Filtering date dan band</i>	31
Pseudocode 3. 4 Koreksi Permukaan	32
Pseudocode 3. 5 Penentuan Koefisien Kedalaman	32
Pseudocode 3. 6 Perhitungan Indeks Kedalaman	33
Pseudocode 3. 7 <i>Support Vector Machine</i>	35

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lebih dari 17.500 pulau membentuk kepulauan Indonesia, yang membentang dari Sabang sampai Merauke. Indonesia adalah negara maritim, dengan lebih dari 70% wilayahnya adalah perairan. Terumbu karang, lingkungan bawah laut yang kompleks dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, merupakan salah satu kekayaan alam Indonesia. Keanekaragaman hayati yang tinggi menjadikannya habitat vital bagi berbagai biota laut dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat di sekitarnya (Eddy et al., 2018). Perpaduan suhu air yang hangat dan paparan sinar matahari yang optimal di perairan Indonesia menciptakan rumah ideal bagi terumbu karang untuk berkembang dan mewarnai lautan dengan keindahannya (Fadli et al., 2013; Saptarini et al., 2017). Kekayaan biologis dari terumbu karang di Indonesia adalah yang paling beragam di dunia, dengan sekitar 590 jenis karang keras (Veron, 2002), serta sejumlah spesies karang yang hanya ditemukan di wilayah ini (Rudi et al., 2009). Indonesia merupakan rumah bagi sekitar 95% spesies karang yang diakui oleh *Coral Triangle Center* (Veron et al., 2009). Burke et al., (2012) menyatakan bahwa daerah ini, yang sering disebut sebagai “*Amazon of the Sea*”, memiliki 75% dari semua spesies karang yang diketahui dan lebih dari 30% dari total luas terumbu karang dunia. Namun, kini ada bahaya terhadap sumber daya yang berharga ini. Lebih dari 85% terumbu karang di Indonesia terancam karena polusi, pembangunan pesisir, penangkapan ikan berlebihan, dan penggunaan metode penangkapan ikan yang berbahaya.

Rusaknya ekosistem terumbu karang juga ditemukan di perairan Pulau Kalimantan Gadang, Kabupaten Tapanuli Tengah seperti yang dijelaskan oleh pihak Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Utara selaku pihak konservasi

terumbu karang wilayah Sumatera Utara. Aktivitas manusia adalah sumber utama kerusakan ekosistem terumbu karang di wilayah ini, sebagaimana dibuktikan oleh fakta bahwa terumbu karang tertentu telah hancur total dan sekarang berserakan di dasar laut. Ditemukan juga bahwa beberapa terumbu karang telah memutih. Selain itu, salah satu hal yang merusak terumbu karang adalah penggunaan bom ikan untuk menangkap ikan di perairan Pulau Kalimantan Gadang.

Salah satu elemen multimedia yang sangat penting untuk menyediakan informasi visual adalah citra (Syarifuddin, 2006). Gambar-gambar dari benda-benda yang berada di dan dekat dengan permukaan bumi yang ditangkap oleh satelit yang mengorbit ratusan kilometer di atas permukaan bumi dikenal sebagai citra satelit. Citra satelit memiliki beragam kegunaan yang penting dalam berbagai bidang, termasuk pemetaan lingkungan, pemantauan perubahan iklim, pemantauan bencana alam, pertanian, pengelolaan sumber daya alam, serta penelitian ilmiah. Dengan kemampuannya untuk memberikan informasi visual tentang permukaan bumi dari ketinggian, citra satelit memungkinkan analisis yang mendalam tentang kondisi dan dinamika lingkungan global secara luas dan efisien, serta membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam berbagai konteks (Erkamim et al., 2023).

Penggunaan citra satelit dalam pemetaan sebaran terumbu karang memiliki beberapa keunggulan yang signifikan. Citra satelit memberikan cakupan yang luas, resolusi spasial dan temporal yang baik, serta aksesibilitas yang mudah, memungkinkan para peneliti dan pengambil keputusan untuk memantau kondisi terumbu karang secara efisien dan akurat. Dengan integrasi teknologi analisis seperti sistem informasi geografis dan pengolahan citra digital, citra satelit memungkinkan pemetaan yang mendalam tentang kondisi terumbu karang serta pemantauan perubahan lingkungan laut dari waktu ke waktu. Ini membantu dalam perencanaan konservasi, pengelolaan sumber daya laut yang lebih efektif, dan perencanaan pemulihan terumbu karang untuk melindungi dan memelihara keberlanjutan terumbu karang Indonesia.

Penelitian terkait yang sudah dilakukan sebelumnya dilakukan oleh (Fuad et al., 2022) dengan judul *Pemetaan Terumbu Karang dengan Citra Satelit Sentinel-2 dan Analisis Kondisi Karang di Kawasan Pantai Pasir Putih, Situbondo Jawa Timur*. Penelitian ini memetakan dan mengidentifikasi kondisi terumbu karang di Kawasan

Pantai Pasir Putih Situbondo, Jawa Timur dengan menggunakan citra satelit Sentinel 2 dan survei lapangan. Hasil akurasi peta yang dihasilkan sebesar 72,2%.

Pemetaan Sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Kelapan, Kabupaten Bangka Selatan merupakan judul penelitian lain yang dilakukan oleh Amrillah, Khoirul, et al., (2019). berdasarkan data satelit Sentinel 2A. Penelitian ini memetakan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kelapan, menilai luasan terumbu karang di perairan dangkal pulau tersebut, dan mengevaluasi kondisi terumbu karang (persentase tutupan, indeks mortalitas, dan keanekaragaman jenis) berdasarkan data penyelaman di lapangan, digunakan citra satelit Sentinel-2A yang dipadukan dengan teknik pengolahan citra. 84% dari hasil gambar digital dengan inspeksi lapangan lulus uji akurasi.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Azka (2019) dengan judul *Analisa Luasan Terumbu Karang Berdasarkan Pengolahan Data Citra Satelit Landsat 8 Menggunakan Algoritma Lyzenga*. Algoritma Lyzenga dan citra satelit Landsat 8 digunakan dalam penelitian ini untuk menghilangkan ketidakakuratan yang berhubungan dengan kedalaman dalam identifikasi spektrum habitat. Berdasarkan hasil penelitian, tingkat akurasi peta untuk Pulau Karimunjawa dan Kemujang adalah 72,23%, sedangkan tingkat akurasi peta untuk Pulau Menjangan Besar dan Menjangan Kecil adalah 77,78%.

Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pemetaan Sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Kalimantan Gadang Menggunakan Citra Satelit dengan Algoritma *Lyzenga* dan Optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*).”

1.2 Rumusan Masalah

Aktivitas penangkapan yang berlebihan dan penggunaan teknik penangkapan yang merusak telah mengancam luas terumbu karang di Pulau Kalimantan Gadang, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Selain itu, *survei* manual yang umumnya dilakukan oleh pihak konservasi memiliki keterbatasan dalam mencakup variasi spasial yang lebih luas, sehingga kurang optimal dan membutuhkan banyak biaya. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemetaan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kalimantan Gadang yang juga merupakan daerah konservasi terumbu karang, guna mengidentifikasi lokasi terumbu karang.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan memetakan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kalimantan Gadang menggunakan citra satelit dan algoritma *Lyzenga* dan optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*).

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan untuk memastikan bahwa penelitian ini tetap sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, yaitu sebagai berikut:

1. Daerah penelitian dilakukan di wilayah perairan Pulau Kalimantan Gadang yang terletak di Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara.
2. Kelas pemetaan sejumlah 4 yaitu, terumbu karang, pasir, darat, dan laut.
3. Keluaran yang dihasilkan berupa gambar peta dengan pemetaan sebaran terumbu karang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah:

1. Diharapkan bahwa temuan penelitian ini akan membantu pelestarian terumbu karang.
2. Mengetahui performa *lyzenga* dan optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*) dalam melakukan pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan citra satelit.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sumber rujukan dalam pengembangan pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan citra satelit dengan menggunakan algoritma *Lyzenga* dan optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*).

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam menjalankan penelitian, terdapat tahapan-tahapan yang dilakukan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Di dalam tahap ini, penulis mencari dan mengumpulkan informasi melalui publikasi penelitian sampai pakar ahli mengenai pemetaan sebaran terumbu karang, penggunaan citra satelit, algoritma *Lyzenga*, dan optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*).

2. Analisis Permasalahan

Dari informasi yang telah dikumpulkan, penulis melakukan analisis guna memahami konsep penggunaan algoritma *lyzenga* dan optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*) dalam penelitian untuk memetakan sebaran terumbu karang dengan citra satelit.

3. Perancangan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem mulai dari perancangan arsitektur umum, pengumpulan data, sampai dengan pembuatan model.

4. Implementasi Sistem

Perancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya akan diimplementasikan agar menciptakan sebuah sistem yang selaras dengan tujuan penelitian.

5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan sistem pemetaan sebaran terumbu karang yang dikembangkan dan digunakan dapat bekerja dengan baik dan memberikan hasil.

6. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, peneliti akan melakukan penyusunan laporan serta dokumentasi dari hasil penelitian yang dilakukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan skripsi ini terdiri dari beberapa bagian yaitu:

BAB 1: PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, serta metodologi dan sistematika penulisan.

BAB 2: LANDASAN TEORI

Landasan teori dalam bab ini mencakup teori-teori yang diterapkan untuk memahami permasalahan yang muncul selama penelitian. Pada bab ini juga akan dimuat penjelasan mengenai pemetaan sebaran, citra satelit, terumbu karang, pasir, daratan, laut, metode dan cara kerja algoritma *Lyzenga* serta optimisasi *Adaptive Moment Estimation*. Setelah itu penelitian terdahulu yang dijadikan referensi dalam penelitian juga turut disertakan sebagai referensi ataupun rujukan dalam melakukan penelitian.

BAB 3: ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini mencakup analisis terhadap masalah yang diangkat dan sistem yang dikembangkan untuk memetakan sebaran terumbu karang di perairan Kalimantan Gadang dengan penerapan algoritma Lyzenga dan optimisasi *Adaptive Moment Estimation*. Di dalamnya dijelaskan langkah-langkah penyelesaian masalah serta pembahasan mengenai arsitektur umum sistem yang digunakan.

BAB 4: IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan implementasi dan pengujian sistem pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan citra satelit di perairan Kalimantan Gadang menggunakan algoritma Lyzenga dan optimisasi *Adaptive Moment Estimation*. Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana analisis serta desain yang telah dirancang sebelumnya diimplementasikan, diikuti dengan pemaparan hasil akhir sistem dan evaluasi yang dilakukan terhadap sistem tersebut.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian ini. Bab ini menampilkan temuan-temuan yang diperoleh dari pembahasan di bab-bab sebelumnya. Untuk memberikan arah penelitian di masa depan, bab ini juga mencakup rekomendasi untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pemetaan Sebaran

Pemetaan adalah proses penggabungan sejumlah wilayah yang dikaitkan dengan berbagai ciri fisik wilayah, seperti gunung, dataran tinggi, sumber daya, dan calon penduduk yang berdampak pada aspek sosial budaya yang memiliki karakteristik unik dengan menggunakan skala yang sesuai (Munir, 2012). Pemetaan sebaran adalah proses visualisasi dan analisis data untuk menunjukkan distribusi suatu fenomena atau variabel tertentu dalam ruang geografis atau bidang lainnya. Pemetaan melibatkan penggunaan berbagai alat dan teknik untuk menggambarkan bagaimana suatu fenomena tersebar di suatu area, baik secara fisik (seperti pada peta geografis) atau konseptual (seperti grafik atau diagram). Pemetaan sebaran memainkan peran penting dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk geografi, ekologi, epidemiologi, ilmu sosial, dan analisis bibliometrik, karena membantu dalam identifikasi pola-pola distribusi, analisis tren, dan pengambilan keputusan berbasis data.

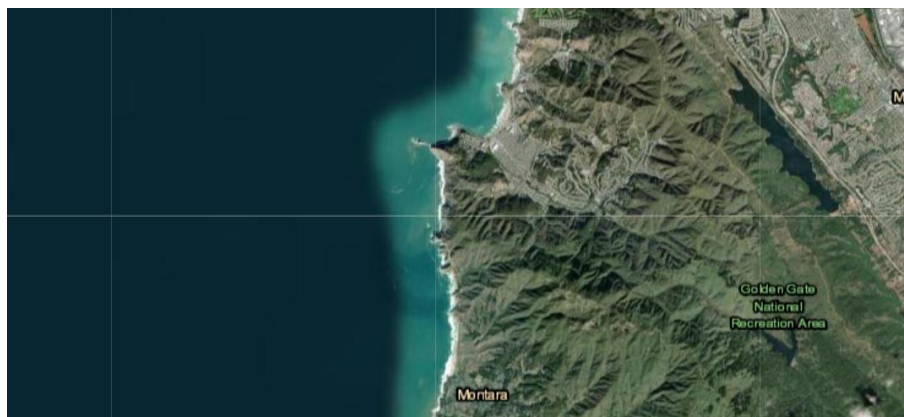
Dalam pemetaan sebaran, data yang dimiliki dapat diwakili dalam bentuk peta yang menunjukkan letak atau distribusi geografis dari informasi yang ingin disajikan. Hal ini memungkinkan identifikasi pola atau tren tertentu yang akan dikaburkan oleh data tabular atau statistik standar. Pemetaan sebaran membantu dalam pengambilan keputusan dengan memberikan informasi yang lebih komprehensif dan intuitif bagi pemangku kepentingan. Misalnya, pemerintah dapat menggunakan pemetaan sebaran untuk merencanakan pembangunan infrastruktur berdasarkan kebutuhan di setiap wilayah, atau perusahaan dapat mengidentifikasi area pasar potensial berdasarkan distribusi konsumen mereka.

Pemetaan sebaran terumbu karang merupakan langkah krusial dalam upaya pengelolaan sumber daya laut secara berkelanjutan. Secara teoritis, proses

pemetaan ini berlandaskan pada konsep ekologi spasial yang menyoroti pentingnya memahami distribusi geografis organisme dan keterkaitannya dengan faktor lingkungan. Pada terumbu karang, distribusi ini dipengaruhi oleh faktor fisik seperti kedalaman, suhu, salinitas, dan kejernihan air, serta faktor biologis seperti interaksi antarspesies (Pangaribuan et al, 2013). Selain itu, teknologi sistem informasi geografi (GIS) memainkan peran penting dalam menghasilkan peta tematik yang presisi dan mudah dipahami. Pendekatan ini menggabungkan data survei lapangan dengan analisis spasial untuk menggambarkan pola distribusi, mengidentifikasi perubahan kondisi, dan menentukan area prioritas untuk konservasi. Oleh karena itu, pemetaan sebaran terumbu karang berfungsi tidak hanya sebagai alat penelitian, tetapi juga sebagai pijakan dalam merumuskan kebijakan dan strategi pelestarian ekosistem laut.

2.2 Citra Satelit

Citra satelit adalah objek-objek yang beroperasi ratusan kilometer di atas permukaan bumi menangkap foto-foto objek di dalam dan di dekat permukaan planet ini. Citra satelit memiliki beragam kegunaan yang penting dalam berbagai bidang, termasuk pemetaan lingkungan, pemantauan perubahan iklim, pemantauan bencana alam, pertanian, pengelolaan sumber daya alam, serta penelitian ilmiah. Dengan kemampuannya untuk memberikan informasi visual tentang permukaan bumi dari ketinggian, citra satelit memungkinkan analisis yang mendalam tentang kondisi dan dinamika lingkungan global secara luas dan efisien, serta membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam berbagai konteks (Erkamim et al., 2023). Gambar 2.1 menunjukkan tampilan citra satelit dari suatu wilayah pesisir, lautan, dan daratan dengan topografi yang beragam.



Gambar 2. 1 Contoh Tampilan Citra Satelit (USGS Earth Explorer)

Penelitian ini akan menggunakan citra satelit Sentinel-2A sebagai sumber citra satelit. Citra satelit Sentinel-2A merupakan salah satu jenis data penginderaan jauh yang dikembangkan oleh program Copernicus dari *European Space Agency* (ESA). Satelit ini mulai beroperasi sejak peluncurannya pada tahun 2015 dan dirancang untuk menyediakan data optik berkualitas tinggi guna mendukung berbagai kebutuhan, seperti pemantauan wilayah, sektor pertanian, kehutanan, lingkungan, hingga penanggulangan bencana (Kawamuna et al., 2017). Sentinel-2A dilengkapi dengan instrumen *MultiSpectral Instrument* (MSI) yang mampu merekam informasi pada 13 saluran spektral, termasuk saluran di rentang cahaya biru dan hijau yang sangat sensitif terhadap kondisi perairan dangkal, seperti habitat terumbu karang, dengan resolusi spasial yang bervariasi antara 10 meter hingga 60 meter yang memungkinkan untuk mengidentifikasi dan memetakan sebaran terumbu karang. Citra Sentinel-2A memiliki keunggulan berupa cakupan spektral yang luas, frekuensi kunjungan ulang yang tinggi (sekitar setiap 5 hari), serta akses data yang tersedia secara gratis melalui platform daring. Dengan berbagai keunggulan tersebut, Sentinel-2A menjadi sumber data yang terpercaya untuk mendukung penelitian di bidang analisis perubahan lahan, pemetaan vegetasi, pengelolaan sumber daya alam, dan pemantauan kondisi lingkungan. Dengan memanfaatkan spesifikasi tersebut, pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan citra Sentinel-2A dapat memberikan informasi yang akurat dalam pemantauan, konservasi, dan manajemen terumbu karang.

2.3 Terumbu Karang

Terumbu karang adalah struktur geologis yang terbentuk dari kerangka kalsium karbonat yang dihasilkan oleh koloni karang (*Cnidaria*, *Anthozoa*) yang hidup di lingkungan perairan laut. Proses pembentukan terumbu karang disebut dengan proses biolitik (*biogenic process*), di mana karang membangun kerangka kalsium karbonatnya dari endapan kalsium karbonat yang berasal dari binatang karang yang mati. Gambar 2.2 menunjukkan contoh dari terumbu karang yang ada di Indonesia.



Gambar 2. 2 Terumbu Karang di Indonesia (medium.com)

Menurut kebijakan satu peta yang diamanatkan oleh UU No. 4 tahun 2011, perkiraan total luas terumbu karang Indonesia adalah 2,5 juta hektar (Giyanto et al., 2017). Indonesia merupakan habitat bagi sekitar dua pertiga jenis karang yang ada di dunia, sehingga dikenal sebagai bagian dari segitiga karang dunia. Keanekaragaman karang di Indonesia tersebar dalam 14 *ecoregion* dari total 141 *ecoregion* karang di dunia, dengan jumlah jenis karang yang berkisar antara 300 hingga lebih dari 500. Diperkirakan Indonesia memiliki 569 spesies karang keras (*ordo Scleractinia*), yang menyumbang hampir 67% dari 845 spesies karang yang ditemukan di seluruh dunia.

2.3.1 Jenis-jenis Terumbu Karang

Secara umum, terumbu karang dapat dikategorikan menurut karakteristik fisik, lokasi, zonasi, dan kemampuannya untuk menghasilkan kapur.

1. Berdasarkan Kemampuan Produksi Kapur

Senyawa kapur dapat diproduksi oleh terumbu karang, sementara spesies tertentu tidak mampu melakukannya. Karakteristik ini memungkinkan terumbu karang dibagi menjadi dua kelompok utama:

- Hermafistik (karang keras): Terumbu karang hermafistik adalah yang memiliki kemampuan untuk membuat senyawa kapur. Terumbu ini menjalin hubungan simbiosis mutualisme dengan *zooxanthellae*, yaitu alga mikroskopis yang hidup di dalam jaringan karang. *Zooxanthellae* berfungsi dalam proses fotosintesis, menghasilkan oksigen dan senyawa organik yang menjadi sumber energi bagi karang. Sebagai balasannya, terumbu karang menyediakan fosfat, nitrat, karbon dioksida, serta lingkungan yang mendukung bagi pertumbuhan *zooxanthellae*. Proses ini juga menghasilkan zat kapur (kalsium karbonat) sebagai produk

sampingan, yang merupakan komponen utama dalam pembentukan struktur terumbu karang.

- Ahermafistik (karang lunak): Istilah "terumbu karang ahermafrodit" mengacu pada terumbu karang yang tidak menghasilkan senyawa kapur. Terumbu karang ini terletak di garis pantai yang menerima banyak sinar matahari.

2. Berdasarkan Bentuk

Berdasarkan bentuknya, jenis-jenis terumbu karang dikategorikan menjadi:

- Karang (*Coral*): yang berkontribusi pada produksi batu kapur, dan merupakan salah satu pengelompokan biota laut yang tergabung dalam ordo *Scleractinia*.
- Terumbu (*Reef*): mengacu pada endapan batuan kapur, jenis ini juga dikenal sebagai batu gamping. Endapan ini terbentuk dari kalsium karbonat dan dikenal sebagai punggung laut di pantai.
- Karang Terumbu: termasuk dalam kategori karang ahermatifik, jenis ini tidak memproduksi kapur.
- Terumbu Karang: Frasa ini menggambarkan ekosistem yang terdiri dari ganggang dan biota yang menghasilkan kapur, serta interaksinya dengan berbagai jenis plankton dan nekton, di antara spesies laut lainnya.

3. Berdasarkan Letak

- Terumbu Karang Tepi (*Fringing Reefs*): Terumbu karang tepi adalah jenis terumbu karang yang paling umum di Indonesia. Berbeda dengan terumbu penghalang, terumbu karang jenis ini tidak memiliki laguna, yaitu badan air yang sering ditemukan di antara terumbu karang dan pantai. Kurangnya laguna meningkatkan kerentanan terumbu karang terhadap aktivitas manusia, seperti dampak puing-puing plastik yang tertinggal di sepanjang garis pantai dan paparan logam berat dari pembuangan limbah. Situasi ini meningkatkan risiko kerusakan pada ekosistem terumbu karang tepi.
- Terumbu Karang Cincin (*Atolls*): Terumbu karang cincin, yang sering disebut sebagai atol, adalah formasi karang yang membentuk lingkaran besar mirip pulau. Struktur ini biasanya mengelilingi laguna di tengahnya, menciptakan ekosistem yang unik dan kaya akan keanekaragaman hayati. Jenis terumbu ini umumnya banyak ditemukan di wilayah Samudra Atlantik, tetapi juga dapat ditemukan di kawasan lain yang memiliki kondisi perairan yang mendukung pertumbuhan karang.

- Terumbu Karang Penghalang (*Barrier*): Terumbu ini tumbuh agak jauh dari garis pantai, membentuk laguna di antara terumbu dan daratan. Umumnya, terumbu karang penghalang terletak pada jarak sekitar 0,5 hingga 1 kilometer dari pantai dan dapat ditemukan di kedalaman hingga 75 meter. Salah satu contoh terumbu karang penghalang yang paling terkenal di dunia adalah *Great Barrier Reef* yang terletak di pesisir timur Australia. Di Indonesia, terumbu karang penghalang juga dapat ditemukan di beberapa lokasi, seperti Pulau Batuan Tengah, Spermonde, dan Kepulauan Banggai.

4. Berdasarkan Zonasi

Berdasarkan zonasinya, jenis ini dibedakan menjadi 2, yaitu:

- *Windward Reef*: Terumbu ini terletak di sisi yang menghadap arah datangnya angin dan ombak, dimulai dengan lereng yang curam menuju laut lepas. Zona ini biasanya didominasi oleh karang ahermatipik, yang memiliki ketergantungan yang lebih rendah terhadap sinar matahari dibandingkan dengan karang hermatipik. Lereng ini kemudian berlanjut ke rata-rata terumbu yang lebih dangkal, yang menjadi habitat bagi berbagai jenis biota laut.
- *Leeward Reef*: terumbu ini terletak di sisi yang membelakangi arah angin. Terumbu karang belakang angin biasanya memiliki area yang lebih sempit, tetapi laguna yang terbentuk cenderung lebih luas. Namun, kondisi ini kurang mendukung pertumbuhan karang karena tingginya tingkat sedimentasi yang dapat menghambat proses fotosintesis dan menyebabkan stres pada karang.

Selain jenis karang tersebut, terdapat jenis karang yang lain, yaitu:

- *Microatoll*: merupakan koloni karang yang berbentuk lempengan dan berkembang secara lateral (ke samping) daripada secara vertikal (ke atas). Jenis karang ini memiliki kesamaan dengan karang cincin, sehingga sering disebut sebagai microatoll atau cincin kecil.
- Karang Datar (*patch reefs*): jenis karang ini umumnya tumbuh di area laguna.
- *Seamount* atau *Guyot*: jenis ini terbentuk ketika karang di sekitar gunung vulkanik terangkat ke permukaan air akibat aktivitas vulkanik.
- *Cays*: Karang ini terdiri dari puing-puing yang menumpuk di atas terumbu karang yang membentuk pulau itu. Seperti pulau di Maladewa, pulau-pulainya biasa berukuran kecil.

2.3.2 Kerusakan Terumbu Karang

Menurut penelitian yang dilakukan oleh LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) pada tahun 2019, dari total 1.153 terumbu karang di Indonesia, sekitar 390 terumbu karang (33,82%) dikategorikan dalam kondisi buruk, 431 terumbu karang (37,38%) dalam kondisi cukup, 258 terumbu karang (22,38%) dalam kondisi baik, dan 74 terumbu karang (6,42%) dalam kondisi sangat baik. Selama periode 1993 hingga 2019, secara keseluruhan, sekitar $30,85 \pm 0,29\%$ terumbu karang memiliki tutupan karang lebih dari 50% (terumbu karang baik dan sangat baik) dengan kondisi yang relatif stabil, meskipun terdapat fluktuasi naik dan turun pada kategori terumbu karang baik dan sangat baik dalam lima tahun terakhir. Sebaliknya, $69,15 \pm 0,29\%$ terumbu karang memiliki tutupan karang kurang dari 50% (terumbu karang kurang baik dan cukup) dengan tren yang bervariasi.

Perubahan iklim dan faktor antropogenik menjadi penyebab utama kerusakan terumbu karang. Peningkatan suhu laut menyebabkan pemutihan massal yang membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk pulih. Dampaknya semakin parah ketika faktor stres antropogenik juga terjadi, seperti penangkapan ikan dengan bahan peledak, polusi, kegiatan pertambangan, dan limpasan daratan akibat perubahan penggunaan lahan. Meskipun terumbu karang dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan, intensitas dan kompleksitas stresor yang tinggi dapat menyebabkan keruntuhan terumbu karang. Sebagai contoh, ketika terumbu karang mengalami stres kronis yang mendekati ambang batas, tambahan stres kronis atau akut dapat mengakibatkan kegagalan dalam pemulihan dan keberlangsungan hidup terumbu karang (Hadi et al., 2020).

Aktivitas manusia adalah komponen lain yang berkontribusi terhadap kerusakan terumbu karang, selain perubahan iklim dan pengaruh manusia. Berdasarkan informasi dari Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Sumatera Utara, perairan di sekitar Pulau Kalimantan Gadang, yang berada di Kabupaten Tapanuli Tengah, mengalami tingkat kerusakan terumbu karang yang signifikan. Salah satu penyebab utama kerusakan terumbu karang adalah penggunaan bom ikan dalam penangkapan ikan. Praktik ilegal ini tidak hanya membunuh ikan secara massal tetapi juga menghancurkan struktur fisik terumbu karang. Ledakan bom menyebabkan patahnya cabang-cabang karang dan mengubah habitat yang seharusnya menjadi tempat berlindung dan berkembang biak berbagai spesies laut. Akibatnya, ekosistem terumbu

karang mengalami degradasi signifikan, mengurangi keanekaragaman hayati dan merusak keseimbangan ekologi laut. Pemulihan terumbu karang yang rusak akibat bom ikan membutuhkan waktu yang sangat lama, sering kali hingga beberapa dekade, mengingat laju pertumbuhan karang yang lambat dan kompleksitas proses rehabilitasi ekosistem ini.

2.4 Pasir

Pasir adalah material granular yang terdiri dari partikel batuan dan mineral yang telah terfragmentasi menjadi butiran halus. Ukuran butiran pasir lebih kecil dibandingkan dengan kerikil, tetapi lebih besar daripada lanau (Tate III, 2005). Pada penelitian ini, penulis perlu untuk mengidentifikasi pasir laut dari citra satelit.

Menurut Janušaitė et al., (2021), mengidentifikasi pasir laut dari citra satelit memerlukan pemahaman tentang karakteristik visual dan spektral pasir serta lingkungan sekitarnya. Berikut adalah beberapa ciri-ciri pasir laut yang dapat dikenali dari citra satelit:

1. Warna dan Reflektansi Tinggi

Pasir laut umumnya memiliki warna yang terang, seperti putih, kuning, atau abu-abu muda, yang membuatnya memiliki reflektansi tinggi. Hal ini membuat pasir laut tampak lebih cerah pada citra satelit dibandingkan dengan vegetasi atau air.

2. Lokasi Geografis

Biasanya, pasir laut dapat ditemukan di dekat pantai, di daerah pesisir, dan di pulau-pulau kecil. Identifikasi geografis ini dapat membantu dalam mengenali pasir laut.

3. Kontur Pantai

Citra satelit dapat memperlihatkan bentuk dan kontur garis pantai di mana pasir laut terendapkan. Pasir laut sering membentuk garis pantai yang halus dan kontinu.

4. Perbedaan Spektral

Pasir laut dapat diidentifikasi menggunakan band spektral tertentu dari citra satelit. Misalnya, band biru dan hijau sering digunakan karena pasir laut memiliki pantulan yang tinggi di band ini.

5. Pola Gelombang dan Pasir

Pada citra satelit, pola gelombang di pantai yang membentuk zona pasir dan bukit pasir dapat diidentifikasi, menunjukkan adanya pasir laut.

2.5 Daratan

Dikutip dari *National Geographic*, daratan adalah bagian dari permukaan bumi yang berada di atas permukaan air dan terdiri dari tanah. Ada banyak jenis daratan, termasuk lembah, dataran pantai, dataran tinggi, dataran rendah, dan pegunungan. yang bersama-sama membentuk benua dan pulau. Selain itu, daratan berfungsi sebagai habitat bagi manusia, hewan, dan tumbuhan.

Menurut Lillesand & Kiefer (2015), ada beberapa karakteristik dari daratan jika dilihat dari citra satelit, antara lain:

1. Warna dan Tekstur

- Hijau: Menunjukkan area vegetasi, seperti hutan, ladang, dan padang rumput.
- Coklat atau kuning: Menandakan area tandus, gurun, atau tanah yang terbuka.
- Putih: Biasanya menunjukkan area bersalju atau gletser.

2. Bentuk dan Pola

- Garis-garis lurus atau beraturan: Menunjukkan area yang telah diubah oleh manusia, seperti jalan, ladang pertanian, atau bangunan.
- Bentuk alami yang tidak beraturan: Seperti pegunungan, sungai, dan pantai.

3. Bayangan dan Relief

- Bayangan gelap: Menunjukkan elevasi atau ketinggian yang berbeda, seperti pegunungan atau lembah.
- Kontur halus atau datar: Menunjukkan dataran rendah atau dataran tinggi yang relatif rata.

4. Keberadaan Air

- Tepi daratan: Dapat diidentifikasi dengan adanya garis pantai yang memisahkan daratan dengan perairan.
- Sungai dan danau: Terlihat sebagai garis atau area berwarna biru atau hitam yang mengikuti aliran atau bentuk perairan.

2.6 Laut

Menurut Harold V. Thurman dalam buku "*Essentials of Oceanography*," laut adalah badan air asin yang besar dan luas yang sebagian atau seluruhnya dikelilingi oleh daratan. Laut merupakan bagian integral dari sistem samudra global dan memiliki fungsi penting dalam mengatur iklim bumi, mendukung kehidupan laut, dan menyediakan jalur transportasi serta sumber daya alam bagi manusia.

Citra satelit menyediakan data penting tentang karakteristik laut. Warna dan tekstur air merupakan indikator utama, dengan air berwarna gelap menunjukkan perairan dalam, sedangkan air berwarna muda atau hijau menunjukkan perairan dangkal atau area yang memiliki banyak fitoplankton atau sedimen. Garis pantai yang tidak beraturan menunjukkan pantai alami, sedangkan garis yang beraturan menunjukkan pelabuhan. Pulau terlihat seperti area daratan kecil yang dikelilingi air, sementara formasi dan struktur seperti terumbu karang di perairan dangkal dikenal sebagai formasi terang. Pola arus laut dan gelombang juga dapat diidentifikasi, di mana arus permukaan mungkin menunjukkan pola pergerakan sedimen atau organisme mikro, dan gelombang yang memecah di pantai terlihat sebagai garis-garis putih. Fenomena khusus seperti *upwelling*, di mana air dingin yang kaya nutrisi naik ke permukaan, serta bunga alga yang muncul sebagai bercak berwarna di permukaan air, juga dapat dideteksi (Lillesand & Kiefer, 2015).

2.7 Algoritma Lyzenga

Algoritma Lyzenga adalah metode yang digunakan untuk memetakan batimetri atau kedalaman perairan dengan menggunakan data citra satelit multispektral. Algoritma ini dirancang untuk mengoreksi efek hamburan dan penyerapan cahaya oleh air, sehingga memungkinkan estimasi kedalaman perairan dari citra satelit. Algoritma ini dikembangkan oleh David R. Lyzenga, seorang peneliti di bidang penginderaan jauh, pada tahun 1978. Penelitian Lyzenga yang berjudul "*Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data*" dipublikasikan dalam jurnal *Remote Sensing of Environment*. Dalam penelitian ini, Lyzenga menyajikan metode yang menggunakan informasi dari satelit Sentinel-2A untuk memperkirakan kedalaman air di laut dangkal. Pendekatan Lyzenga, yang juga disebut sebagai metode koreksi kolom air atau metode indeks invarian kedalaman, mencoba untuk menghilangkan kesalahan yang disebabkan oleh

faktor kedalaman dalam identifikasi spektral habitat. Maritorena (1996) mengklaim bahwa pendekatan ini menghasilkan indeks dasar yang tidak bergantung pada kedalaman dan bekerja sangat baik di lokasi dengan perairan dangkal yang jernih, seperti habitat terumbu karang. Rumus koreksi yang digunakan adalah:

$$X_{ij} = l_n(\text{nilai piksel laut dangkal} - \text{rerata laut dalam}) \quad (2.1)$$

di mana X_{ij} adalah nilai reflektansi yang telah dikoreksi, dan **rerata laut dalam** adalah *baseline* reflektansi dari area laut dalam. Proses ini dilakukan untuk setiap band spektral yang digunakan (B1, B2, B3, dan B4), dan hasilnya disimpan dengan nama baru: X1, X2, X3, dan X4.

Selanjutnya adalah menentukan koefisien kedalaman (k_{ij}), yang dihitung dengan menggunakan regresi linier di area pasir. Koefisien k_{ij} dihitung berdasarkan rasio atenuasi antar band spektral, dengan rumus:

$$k_{ij} = \frac{\text{Cov}(X_i, X_j)}{\text{Var}(X_j)} \quad (2.2)$$

di mana $\text{Cov}(X_i, X_j)$ adalah kovariansi antara reflektansi band i dan j , sedangkan $\text{Var}(X_j)$ adalah variansi reflektansi pada band j . Hasil regresi linier ini menghasilkan koefisien k_{ij} , yang digunakan dalam perhitungan indeks kedalaman.

Penulis memilih Algoritma Lyzenga karena algoritma ini telah banyak digunakan dalam berbagai studi pemetaan habitat karang menggunakan beragam data satelit (Arief, 2013; Lyons, Phinn, & Roelfsema, 2011; Setiawan, Marini, & Winarso, 2015). Algoritma ini dapat menghasilkan estimasi kedalaman yang akurat di perairan dangkal, tempat banyak terumbu karang berada, dengan mengoreksi efek hamburan dan penyerapan cahaya oleh air. Algoritma ini juga menggunakan data multispektral, terutama band biru dan hijau yang memiliki penetrasi lebih baik di dalam air, memungkinkan deteksi dan pemetaan terumbu karang yang lebih baik. Algoritma Lyzenga dapat dikalibrasi menggunakan data kedalaman yang diketahui dari survei lapangan, yang meningkatkan akurasi dan kepercayaan hasil pemetaan. Selain itu, metode ini lebih hemat biaya dibandingkan survei batimetri tradisional, mampu mencakup area yang lebih luas dengan lebih cepat, dan dapat memantau perubahan ekosistem terumbu karang dari waktu ke waktu. Terakhir, algoritma ini mampu menangani kompleksitas lingkungan perairan, termasuk variasi optik air dan kondisi dasar laut, yang sering menjadi tantangan dalam pemetaan terumbu karang. Dengan

demikian, berbagai keunggulan ini menjadikan algoritma ini sangat relevan dan efektif dalam konteks pemetaan sebaran terumbu karang.

2.8 Optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*)

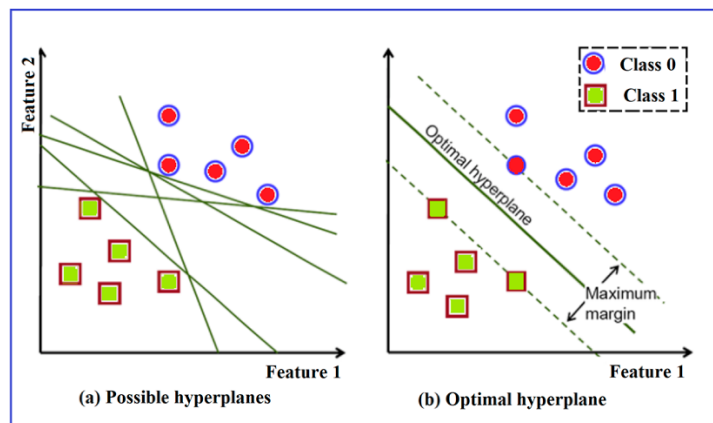
Proses optimasi yang dikenal sebagai *Adaptive Moment Estimation* (ADAM) mempertimbangkan sejumlah faktor, seperti bobot dan bias, untuk meminimalkan fungsi kerugian ($E(x)$). Metode penurunan gradien dioptimalkan dengan penggunaan ADAM. Untuk memperbarui bobot dan bias secara efisien, metode ini dapat memperkirakan momen gradien pertama dan kedua dan menghitung tingkat pembelajaran adaptif untuk setiap bobot dalam jaringan saraf (Kingma dan Ba, 2015).

Manfaat ADAM adalah metode komputasinya yang mudah dan efektif, seperti gradien orde pertama untuk pengoptimalan stokastik yang membutuhkan lebih sedikit memori. Karena ADAM dapat secara mandiri menentukan tingkat pembelajaran untuk parameter yang berbeda berdasarkan estimasi momen orde pertama dan kedua, sangat disarankan untuk menggunakannya dalam masalah pembelajaran mesin yang membutuhkan ruang parameter dimensi tinggi dan kumpulan data besar (Kingma & Ba, 2015). ADAM menggabungkan adaptasi kecepatan dan momentum dalam proses optimisasi, yang dapat membantu dalam mempercepat konvergensi analisis data citra satelit untuk pemetaan terumbu karang. Ini dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk memproses data, meskipun ini lebih terkait dengan efisiensi komputasi daripada pemahaman atau interpretasi lingkungan laut. Dengan mempertimbangkan keunggulan ini dan mengintegrasikannya dengan Algoritma Lyzenga, dapat diharapkan peningkatan signifikan dalam akurasi pemetaan sebaran terumbu karang, yang pada gilirannya mendukung upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem karang.

2.9 Support Vector Machine (SVM)

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam proses penambahan data untuk klasifikasi adalah *Support Vector Machine* (SVM). Sebagai bagian dari pembelajaran terawasi (*supervised learning*), SVM mengidentifikasi pola dari dataset berdasarkan data pelatihan yang tersedia. Pola klasifikasi yang berhasil diidentifikasi melalui algoritma tertentu kemudian digunakan untuk memprediksi objek yang kelas atau labelnya belum diketahui. Menemukan *hyperplane* atau batas keputusan yang

membedakan satu kelas dari yang lain adalah bagaimana klasifikasi dilakukan (Han & Kamber, 2006). *Hyperplane* adalah batas keputusan dalam ruang dimensi tinggi yang memisahkan data ke dalam kelas yang berbeda, misalnya antara area dengan keberadaan terumbu karang dan area tanpa terumbu karang. Pada data dua dimensi, *hyperplane* berbentuk garis lurus, sementara pada data dengan dimensi yang lebih tinggi, *hyperplane* berbentuk bidang atau lebih kompleks. Dalam SVM, *hyperplane* dipilih untuk memaksimalkan margin, yaitu jarak antara data terdekat dari masing-masing kelas ke *hyperplane* tersebut. Data terdekat ini disebut sebagai *support vectors*, yang berperan penting dalam menentukan posisi *hyperplane*. Adapun cara kerja algoritma SVM ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Ilustrasi *Support Vector Machine* (mdpi.com)

Untuk menangani data yang tidak dapat dipisahkan secara linier, SVM menggunakan fungsi kernel untuk memetakan data ke ruang dimensi yang lebih tinggi, sehingga data menjadi lebih mudah dipisahkan oleh *hyperplane*. Fungsi kernel ini memungkinkan SVM untuk bekerja secara fleksibel dengan pola data yang kompleks tanpa memerlukan transformasi eksplisit, melalui trik kernel. Beberapa jenis kernel yang umum digunakan adalah kernel linear, yang cocok untuk data yang terpisah secara linier; kernel radial basis function (RBF), yang sangat fleksibel untuk data dengan distribusi non-linier; kernel polinomial, yang menggunakan fungsi polinomial untuk memetakan data berdasarkan derajat tertentu; dan kernel sigmoid, yang sering digunakan untuk menangani data dengan pola tertentu yang menyerupai fungsi logistik. Pemilihan kernel yang tepat sangat penting untuk keberhasilan klasifikasi, karena kernel yang sesuai dapat secara efektif menangkap pola-pola unik dalam dataset.

Dalam pemetaan sebaran terumbu karang, dimungkinkan untuk menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM) untuk memeriksa data dari penginderaan jauh, seperti citra satelit, yang memberikan informasi spektral mengenai kondisi lingkungan dan karakteristik fisik terumbu karang. Dengan memanfaatkan fitur spektral yang relevan, SVM mampu mengklasifikasikan area terumbu karang ke dalam berbagai kategori, termasuk kesehatan ekosistem, jenis terumbu, dan dampak lingkungan yang mungkin terjadi. Selain itu, SVM memiliki kemampuan untuk mengelola data yang kompleks dan berukuran besar, menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi dalam bidang ekologi maritim, di mana variasi kondisi lingkungan dapat memengaruhi distribusi dan kesehatan terumbu karang. Penggunaan SVM dalam pemetaan terumbu karang dapat membantu meningkatkan ketepatan mengidentifikasi dan melacak perubahan ekosistem, yang penting untuk inisiatif konservasi dan pengelolaan yang melibatkan sumber daya laut (Mehta, et al, 2007).

2.10 Confusion Matrix

Kinerja model klasifikasi dapat dievaluasi menggunakan *confusion matrix*. Pemeriksaan yang lebih menyeluruh tentang presisi dan kemanjuran model dalam klasifikasi data dimungkinkan oleh penyajian statistik alat tentang proporsi prediksi akurat dan tidak akurat yang dihasilkan oleh model. Dalam konteks pemetaan sebaran terumbu karang, *confusion matrix* berperan penting dalam mengevaluasi akurasi klasifikasi area terumbu karang yang didasarkan pada data penginderaan jauh. *Confusion matrix* terdiri dari empat komponen utama:

1. True Positives (TP) : jumlah kasus positif yang benar-benar teridentifikasi sebagai positif oleh model.
2. True Negatives (TN) : jumlah kasus negatif yang benar-benar teridentifikasi sebagai negatif oleh model.
3. False Positives (FP) : jumlah kasus negatif yang salah teridentifikasi sebagai positif oleh model (juga dikenal sebagai *Type I error*).
4. False Negatives (FN) : jumlah kasus positif yang salah teridentifikasi sebagai negatif oleh model (juga dikenal sebagai *Type II error*).

Confusion matrix sangat berguna dalam menganalisis kinerja model pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan citra satelit. Model seperti *Support Vector Machine* dapat digunakan untuk mengklasifikasikan wilayah perairan seperti pasir,

laut, vegetasi, dan terumbu karang. Dengan menggunakan confusion matrix, kita dapat mengukur seberapa baik model tersebut dalam mengidentifikasi sebaran terumbu karang. Penggunaan *confusion matrix* dalam penelitian semacam ini memungkinkan untuk evaluasi yang lebih mendalam dan peningkatan akurasi model melalui teknik-teknik seperti augmentasi data dan tuning parameter (Mishra et al., 2022). Dari matriks ini, berbagai metrik kinerja model dapat dihitung, seperti *precision*, *recall*, *F1-score*, dan akurasi:

$$Precision = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives} \quad (2.3)$$

$$Recall = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Negatives} \quad (2.4)$$

$$F1_{ham} = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (2.5)$$

$$Accuracy = \frac{True\ Positives + True\ Negatives}{Total\ Population} \quad (2.6)$$

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Fuad et al., (2022) berjudul *Pemetaan Terumbu Karang dengan Citra Satelit Sentinel-2 dan Analisis Kondisi Karang di Kawasan Pantai Pasir Putih, Situbondo, Jawa Timur*, bertujuan untuk memetakan dan mengidentifikasi kondisi terumbu karang di kawasan Pantai Pasir Putih, Situbondo, Jawa Timur, dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-2 serta survei lapangan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi peta yang dihasilkan tergolong rendah, yaitu sebesar 72,2%.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Amrillah, et al., (2019) dengan judul *Pemetaan Sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Kelapan, Kabupaten Bangka Selatan Berdasarkan Data Satelit Sentinel 2A*. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sentinel-2A, yang kemudian diolah untuk membuat peta sebaran terumbu karang di perairan sekitar Pulau Kelapan. Penelitian ini juga menganalisis luasan terumbu karang di perairan dangkal Pulau Kelapan dan kondisi terumbu karang, termasuk persentase tutupan, indeks mortalitas, dan keanekaragaman jenis, berdasarkan data yang diperoleh dari penyelaman di lapangan. Hasil uji akurasi citra digital yang dibandingkan dengan verifikasi lapangan menunjukkan akurasi sebesar 84%.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Maulana, et al., (2018) dengan judul *Pemetaan Sebaran Terumbu Karang Menggunakan Citra Satelit SPOT-6 di Perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu Jakarta*. Citra satelit yang digunakan adalah citra satelit SPOT-6 dan menggunakan purposive sampling technique. Hasil uji akurasi hasil citra digital yang didapat cukup rendah, yakni sebesar 70.00%.

Azka (2019) melakukan penelitian dengan judul *Analisa Luasan Terumbu Karang Berdasarkan Pengolahan Data Citra Satelit Landsat 8 Menggunakan Algoritma Lyzenga*. Penelitian ini memanfaatkan citra satelit Landsat 8 dan menerapkan algoritma Lyzenga untuk mengurangi kesalahan dalam identifikasi spektral habitat yang disebabkan oleh faktor kedalaman. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat akurasi peta yang dihasilkan mencapai 77,78% untuk Pulau Menjangan Besar dan Menjangan Kecil, sedangkan untuk Pulau Karimunjawa dan Kemujang, tingkat akurasinya adalah 72,23%.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Metode	Keterangan
1	M. Arif Zainul Fuad, <i>et al</i>	2022	<i>Depth Invariant Index (DII)</i>	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan survei lapangan dan data satelit Sentinel-2 untuk memetakan dan menilai kesehatan terumbu karang di wilayah Pantai Pasir Putih Situbondo, Jawa Timur. Menurut temuan analisis, akurasi peta akhir adalah 72,2%.
2	Khoirul Amrillah, Wahyu Adi, dan Kurniawan	2019	<i>Algoritma Lyzenga</i>	Dalam rangka memetakan sebaran terumbu karang di perairan Pulau Kedelapan, menganalisis luas terumbu karang di perairan dangkal pulau, dan menilai kondisi terumbu karang (persentase tutupan, indeks kematian, dan keanekaragaman

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Penulis	Tahun	Metode	Keterangan
				genus) berdasarkan analisis data penyelaman di lapangan, penelitian ini menggunakan citra satelit sentinel-2A dengan metode pengolahan citra. Nilai akurasi sebesar 84% diperoleh dari uji akurasi hasil gambar digital dengan inspeksi lapangan.
3	Yonas Ramadhan Maulana, Supriharyono, dan Sigit Febrianto	2021	<i>Purposive Sampling Technique</i>	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi terumbu karang di kawasan perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu, Jakarta dan menggunakan citra satelit SPOT-6 dan menggunakan <i>purposive sampling technique</i> . Hasil uji akurasi hasil citra digital adalah 70.00%.
4	Suryono, <i>et al</i>	2022	<i>Sistem Informasi Geografis (SIG)</i>	Penelitian ini mengkaji perubahan di kawasan terumbu karang Pulau Panjang, Jepara, menggunakan citra satelit Landsat 7 dan 8. Selain itu, karya ini mengekstrak data tutupan terumbu karang dari gambar multi-temporal yang dikoreksi secara geometris dan radiometrik menggunakan pendekatan GIS dengan klasifikasi multispektral semaksimal mungkin.
5	Laila Azka	Martina 2019	<i>Algoritma Lyzenga</i>	Algoritma Lyzenga dan citra satelit Landsat 8 digunakan dalam

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Penulis	Tahun	Metode	Keterangan
				pekerjaan ini untuk menghilangkan kesalahan identifikasi spektral habitat terkait kedalaman. Menurut temuan penelitian, data pengolahan citra memiliki tingkat akurasi peta sebesar 77,28% untuk Kepulauan Menjangan Besar dan Menjangan Kecil dan 72,23% untuk Kepulauan Karimunjawa dan Kemujang.
6	Zainul Hidayah dan Nike Ika Nuzula	2019	<i>Algoritma Lyzenga</i>	Penelitian ini mengoreksi kolom air menggunakan metode Lyzenga dan citra satelit Landsat 7. Menurut temuan pengolahan gambar, luas substrat terumbu karang adalah 10.478.032 Ha. Terumbu karang Selat Madura umumnya dalam kondisi sedang hingga rusak.
7	Ridha Alamsyah, Uspar, Armita Permatasari, dan Nurfadillah	2019	<i>Algoritma Lyzenga</i>	Penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8 dan algoritma Lyzenga untuk mengetahui sebaran dan luasan karang pada kawasan Pulau Larearea. Hasil penelitian menunjukkan persentase karang hidup di Pulau Lareare sebesar 47,54%, karang mati 35,19%, pasir 17,27%, dan luasan karang hidup sebesar 59,59 Ha.

Penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dibandingkan penelitian sebelumnya, di antaranya adalah penggunaan citra satelit yang secara khusus mencakup wilayah perairan Pulau Kalimantan Gadang, Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Selain itu, penelitian ini akan mengklasifikasikan citra menjadi empat kategori utama: daratan, pasir, laut, dan terumbu karang. Untuk meningkatkan akurasi dalam memetakan distribusi terumbu karang, penelitian ini juga akan mengintegrasikan metode optimisasi ADAM (*Adaptive Moment Estimation*) serta memanfaatkan API *Google Earth Engine* untuk menampilkan hasil pemetaan secara interaktif bagi pengguna.

BAB 3

ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

3.1 Dataset

Penelitian ini menggunakan dataset yang mencakup citra satelit yang diperoleh melalui platform *Google Earth Engine* (GEE). Data yang diambil meliputi citra multispektral dari Sentinel-2A, yang memiliki resolusi spasial dan spektral yang sesuai untuk pemetaan sebaran terumbu karang. Pemilihan daerah untuk citra yang diambil adalah Pulau Kalimantan Gadang, yang terletak di Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Data yang digunakan untuk pelatihan adalah data tahun 2022. Data yang dipilih memiliki tingkat persentase awan sebesar 18%.

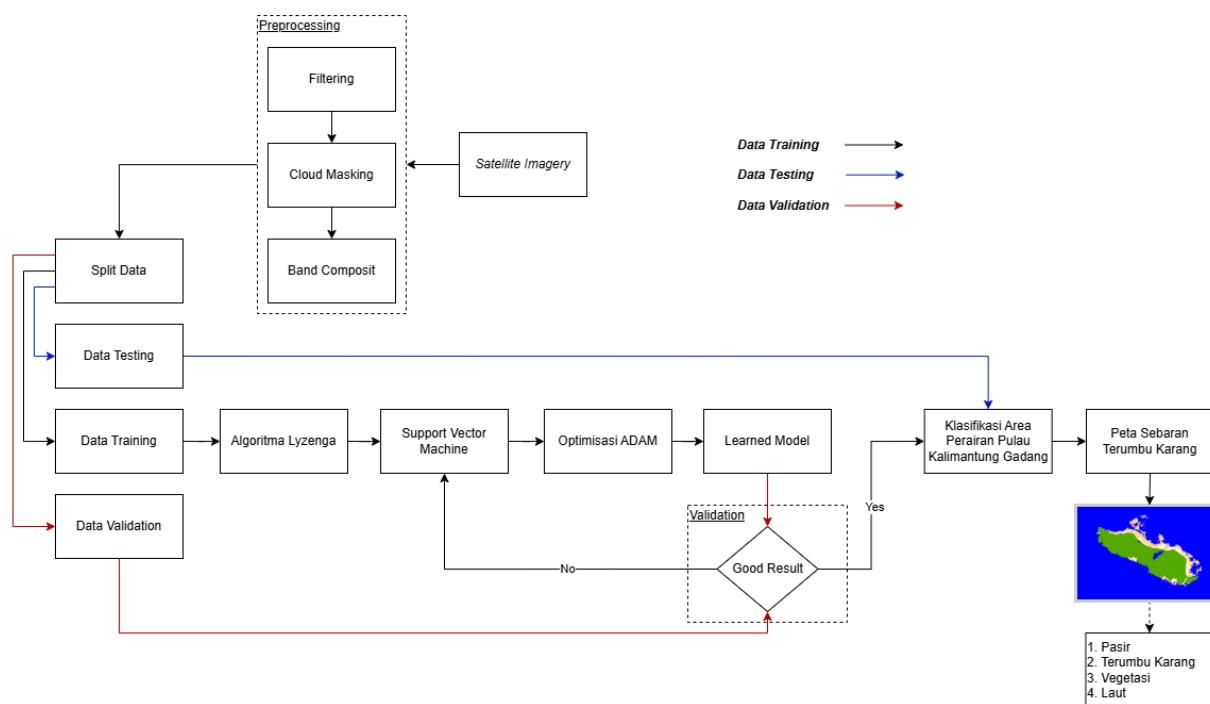
Citra yang digunakan mengambil 5 *band* dari 12 *band* yang dimiliki citra satelit Sentinel-2A, yaitu Band 1 (*Coastal/Aerosol*), Band 2 (*Blue*), Band 3 (*Green*), Band 4 (*Red*), dan Band 8 (*Near Infrared*). Penggunaan Band 1, 2, 3, 4, dan 8 dari Sentinel-2A untuk pemetaan sebaran terumbu karang didasarkan pada karakteristik spektral setiap band dan sensitivitasnya terhadap elemen-elemen yang berkaitan dengan lingkungan laut dangkal.

Pemilihan *training points* dalam pemetaan sebaran terumbu karang didasarkan pada prinsip representativitas, keakuratan, dan distribusi spasial yang mencerminkan kondisi lapangan secara keseluruhan. Titik pelatihan dipilih berdasarkan lokasi yang mampu merepresentasikan variasi spektral dari objek yang teridentifikasi, seperti terumbu karang, atau vegetasi laut lainnya, dalam citra satelit atau data penginderaan jauh. Selain ini, distribusi titik harus merata di area penelitian untuk mencakup seluruh variasi yang mungkin ada, sehingga model klasifikasi atau analisis yang dihasilkan dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Prinsip ini sangat penting untuk menghindari bias dan meningkatkan validitas hasil pemetaan

Titik pelatihan yang telah ditentukan memuat 212 label berbentuk *multipoint*. Data tersebut terdiri dari 45 pts pada area pasir, 68 pts pada area terumbu karang, 39 pts pada area vegetasi, dan 60 pts pada area laut. Seiring dengan penggunaan data citra satelit selama satu tahun, jumlah total data yang digunakan dalam analisis ini mencapai 2,120 data.

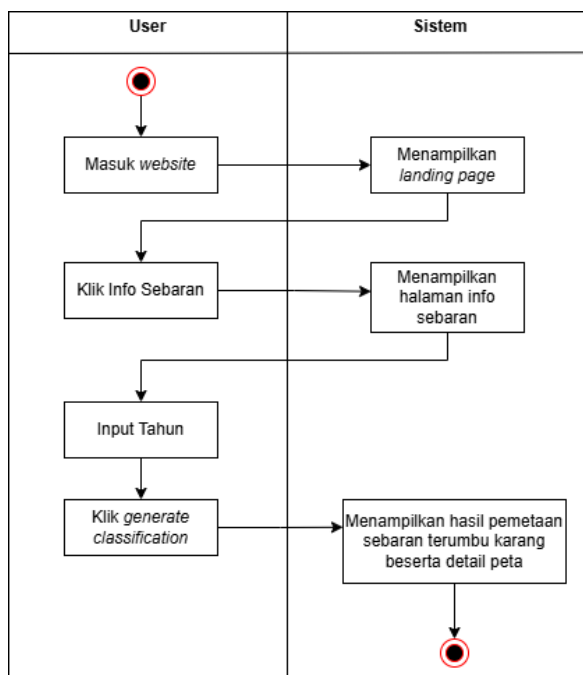
3.2 Analisis Sistem

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan, Gambar 3.1 menunjukkan arsitektur umum dari penelitian ini. Data citra satelit yang diambil dari data satelit Sentinel-2A akan masuk ke tahap *pre-processing*, lalu dibagi menjadi data *train*, data *testing*, dan data *validation*.



Gambar 3. 1 Arsitektur Umum

Adapun *activity diagram* digunakan untuk menggambarkan alur kerja dalam *website* yang menampilkan pemetaan sebaran terumbu karang, mulai dari interaksi pengguna hingga proses pemrosesan data di balik layar. Diagram ini mencakup urutan aktivitas seperti input dari pengguna, pengambilan data peta, pengolahan informasi terumbu karang, hingga penyajian visualisasi peta kepada pengguna. Penggunaan *activity diagram* ditunjukkan pada Gambar 3.2 membantu memastikan setiap proses dirancang dengan efisien dan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 3. 2 Activity Diagram Alur Kerja Website

3.3 Data Acquisition

Pada tahap awal, dilakukan pengambilan data berupa gambar citra satelit. Data terdiri dari gambar citra satelit yang terdiri dari 4 klasifikasi yang akan dilakukan. Dataset tersebut nantinya akan melewati tahap *preprocessing* dan dibagi menjadi *data training*, *testing*, dan *validation*.

3.4 Preprocessing Data

Tahap selanjutnya yang dilakukan setelah mengakuisisi data adalah melakukan pemrosesan awal pada dataset agar mendapat hasil yang baik nantinya. Pada tahap ini, data satelit akan melewati proses *filtering* (*date*, *AOI*), *cloud masking*, dan *band composit*.

3.4.1 Filtering

Filtering pada citra satelit bertujuan untuk mengurangi *noise* guna meningkatkan kualitas citra. Setelah itu, data akan disesuaikan dengan rentang waktu yang diinginkan dan *Area of Interest* (*AOI*) yang merupakan area spesifik dalam penelitian ini. Proses *filtering* terakhir adalah pemotongan citra. Pemotongan citra dilakukan untuk membatasi daerah penelitian sehingga lebih fokus pada objek yang diteliti. Area yang dipilih pada penelitian ini adalah daerah perairan Pulau Kalimantan Gadang,

Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Hal ini dikarenakan peneliti tinggal di daerah sekitar pulau tersebut, dan memiliki relasi untuk mendapatkan data lapangan ke dinas pengelolaan setempat. Selain itu, peneliti dapat mengungkap potensi kerusakan atau ancaman lingkungan terumbu karang yang diakibatkan penangkapan ikan yang berlebihan secara efisien, untuk mempermudah pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan. Berikut pseudocode dari proses *Filtering* seperti *pseudocode 3.1*.

```

DEFINE VARIABLE coordinates_area:
  LIST of coordinates representing the vertices of a polygon:
    - [98.51164089569023, 1.562077441575094] # Point 1
    - [98.54708897003106, 1.562077441575094] # Point 2
    - [98.54708897003106, 1.5859293696145111] # Point 3
    - [98.51164089569023, 1.5859293696145111] # Point 4
    - [98.51164089569023, 1.562077441575094] # Return to
    Point 1 to close the polygon

CREATE a polygon geometry:
  DEFINE VARIABLE area:
    CONSTRUCT Geometry.Polygon using coordinates_area

```

Pseudocode 3. 1 Filtering

Adapun hasil dari implementasi proses *filtering* ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pada gambar ini, tampak dikelilingi oleh perairan dangkal berwarna kehijauan, yang menunjukkan adanya terumbu karang di sekitar pulau. Wilayah daratan pulau tersebut tertutup oleh vegetasi hijau yang lebat.



Gambar 3. 3 Implementasi Filtering

3.4.2 Cloud Masking, Filtering Date, dan Filtering Band

Tahap ini merupakan proses dalam pengolahan citra satelit di mana citra yang diambil dalam rentang waktu tertentu dipilih untuk analisis lebih lanjut. Tujuan utama tahap

ini adalah untuk memverifikasi bahwa data yang digunakan secara akurat mencerminkan periode waktu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan dan untuk menentukan apakah data tersebut sudah tersedia. *Cloud Masking* dilakukan bertujuan untuk memfilter piksel citra yang tertutupi oleh awan atau cirrus. Deteksi awan dilakukan dengan memanfaatkan bitmask pada band QA60, di mana bit ke-10 digunakan untuk mendeteksi awan, dan bit ke-11 untuk mendeteksi cirrus. Piksel yang terdeteksi sebagai awan atau cirrus akan dikeluarkan dari analisis. Selain itu, nilai reflektansi citra dinormalisasi dengan membaginya dengan 10.000, untuk mengubah skala nilai ke dalam rentang yang lebih kecil. Berikut pseudocode dari proses *cloud masking* seperti pada *pseudocode 3.2*.

```
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).and(
    qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000)
    .select("B.*")
    .copyProperties(image, ["system:time_start"]);
}
```

Pseudocode 3. 2 Cloud masking

Selanjutnya, pengumpulan koleksi citra Sentinel-2A dilakukan dengan mengakses koleksi data COPERNICUS/S2_SR pada platform *Google Earth Engine* untuk periode 1 Januari hingga 31 Desember 2022. Data ini kemudian difilter berdasarkan area penelitian dan hanya menyertakan citra dengan persentase awan kurang dari 18%, untuk memastikan kualitas citra yang lebih baik. Setelah itu, fungsi *maskS2clouds* diterapkan pada setiap citra dalam koleksi, diikuti dengan penggabungan citra menggunakan nilai median. Proses ini menghasilkan satu citra komposit yang mewakili karakteristik reflektansi median selama periode waktu yang ditentukan, dengan band spektral utama yang digunakan dalam analisis adalah Band 1 (*Coastal/Aerosol*), Band 2 (*Blue*), Band 3 (*Green*), Band 4 (*Red*), dan Band 8 (*Near Infrared*) dari citra Sentinel-2A. Berikut pseudocode dari proses *filtering date* dan *band* seperti pada *pseudocode 3.3*.

```

DEFINE VARIABLE sr2ACol:
  LOAD ImageCollection 'COPERNICUS/S2_SR'
  FILTER images by:
    - Date range: January 1, 2022, to December 31, 2022
    - Geographic bounds: area
    - Cloud coverage: less than 18%
  APPLY maskS2clouds function to each image in the collection
  COMPUTE median of the filtered and masked collection
  SELECT bands ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B8'] from the
  resulting collection
  ASSIGN the processed collection to sr2ACol

```

Pseudocode 3.3 Filtering date dan band

3.5 Koreksi Permukaan

Tahap koreksi permukaan ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh kedalaman air terhadap nilai reflektansi pada area penelitian. Langkah awal adalah menentukan rerata nilai reflektansi laut dalam dari area yang telah didefinisikan sebagai “laut dalam” (arealautdalam). Nilai rerata ini dihitung menggunakan fungsi reduksi dengan pendekatan rata-rata (mean) yang diterapkan pada piksel-piksel dalam area laut dalam menggunakan rumus koreksi. Hasil nilai rata-rata ini digunakan sebagai *baseline* atau referensi reflektansi untuk proses koreksi berikutnya. Selanjutnya, dilakukan koreksi reflektansi menggunakan pendekatan logaritmik untuk setiap band spektral yang relevan. Berikut pseudocode dari proses koreksi permukaan seperti pada *pseudocode* 3.4.

```

DEFINE VARIABLE extent:
  CONVERT arealautdalam to a Feature
DEFINE VARIABLE deepAve:
  CALCULATE mean value of pixels in image using:
    - Reducer: mean
    - Geometry: extent's geometry
    - Scale: 10 meters
    - Maximum pixels: 1e9
IMPLEMENT formula for  $X_i = \ln(\text{shallow water} - \text{mean deep water})$ :
  DEFINE VARIABLE X1cor:
    SELECT band 'B1' from image
    SUBTRACT constant 0.036885
    APPLY natural logarithm (ln)
    RENAME to 'X1'
  DEFINE VARIABLE X2cor:
    SELECT band 'B2' from image
    SUBTRACT constant 0.034564
    APPLY natural logarithm (ln)
    RENAME to 'X2'
  DEFINE VARIABLE X3cor:
    SELECT band 'B3' from image
    SUBTRACT constant 0.022757

```

```

        APPLY natural logarithm (ln)
        RENAME to 'X3'
    DEFINE VARIABLE X4cor:
        SELECT band 'B4' from image
        SUBTRACT constant 0.007513
        APPLY natural logarithm (ln)
        RENAME to 'X4'
    COMBINE corrected bands:
        DEFINE VARIABLE Xij:
            ADD bands X1cor, X2cor, X3cor, and X4cor into a single
            multiband image

```

Pseudocode 3. 4 Koreksi Permukaan

3.6 Perhitungan Depth Invariance Index

Tahap selanjutnya dalam analisis citra adalah perhitungan *Depth Invariance Index* (Y_{ij}) menggunakan rumus algoritma Lyzenga, yang bertujuan untuk menghasilkan index reflektansi yang tidak terpengaruh oleh kedalaman air. Proses ini melibatkan dua langkah utama: perhitungan koefisien kedalaman dan perhitungan indeks kedalaman. Berikut pseudocode dari proses penentuan koefisien kedalaman seperti pada *pseudocode 3.5*.

```

var imgsand = Xij.clip(Sand);
var k23 = imgsand.select(['X2','X3'])
    .reduceRegion(ee.Reducer.linearRegression(1,1),
    imgsand.get('system:footprint'), 10);
print(k23);
var k24 = imgsand.select(['X2','X4'])
    .reduceRegion(ee.Reducer.linearRegression(1,1),
    imgsand.get('system:footprint'), 10);
print(k24);
var k34 = imgsand.select(['X3','X4'])
    .reduceRegion(ee.Reducer.linearRegression(1,1),
    imgsand.get('system:footprint'), 10);
print(k34);

```

Pseudocode 3. 5 Penentuan Koefisien Kedalaman

Hasil perhitungan Y_{ij} memberikan indeks kedalaman bebas pengaruh untuk masing-masing pasangan band. Berikut pseudocode dari proses perhitungan indeks kedalaman seperti pada *pseudocode 3.6*.

```

var Y23 =
Xij.select(['X2']).subtract(Xij.select(['X3']).multiply(0.79230
)).rename('Y23');
var Y24 =
Xij.select(['X2']).subtract(Xij.select(['X4']).multiply(0.77789
)).rename('Y24');
var Y34 =
Xij.select(['X3']).subtract(Xij.select(['X4']).multiply(0.98135
)).rename('Y34');

var Yij = Y23.addBands(Y24).addBands(Y34);

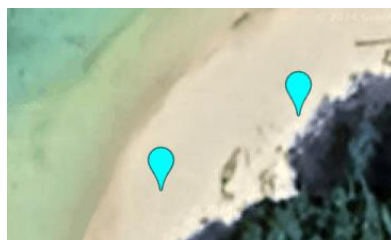
```

Pseudocode 3. 6 Perhitungan Indeks Kedalaman

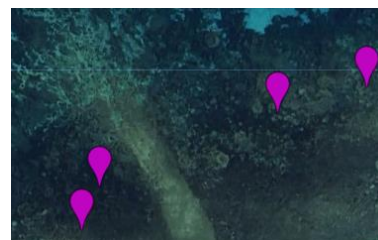
3.7 Pengumpulan dan *Sampling* Data

Pada tahap pengumpulan dan *sampling* data, area penelitian diklasifikasikan menjadi empat kelas utama, yaitu vegetasi, pasir, terumbu karang, dan laut. Klasifikasi ini dilakukan berdasarkan karakteristik masing-masing kelas yang dapat diidentifikasi melalui citra satelit. Untuk mendukung proses analisis, digunakan fungsi `ee.FeatureCollection` pada *Google Earth Engine* (GEE) untuk mengidentifikasi titik sampel dari setiap area yang sesuai dengan klasifikasi tersebut.

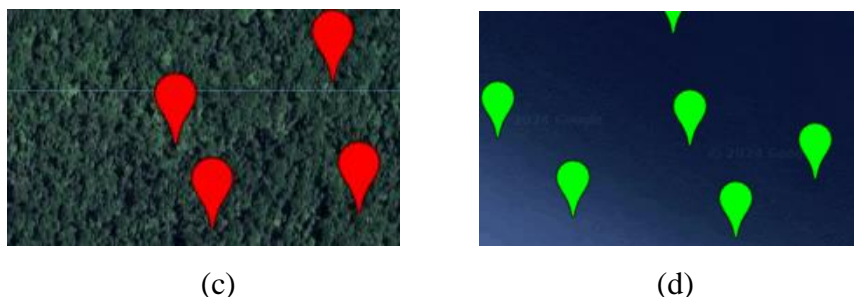
Penelitian ini menggunakan data titik sampel berupa *multipoint* untuk memetakan sebaran terumbu karang di wilayah penelitian. Pendekatan *multipoint* dipilih karena mampu merepresentasikan distribusi spasial dengan akurat, terutama untuk menggambarkan lokasi-lokasi spesifik yang relevan dengan keberadaan terumbu karang berdasarkan data yang dimiliki. Titik-titik sampel ini mewakili lokasi pengambilan data atau titik pantau terumbu karang yang tersebar di wilayah penelitian. Titik sampel ini terdiri dari 212 *multipoint*.



(a)



(b)



Gambar 3. 4 Titik sampel (a) pasir, (b) terumbu karang, (c) vegetasi, (d) laut

Perincian dari *multipoint* tersebut adalah 45 pts pada area pasir, 68 pts pada area terumbu karang, 39 pts pada area vegetasi, dan 60 pts pada area laut. Dengan menggunakan data citra satelit selama satu tahun, total data yang digunakan dalam analisis ini mencapai 2.120. Selanjutnya, data pts tadi dibagi dengan rasio 70% *data training*, 20% *data testing*, dan 10% *data validation*. Adapun perincian data sampel ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jumlah Data Sampel

Kelas	Jumlah Data Sampel (pts)
Pasir	540
Terumbu Karang	500
Vegetasi	650
Laut	430
Total	2120

3.8 Klasifikasi dengan *Support Vector Machine* (SVM)

Pada tahap ini, digunakan metode *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel *radial basis function* (RBF) untuk mengklasifikasikan citra satelit berdasarkan data yang telah dikumpulkan. SVM merupakan salah satu algoritma pembelajaran mesin yang efektif dalam menangani masalah klasifikasi, terutama ketika data memiliki dimensi tinggi, seperti citra satelit. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Prabowo, et al., (2006) kernel RBF digunakan karena fleksibilitasnya dalam menangani pola non-linear, adaptabilitas terhadap data dengan kompleksitas tinggi seperti citra satelit, serta performanya yang andal pada dataset dengan ukuran terbatas. Dalam konteks pemetaan terumbu karang, kernel ini memungkinkan pemisahan kelas yang lebih

akurat antara terumbu karang, pasir, dan air, sehingga menghasilkan peta yang lebih representatif.

Dalam penelitian ini, model SVM dilatih menggunakan *data training* yang diperoleh sebelumnya, yang terdiri dari titik sampel yang representatif untuk masing-masing kelas. Selain itu, untuk meningkatkan akurasi klasifikasi, model dilatih dengan menggunakan band spektral yang relevan, yaitu Band-2 (biru), Band-3 (hijau), Band-4 (merah), dan Band-8 (infra merah dekat), yang dipilih berdasarkan kemampuannya untuk membedakan karakteristik permukaan yang berbeda, seperti terumbu karang dan vegetasi laut. Berikut pseudocode dari proses klasifikasi menggunakan SVM seperti pada *pseudocode 3.7*.

```

DEFINE FUNCTION classify_sentinel_image(year, points,
coordinates_area, bands):
    # Load Sentinel-2 Harmonized Image Collection
    sr2ACol = SELECT ImageCollection 'COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED'
        FILTER by date range:
            - Start: January 1 of the specified year
            - End: December 31 of the specified year
        FILTER by geographic bounds: coordinates_area
        FILTER images with CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE < 20%
        APPLY maskS2clouds function to reduce cloud effects
        COMPUTE median image from the filtered collection
    # Prepare the image for classification
    image = SELECT specified bands from sr2ACol
        CLIP to the area defined by coordinates_area
    # Generate training data
    training = SAMPLE regions from image with:
        - Collection of points
        - 'class' as the property containing the class
    labels
        - Scale: 10 meters
    # Define and train a Support Vector Machine (SVM) classifier
    classifier = CONFIGURE SVM classifier with:
        - Kernel type: Radial Basis Function (RBF)
        - Gamma: 0.5
        - Cost: 10
    trained_classifier = TRAIN classifier using:
        - Training data
        - 'class' as the target property
        - bands as feature inputs
    # Classify the image using the trained classifier
    classified_image = APPLY trained_classifier to the image
    # Return the original and classified images
    RETURN image, classified_image

```

Pseudocode 3. 7 Support Vector Machine

3.9 Learned Model

Setelah proses klasifikasi menggunakan metode SVM dengan kernel *radial basis function* (RBF), tahap selanjutnya adalah evaluasi dan pemahaman terhadap model yang telah dilatih. Model yang dipelajari adalah hasil dari proses pelatihan dengan *data training* yang mencakup titik sampel yang telah dikelompokkan ke dalam kelas-kelas tertentu, seperti terumbu karang, pasir, vegetasi, dan laut. Melalui proses ini, model SVM menghasilkan *hyperplane* yang memisahkan kelas-kelas tersebut berdasarkan fitur spektral dari citra Sentinel-2A yang digunakan dalam klasifikasi. Model yang telah dilatih tersebut kemudian diterapkan pada citra untuk memprediksi kelas setiap piksel dalam wilayah penelitian.

Kualitas model dievaluasi dengan mengukur akurasi prediksi yang dihasilkan jika model menghasilkan hasil yang bagus, baik melalui *data testing* maupun perbandingan dengan data referensi yang lebih akurat. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan melalui analisis visual, di mana hasil klasifikasi yang diperoleh menggunakan model *Support Vector Machine* (SVM) yang diterapkan pada citra satelit multispektral dibandingkan langsung dengan citra asli. Analisis visual ini bertujuan untuk menilai apakah area yang dikenali sebagai terumbu karang oleh model memiliki kesesuaian yang jelas dengan ciri-ciri terumbu karang yang terlihat pada citra multispektral. Selain itu, algoritma Lyzenga, yang digunakan untuk mengoreksi kolom air, dan optimisasi ADAM yang berfokus pada pengolahan citra, juga turut berperan dalam meningkatkan akurasi identifikasi. Sebaliknya jika hasil dinilai tidak seperti yang diharapkan, maka sistem akan kembali ke proses koreksi permukaan agar sistem mengulang proses pembelajaran model dalam mengidentifikasi lokasi terumbu karang.

3.10 Pemetaan Sebaran Terumbu Karang

Hasil akhir dari penelitian ini adalah peta sebaran terumbu karang yang diperoleh melalui proses klasifikasi citra satelit. Hasil yang ditampilkan adalah peta dengan keterangan warna pemetaan sebaran terumbu karang. Dimana warna hijau menandakan vegetasi, warna merah jambu menandakan terumbu karang, warna putih menandakan pasir, dan warna biru menandakan laut.

3.11 Evaluasi

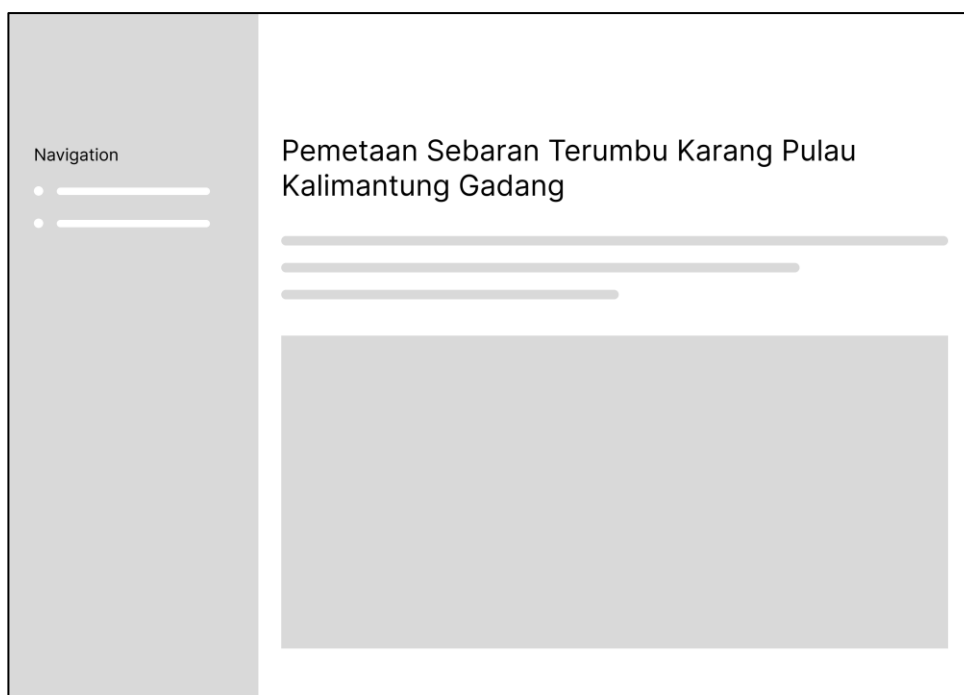
Setelah model SVM dilatih dan diuji pada data pengujian serta divalidasi, langkah berikutnya adalah mengevaluasi performa model dengan menggunakan *confusion matrix*. Jumlah prediksi yang akurat dan tidak akurat untuk setiap kelas akan ditampilkan dalam matriks ini, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi kesalahan model. Penulis menghitung sejumlah ukuran evaluasi tambahan, termasuk akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*, yang memberikan wawasan tentang kinerja model, dengan menggunakan analisis matriks kebingungan.

3.12 Perancangan Sistem

Tahap ini menjelaskan desain antarmuka sistem untuk pemetaan sebaran terumbu karang pulau Kalimantan Gadang. Sistem ini akan dikembangkan dalam bentuk situs web, yang memungkinkan pengguna untuk memasukkan tahun yang diinginkan dan mendapatkan hasil peta yang telah diklasifikasikan.

3.12.1 Desain Tampilan Halaman Depan

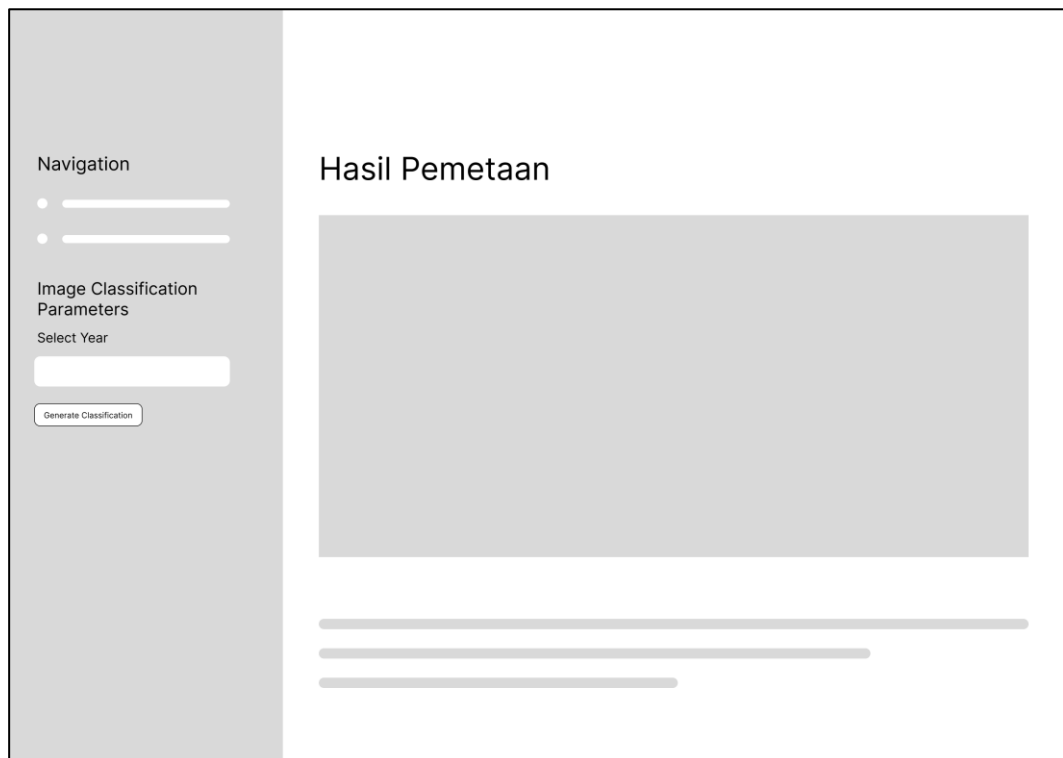
Pada rancangan tampilan depan terdapat informasi mengenai judul penelitian, keterangan detail tentang aplikasi, *sidebar* yang menghubungkan halaman depan dan halaman info sebaran. Berikut rancangan tampilan halaman depan sistem pada web dalam gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Desain Tampilan Halaman Depan

3.12.2 Desain Tampilan Halaman Info Sebaran

Halaman info sebaran dirancang untuk menampilkan hasil pemetaan klasifikasi citra satelit Sentinel berdasarkan input yang diberikan pengguna. Pada halaman ini, pengguna dapat memilih parameter tahun klasifikasi melalui *sidebar*. Pemilihan tahun dilakukan menggunakan komponen *number input*. Selanjutnya, proses klasifikasi citra akan dipicu melalui tombol “*Generate Classification*”. Setelah tombol diaktifkan, aplikasi akan memanggil fungsi yang bertugas melatih model klasifikasi menggunakan data masukan berupa titik koordinat (*points*), area, dan *bands*. Hasil klasifikasi divisualisasikan menggunakan warna berbeda yang ditentukan melalui palet warna (*white, pink, green, dan blue*). Berikut rancangan tampilan halaman info sebaran pada web dalam gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Desain Tampilan Halaman Info Sebaran

BAB 4

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

4.1 Implementasi Sistem

4.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Spesifikasi perangkat keras yang dipakai untuk pengimplementasian sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Processor : AMD Athlon Silver 3050U with Radeon Graphics (2 CPUs), ~2.3GHz
2. Memory : 4096MB RAM

Berikut adalah spesifikasi perangkat lunak yang dipakai untuk pengimplementasian sistem pada penelitian ini:

1. Sistem Operasi : Windows 11
2. Microsoft Visual Studio Code
3. Python Versi 3.9.20.
4. *Library* yang digunakan *libra ee, geemap, streamlit, folium*.

4.1.2 Implementasi Perancangan Antarmuka

Dari perancangan yang dilakukan pada bab 3, maka berikut ini merupakan implementasi dari rancangan tersebut.

1. Tampilan Halaman Depan

Tampilan halaman depan merupakan tampilan yang pertama kali dilihat oleh pengguna. Pada halaman tersebut berisi informasi mengenai judul penelitian, keterangan detail tentang aplikasi, *sidebar* yang menghubungkan halaman depan dan halaman info sebaran.



Gambar 4. 1 Tampilan Halaman Depan

2. Tampilan Halaman Info Sebaran

Halaman info sebaran menampilkan hasil pemetaan klasifikasi citra satelit Sentinel berdasarkan input yang diberikan pengguna. Pada halaman ini, pengguna dapat memilih parameter tahun klasifikasi melalui *sidebar*. Pemilihan tahun dilakukan menggunakan komponen *number input*. Selanjutnya, proses klasifikasi citra akan dipicu melalui tombol “*Generate Classification*”. Setelah tombol diaktifkan, aplikasi akan memanggil fungsi yang bertugas melatih model klasifikasi menggunakan data masukan berupa titik koordinat (*points*), area, dan *bands*. Hasil klasifikasi divisualisasikan menggunakan warna berbeda yang ditentukan melalui palet warna (*white*, *pink*, *green*, dan *blue*) yang merepresentasikan kelas-kelas tertentu pada citra hasil klasifikasi.



Gambar 4. 2 Tampilan Halaman Info Sebaran

4.2 Implementasi Model

4.2.1 Hasil Pelatihan Model

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari penerapan model *Support Vector Machine* berbasis Google Earth Engine (GEE) dalam analisis data *point* yang digunakan. Pertama, *classifier* SVM didefinisikan dengan parameter *kernelType* “RBF” (Radial Basis Function), nilai *gamma* sebesar 0.5, dan *cost* sebesar 10. Parameter ini digunakan untuk mengatur kompleksitas dan performa model dalam membedakan kelas data. Selanjutnya, *classifier* dilatih menggunakan data titik latih yang telah ditentukan sebelumnya (*training_points*), di mana kolom *class* berisi label kelas dan variabel *bands* berisi data fitur spektral dari citra satelit. Setelah proses pelatihan selesai, model yang telah dilatih digunakan untuk mengklasifikasikan citra input (*image*) guna memetakan kelas terumbu karang dan non-terumbu karang. Hasil klasifikasi kemudian ditambahkan ke peta menggunakan palet warna yang telah ditentukan. Terakhir, hasil klasifikasi dapat dicetak menggunakan fungsi *getInfo()* untuk verifikasi dan analisis lebih lanjut terkait distribusi spasial dari kelas yang dihasilkan.

Adapun *confusion matrix* yang dihasilkan oleh model tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Hasil *Confusion Matrix*

Actual/Predicted	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Total
Class 0	496	24	6	14	540
Class 1	12	448	14	26	500
Class 2	0	30	600	20	650
Class 3	0	10	20	400	430
Total	508	512	640	460	2120

Berdasarkan *confusion matrix* yang dihasilkan, performa model klasifikasi untuk pemetaan sebaran terumbu karang menunjukkan hasil yang baik. Matriks ini terdiri dari empat kelas (Class 0, Class 1, Class 2, dan Class 3) dengan total 2120 sampel. Untuk Class 0 (pasir), terdapat 496 prediksi benar dari total 540 sampel, sementara 44 sampel lainnya salah diklasifikasikan sebagai kelas lain (24 diklasifikasikan sebagai terumbu karang, 6 sebagai vegetasi, dan 14 sebagai laut). Untuk Class 1 (terumbu

karang), terdapat 448 prediksi benar, namun 42 sampel salah diklasifikasikan ke kelas lain (12 diklasifikasikan sebagai pasir, 14 sebagai vegetasi, dan 26 sebagai laut).

Selanjutnya, untuk Class 2 (vegetasi), dari 650 sampel yang sebenarnya adalah vegetasi, model berhasil mengklasifikasikan 600 sampel dengan benar sebagai vegetasi. Namun, terdapat 30 sampel yang diklasifikasikan sebagai terumbu karang, dan 20 sebagai laut. Pada Class 3 (laut), dari 430 sampel yang sebenarnya adalah laut, model berhasil mengklasifikasikan 400 sampel dengan benar sebagai laut. Namun terdapat 10 sampel diklasifikasikan menjadi terumbu karang dan 20 sebagai vegetasi.

Secara keseluruhan, model mencapai akurasi tinggi sebesar 92%, dihitung dengan membandingkan jumlah prediksi benar (*True Positives*) terhadap total data. Pernyataan tabel ini menjelaskan kinerja model dalam memetakan distribusi terumbu karang dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-2A.

Tabel 4. 2 Nilai TP, TN, FP, dan FN

Kelas	TP	TN	FP	FN
Pasir	496	1448	44	12
Terumbu Karang	448	1496	52	64
Vegetasi	600	1344	40	64
Laut	400	1544	46	54

Dengan demikian, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *accuracy* untuk masing-masing kelas. Berikut adalah hasil perhitungan *confusion matrix* pada model ini adalah sebagai berikut:

a. Pasir

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% = \frac{496}{496+44} \times 100\% = 91\%$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% = \frac{496}{496+12} \times 100\% = 97\%$$

$$F1-score = \frac{2 \times precision \times recall}{precision+recall} \times 100\% = \frac{2 \times 0.91 \times 0.97}{0.91 + 0.97} \times 100\% = 94\%$$

b. Terumbu Karang

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% = \frac{448}{448+52} \times 100\% = 89\%$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% = \frac{448}{448+64} \times 100\% = 87\%$$

$$F1\text{-score} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \times 100\% = \frac{2 \times 0.89 \times 0.87}{0.89 + 0.87} \times 100\% = 88\%$$

c. Vegetasi

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% = \frac{600}{600+40} \times 100\% = 93\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% = \frac{600}{600+64} \times 100\% = 90\%$$

$$F1\text{-score} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \times 100\% = \frac{2 \times 0.93 \times 0.90}{0.93 + 0.90} \times 100\% = 91\%$$

d. Laut

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% = \frac{400}{400+46} \times 100\% = 89\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% = \frac{400}{400+54} \times 100\% = 88\%$$

$$F1\text{-score} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \times 100\% = \frac{2 \times 0.89 \times 0.88}{0.89 + 0.88} \times 100\% = 88\%$$

e. Accuracy

$$\text{Accuracy} = \frac{TP}{TP+FP+TN+FN} \times 100\% = \frac{1944}{2120} \times 100\% = 92\%$$

4.2.2 Hasil Pengujian Model

Dalam penelitian ini, saya menggunakan model *Support Vector Machine* untuk memetakan sebaran terumbu karang dari citra satelit Sentinel-2A. Hasil pemetaan tersebut divisualisasikan dalam peta yang menunjukkan wilayah perairan Pulau Kalimantan Gadang, dengan kelas-kelas yang direpresentasikan oleh warna berbeda. Klasifikasi ini mencakup empat kelas: pasir, terumbu karang, vegetasi, dan laut. Setiap warna diwakili oleh warna tertentu pada peta, yaitu putih untuk pasir, merah jambu untuk terumbu karang, hijau untuk vegetasi, dan biru untuk laut. Gambar 4.3 adalah hasil dari pemetaan sebaran terumbu karang dari model yang sudah dilatih.



Gambar 4. 3 Hasil Pemetaan Sebaran Terumbu Karang

Hasil dari pemetaan sebaran terumbu karang menggunakan algoritma Lyzenga dan optimisasi *Adaptive Moment Estimation* menunjukkan bahwa peta yang dihasilkan memiliki visualisasi yang jelas, dengan wilayah perairan yang terklasifikasi berdasarkan tingkat reflektansi spektral. Setiap kelas ditampilkan dengan warna yang berbeda untuk mempermudah interpretasi dan analisis wilayah studi. Berdasarkan hasil, berikut adalah penjelasan mengenai setiap kelas yang diidentifikasi dalam peta:

a. Pasir (Putih)

Area yang berwarna putih menunjukkan daerah yang terdiri dari pasir. Wilayah ini umumnya terletak di sepanjang pinggiran pantai dan terbentuk di area yang tidak tertutup oleh air laut, seringkali terlihat sebagai pesisir yang menghadap langsung ke laut.

b. Terumbu Karang (Merah Jambu)

Wilayah yang diberi tanda dengan warna merah jambu menunjukkan distribusi terumbu karang. Terumbu karang umumnya dapat ditemukan di laut dangkal dan menjulur hingga perbatasan antara laut dangkal dan laut dalam.

c. Vegetasi (Hijau)

Wilayah yang berwarna hijau menunjukkan area yang tertutupi oleh vegetasi atau hutan. Vegetasi ini terletak di bagian daratan pulau, termasuk area yang dilapisi oleh berbagai jenis tanaman, seperti hutan tropis, semak-semak, atau kawasan hijau lainnya.

d. Laut (Biru)

Area yang diwarnai biru menandakan daerah perairan atau laut yang mengelilingi pulau. Laut ini meliputi wilayah laut dalam yang terletak jauh dari garis pantai.

4.3 Analisis Hasil

Untuk memahami lebih lanjut hasil pemetaan, penulis membandingkan dua visualisasi utama, yaitu citra optik multispektral dari Sentinel-2A dan citra hasil klasifikasi yang telah diberi *colormap* (cmap). Citra multispektral dari Sentinel-2A memberikan gambaran visual yang hampir mirip dengan penampilan asli permukaan bumi, sedangkan citra yang dihasilkan melalui klasifikasi menggunakan cmap memberikan interpretasi yang lebih terorganisir terkait sebaran terumbu karang di area penelitian. Analisis ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi klasifikasi model dan menganalisis penyebaran spasial dari terumbu karang. Dengan membandingkan kedua visualisasi tersebut, diharapkan dapat teridentifikasi wilayah di mana klasifikasi berjalan dengan baik serta area yang memerlukan perbaikan lebih lanjut.

4.3.1 Analisis Hasil Area Pasir

Hasil klasifikasi area pasir dibandingkan dengan citra multispektral asli dari Sentinel-2A untuk menilai sejauh mana ketepatan dan keakuratan model dalam mengenali wilayah pasir.



Gambar 4. 4 Hasil Peta Area Pasir (a) Hasil Klasifikasi Model; (b) Citra Asli Area Pasir

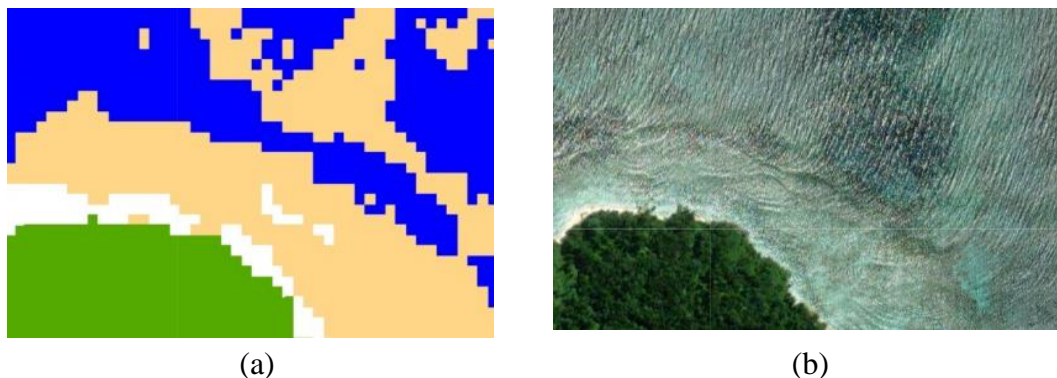
Pada gambar 4.4 memperlihatkan dua visualisasi: gambar (a) menunjukkan hasil klasifikasi area pasir menggunakan model *Support Vector Machine*, sementara gambar

(b) menampilkan citra multispektral Sentinel-2A untuk area pasir. Pada hasil klasifikasi, area yang dikenali sebagai pasir oleh model ditandai dengan warna putih.

Hasil klasifikasi mengungkapkan bahwa model *Support Vector Machine* memiliki kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi area pasir. Dengan *precision* yang cukup tinggi sebesar 0,91, sebagian besar prediksi area pasir oleh model benar-benar sesuai. *Recall* yang mencapai 0,97 menunjukkan bahwa model berhasil mengenali hampir seluruh area pasir pada citra. Selain itu, *F1-score* sebesar 0,94 mencerminkan keseimbangan yang solid antara *precision* dan *recall*.

4.3.2 Analisis Hasil Area Terumbu Karang

Area terumbu karang ditandai dengan warna merah jambu. Hasil klasifikasi mengidentifikasi area yang dianggap sebagai terumbu karang oleh model.



Gambar 4. 5 Hasil Peta Area Terumbu Karang (a) Hasil Klasifikasi Model; (b) Citra Asli Area Terumbu Karang

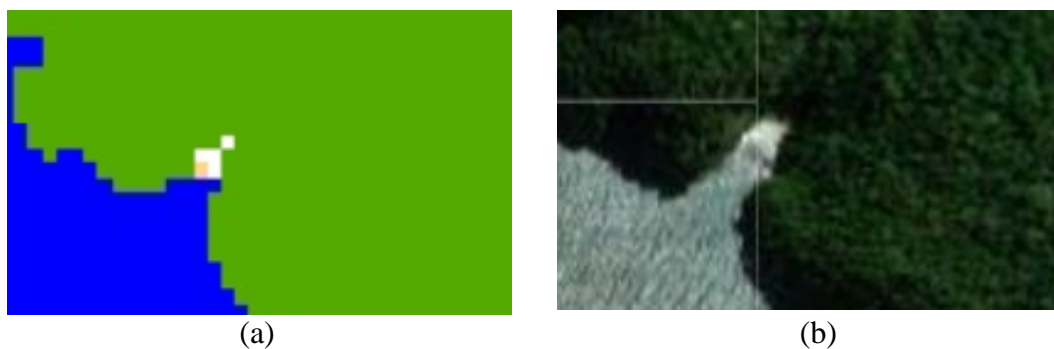
Gambar 4.5 menampilkan dua visualisasi: gambar (a) menunjukkan hasil klasifikasi area terumbu karang menggunakan model *Support Vector Machine*, sementara gambar (b) adalah citra multispektral Sentinel-2A yang mewakili area terumbu karang. Dalam hasil klasifikasi, area yang dikenali sebagai terumbu karang oleh model ditandai dengan warna merah jambu.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa model *Support Vector Machine* memiliki performa yang baik dalam mengenali area terumbu karang. *Precision* yang mencapai 0,89 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi area terumbu karang oleh model benar-benar akurat. Dengan *recall* sebesar 0,87, model mampu mendeteksi hampir semua area terumbu karang pada citra. Selain itu, *F1-score* sebesar 0,88 menggambarkan keseimbangan yang kuat antara *precision* dan *recall*.

Kemampuan model *Support Vector Machine* dalam mengenali terumbu karang dengan baik didukung oleh penerapan algoritma Lyzenga yang digunakan untuk mengoreksi kolom air. Algoritma ini sangat efektif dalam mengurangi efek penyerapan dan hamburan cahaya oleh air, sehingga meningkatkan kualitas data citra yang digunakan untuk klasifikasi. Dengan koreksi kolom air, fitur terumbu karang menjadi lebih jelas terlihat, memungkinkan model untuk mendeteksi dan membedakan area terumbu karang dengan lebih akurat. Hal ini juga membantu mengurangi kesalahan klasifikasi pada area perairan yang memiliki karakteristik serupa.

4.3.3 Analisis Hasil Area Vegetasi

Area vegetasi yang ditandai dengan warna hijau pada hasil klasifikasi menunjukkan area yang dikenali sebagai vegetasi oleh model.



Gambar 4. 6 Hasil Peta Area Vegetasi (a) Hasil Klasifikasi Model; (b) Citra Asli Area Vegetasi

Gambar 4.6 menyajikan dua visualisasi: gambar (a) menggambarkan hasil klasifikasi area vegetasi menggunakan model *Support Vector Machine*, sedangkan gambar (b) merupakan citra multispektral Sentinel-2A yang merepresentasikan area vegetasi. Pada hasil klasifikasi, wilayah yang diidentifikasi sebagai vegetasi oleh model ditandai dengan warna hijau.

Hasil klasifikasi mengindikasikan bahwa model *Support Vector Machine* memiliki kinerja yang sangat baik dalam mengidentifikasi area vegetasi. *Precision* sebesar 0,93 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi area vegetasi oleh model sesuai dengan kondisi sebenarnya. Dengan *recall* mencapai 0,90, model berhasil mendeteksi hampir seluruh area vegetasi dalam citra. *F1-score* sebesar 0,91 mencerminkan keseimbangan yang optimal antara *precision* dan *recall*.

4.3.4 Analisis Hasil Area Laut

Area laut yang ditandai dengan warna biru pada hasil klasifikasi menunjukkan area yang dikenali sebagai laut oleh model.



Gambar 4. 7 Hasil Peta Area Laut (a) Hasil Klasifikasi Model; (b)

Citra Asli Area Laut

Gambar 4.7 menampilkan dua visualisasi: gambar (a) menunjukkan hasil klasifikasi area laut menggunakan model *Support Vector Machine*, sementara gambar (b) adalah citra multispektral Sentinel-2A yang merepresentasikan area laut. Dalam hasil klasifikasi, wilayah yang dikenali sebagai laut oleh model ditandai dengan warna biru.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa model *Support Vector Machine* bekerja dengan sangat baik dalam mengidentifikasi area laut. *Precision* sebesar 0,89 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi model untuk area laut sesuai dengan kondisi sebenarnya. Dengan *recall* mencapai 0,88, model berhasil mendeteksi hampir seluruh area laut dalam citra. *F1-score* sebesar 0,88 menggambarkan keseimbangan yang baik antara *precision* dan *recall*.

Hasil klasifikasi ini telah diverifikasi oleh pihak konservasi terumbu karang di Provinsi Sumatera Utara, yang menyatakan bahwa hasil pemetaan mendekati kondisi aktual di lapangan. Validasi ini memperkuat kepercayaan terhadap kemampuan model dalam mengidentifikasi area sebaran terumbu karang dan menegaskan manfaatnya untuk mendukung kegiatan konservasi. Meski demikian, akurasi model masih memiliki kekurangan sebesar 8%. Hal ini terutama disebabkan oleh keterbatasan data yang digunakan selama pelatihan dan validasi. Data citra untuk Pulau Kalimantan Gadang yang tersedia di *Google Earth* tidak sepenuhnya mutakhir, sehingga memengaruhi kemampuan model dalam mendeteksi perubahan kondisi terbaru. Untuk meningkatkan akurasi pemetaan di masa depan, diperlukan pembaruan data yang lebih konsisten dan menyeluruh.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian pemetaan sebaran terumbu karang di perairan pulau Kalimantan Gadang menggunakan citra satelit dengan algoritma lyzenga dan optimisasi *Adaptive Moment Estimation* adalah sebagai berikut:

1. Algoritma Lyzenga berhasil diterapkan untuk menghilangkan pengaruh kolom air pada citra satelit, sehingga meningkatkan akurasi dalam memisahkan objek dasar laut.
2. Optimisasi *Adaptive Moment Estimation* digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas model dalam proses pelatihan klasifikasi.
3. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa model *Support Vector Machine* memiliki akurasi yang baik dalam memetakan sebaran terumbu karang, dengan akurasi keseluruhan mencapai 92%.
4. Titik sampel atau *Training Point* dimuat dalam bentuk *point*. Titik sampel terdiri dari 212 *point* dalam satu tahun. Perincian dari *multipoint* tersebut adalah 540 pts pada area pasir, 500 pts pada area terumbu karang, 650 pts pada area vegetasi, dan 430 pts pada area laut. Selanjutnya, data pts tadi dibagi dengan rasio 70% *data training*, 20% *data testing*, dan 10% *data validation*.
5. Dalam penelitian ini, band spektral utama yang digunakan dalam analisis adalah Band 1 (*Coastal/Aerosol*), Band 2 (*Blue*), Band 3 (*Green*), Band 4 (*Red*), dan Band 8 (*Near Infrared*) dari citra Sentinel-2A. Pemilihan band-band ini didasarkan pada kemampuan spesifik setiap band untuk mendeteksi karakteristik lingkungan perairan dangkal, termasuk habitat terumbu karang.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh peneliti selanjutnya adalah:

1. Menggunakan data *multispectral* atau hiperspektral untuk memperbaiki klasifikasi, terutama dalam membedakan tipe-tipe terumbu karang yang lebih kompleks.
2. Menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial dan spektral yang lebih tinggi, seperti WorldView-2 atau WorldView-3, untuk meningkatkan ketelitian dalam memetakan detail struktur terumbu karang.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilengkapi dengan analisis yang lebih mendalam terkait perubahan atau kerusakan terumbu karang. Analisis tersebut dapat mencakup pemetaan perubahan luas terumbu karang dari waktu ke waktu, faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan, serta pengaruhnya terhadap ekosistem laut di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A. F., Mutua, F. N., & Kenduiywo, B. K. (2021). Monitoring benthic habitats using Lyzenga model features from Landsat multi-temporal images in Google Earth Engine. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 2137-2143.
- Akraboelittaqwa, A., Astuty, S., Yustiati, A., & Jannah, W. (2020). Identifikasi Tutupan Terumbu Karang Di Gili Meno. *Indonesian Journal of Engineering (IJE)*, 1(1), 01-11.
- Alamsyah, R., Uspar, U., Permatasari, A., & Nurfadillah, N. (2019). Sebaran Dan Luasan Terumbu Karang Di Perairan Pulau Larearea Menggunakan Citra Landsat 8. *Agrominansia*, 4(1), 49-54.
- Amrillah, K., Adi, W., & Kurniawan, K. (2019). Pemetaan Pemetaan sebaran Terumbu Karang di Perairan Pulau Kelapan, Kabupaten Bangka Selatan Berdasarkan Data Satelit Sentinel 2A. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2), 59-70.
- Azka, L. M. (2019). Analisa Luasan Terumbu Karang Berdasarkan Pengolahan Data Citra Satelit Lansat 8 menggunakan Algoritma Lyzenga. *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, 8(1), 18-24.
- Badriawan, N. (2019). *Analisis Kerusakan Terumbu Karang Di Pulau Pahawang, Provinsi Lampung* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Bahri, S., Purnama, D. A., Syawal, S., & Khairi, I. (2020). Evaluasi Tutupan Terumbu Karang Berbasis Masyarakat Di Wilayah Kawasan Konservasi Perairan Daerah (Kkpd) Kabupaten Aceh Selatan. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 2(2), 129-136.
- Bennett, M. K., Younes, N., & Joyce, K. (2020). Automating drone image processing to map coral reef substrates using google earth engine. *Drones*, 4(3), 50.
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2012). Menengok kembali terumbu karang yang terancam di segitiga terumbu karang. *World Resources Institute*, 10.

- Erkamim, M., Mukhlis, I. R., Putra, P., Adiwarman, M., Rassarandi, F. D., Rumata, N. A., ... & Hermawan, E. (2023). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG): Teori Komprehensif SIG*. PT. Green Pustaka Indonesia.
- Fuad, M. A. Z., Ramadhani, M. F. N., Dewi, C. S. U., Fikri, M. A., & Herdikusuma, E. B. (2022). Pemetaan terumbu karang dengan citra satelit Sentinel-2 dan analisis kondisi karang di kawasan Pantai Pasir Putih, Situbondo Jawa Timur. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 27(1), 73-87.
- Hadi, T. A., & Giyanto, B. P. (2020). Terumbu Karang Indonesia 2019.
- Han, J., Kamber, M., & Mining, D. (2006). Concepts and techniques. *Morgan kaufmann*, 340, 94104-3205.
- Hidayah, Z., & Nuzula, N. I. (2019). Pemetaan Sebaran Terumbu Karang Studi Kasus Selat Madura, Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2), 127-134.
- Jaelani, L. M., Laili, N., & Marini, Y. (2015). Pengaruh Algoritma Lyzenga Dalam Pemetaan Terumbu karang Menggunakan Worldview-2, Studi Kasus: Perairan Pltu Paiton Probolinggo (The Effect Of Lyzenga's Algorithm On Coral Reef Mapping Using Worldview-2, A Case Study: Coastal Waters Of Paiton Probolinggo). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 12(2).
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lyzenga, D. R. (1978). Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied optics*, 17(3), 379-383.
- Maulana, Y. R., Supriharyono, S., & Febrianto, S. (2018). Pemetaan Sebaran Terumbu Karang Menggunakan Citra Satelit Spot-6 Di Perairan Pulau Pari Kepulauan Seribu Jakarta. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 7(3), 279-287.
- Mather, P. M., & Koch, M. (2022). *Computer processing of remotely-sensed images*. John Wiley & Sons.

- Mehta, A., Ribeiro, E., Gilner, J., & van Woesik, R. (2007, March). Coral reef texture classification using support vector machines. In *VISAPP (2)* (pp. 302-310).
- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 66(3), 247-259.
- Nadya, D. T. A. (2019). *Identifikasi Sebaran Terumbu Karang Menggunakan Algoritma Lyzenga Guna Menunjang Kawasan Wisata Bahari (Studi Kasus: Bangsring Underwater, Banyuwangi)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Nuryadin Syarifuddin, S. (2006). *Analisis Filtering Citra dengan Metode Mean Filter dan Median Filter* (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).
- Pal, M., & Mather, P. M. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. *International journal of remote sensing*, 26(5), 1007-1011.
- Pangaribuan, T. H., Soedarsono, P., & Ain, C. (2013). Hubungan kandungan nitrat dan fosfat dengan densitas zooxanthellae pada polip karang *Acropora* sp. di perairan terumbu karang Pulau Menjangan Kecil, Karimun Jawa. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 2(4), 136-145.
- Prabowo, N. W., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2018). Klasifikasi habitat bentik berbasis objek dengan algoritma support vector machines dan decision tree menggunakan citra multispektral Spot-7 di Pulau Harapan dan Pulau Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 123-134.
- Salakory, M. (2023). Maluku Dominan Pulau Pulau Kecil, Permasalahannya, dan Solusi Peran Lulusan Geografer Universitas Pattimura. *GEOFORUM Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi*, 118-133.
- Saptarini, D. (2010). Evaluasi terumbu buatan dalam peningkatan kualitas lingkungan Pantai Pasir Putih Situbondo.

- Saragih, T. H., & Huda, N. (2022). Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Dengan Adaptive Moment Estimation Untuk Klasifikasi Penyakit Covid-19 Di Kalimantan Selatan. *Epsilon*, 16, 2.
- Tate III, R. L. (2005). Encyclopedia of Soils in the Environment: Volume 1-4.
- Trujillo, A. P., & Thurman, H. V. (2012). Essentials of oceanography. PHI Learning Private Limited.
- Williamson, M. J., Tebbs, E. J., Thompson, H. J., Dawson, T. P., Head, C. E., & Jacoby, D. M. (2021). Application of Earth Observation Data and Google Earth Engine for Monitoring Coral Reef Exposure to Environmental Stressors.