

# **Prediksi Perubahan Kawasan Hutan *Mangrove* Menggunakan Model *Land Change Modeler* Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh**

(Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)

**SONI DARMAWAN<sup>1</sup>, ELYSABETH NINDY NASING<sup>2</sup>, ANGGUN TRIDAWATI<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia  
<sup>3</sup>Teknik Geodesi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia  
Email: [soni\\_darmawan@itenas.ac.id](mailto:soni_darmawan@itenas.ac.id)

*Received* 1 Januari 2022 | *Revised* 1 Maret 2022 | *Accepted* 30 April 2022

## **ABSTRAK**

Kelurahan Oesapa Barat merupakan Kelurahan di Kecamatan Kelapa Lima Kota Kupang Indonesia yang memiliki hutan mangrove cukup luas namun terus mengalami kerusakan yang disebabkan oleh ulah manusia, sehingga upaya untuk menahan laju kepunahan hutan mangrove perlu dilakukan. Dalam upaya pengelolaan untuk menahan laju kepunahan hutan mangrove, diperlukan informasi berupa identifikasi area mana saja yang membutuhkan perhatian untuk pelestarian mangrove. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu metode yang dapat digunakan untuk monitoring perubahan luasan mangrove dari tahun ke tahun. Gambaran perubahan lahan di masa depanpun dibutuhkan untuk mendukung perencanaan, perlindungan, dan rehabilitasi hutan mangrove. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan tutupan mangrove tahun 1996, 2006, 2016, dan memprediksi tutupan mangrove tahun 2026. Teknologi penginderaan jauh digunakan untuk menganalisis penggunaan lahan melalui citra satelit Landsat (tahun 1996, 2006 dan 2016). Penelitian ini menggunakan integrasi citra landsat untuk memperoleh hasil klasifikasi tutupan lahan dan *land change modeler* untuk mengkaji dan memprediksi pola perubahan lahan mangrove. Hasil prediksi hutan mangrove menggunakan *land change modeler* menunjukkan adanya tren peningkatan luasan mangrove sebesar 17,64 ha pada tahun 1996, 18,90 ha pada tahun 2006, 19,80 ha pada tahun 2016, dan 20,52 ha pada tahun 2026. Peningkatan luasan mangrove disebabkan oleh berhasilnya kegiatan rehabilitasi berupa penanaman mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa Barat pada tahun 2002.

**Kata kunci:** *Mangrove, Landsat, Land Change Modeler*

## **ABSTRACT**

*Oesapa Barat Village is a sub-district in Kelapa Lima District, Kupang City, Indonesia where has a large mangrove forest but continues to decline by human activities, therefore the protection of mangroves is urgent. The purpose of this study was to determine mangroves' changes in 1996, 2006, 2016, and predict*

*them in 2026. Remote sensing technology was used to analyze land use through Landsat satellite imagery (1996, 2006, and 2016). This research uses the integration of Landsat image to obtain land cover classification and land change modeler to analyze and predict mangrove land change patterns. The prediction results using land change modeler showed that there was a trend of increasing mangrove area by 17.64 ha in 1996, 18.90 ha in 2006, 19.80 ha in 2016, and 20.52 ha in 2026. The increase in mangrove areas was caused by the success of this activity. rehabilitation in the form of planting mangroves in West Oesapa Village Beach in 2002.*

**Keywords:** *Mangrove, Landsat, Land Change Modeler*

## 1. PENDAHULUAN

Hutan mangrove adalah hutan yang tumbuh di zona intertidal pantai tropis dan subtropis yaitu terletak antara 30° LU dan 30° LS (Alongi, 2002; Giri, dkk, 2011). Selain itu, hutan mangrove juga merupakan sumber daya alam yang dapat menyerap karbon lebih banyak dibandingkan ekosistem lainnya (Alongi, 2014) dan memiliki manfaat baik dari aspek sosial ekonomi maupun ekologi (Fahmi, 2014). Sebagai penyangga ekosistem darat dan laut, hutan mangrove memiliki beberapa manfaat, antara lain melindungi pantai dari: ombak, angin topan, dan tsunami (Costanza, dkk, 2008; Halder, Merchant, Misbahuzzaman, Wagner, & Mukul, 2021; Romañach, dkk, 2018), menyerap karbon (Donato, dkk, 2011), menjaga kualitas air (Duke dkk, 2007), menyediakan habitat bagi lebih dari 1.300 spesies hewan, termasuk ikan dan satwa liar (Baran & Hambrey, 1999; Ellison, dkk, 2005; Fatoyinbo, Simard, Washington-Allen, & Shugart, 2008; Spalding, 2010), dan mendukung mata pencaharian masyarakat melalui ekowisata, makanan, bahan bakar, kayu, dan bahan bangunan (Friess, dkk, 2019; Uddin, van Steveninck, Stuij, & Shah, 2013).

Luasan hutan mangrove dunia mencakup sekitar 13,7 juta hektar yang tersebar di 118 negara (Giri, dkk, 2011). Di sisi lain, hutan mangrove juga termasuk dalam ekosistem dunia yang terancam punah, disebabkan karena faktor alam dan antropogenik seperti perubahan iklim, kenaikan permukaan laut (Feller, Friess, Krauss, & Lewis, 2017; Lovelock et al., 2015; Saintilan, dkk, 2020) dan alih fungsi kawasan mangrove menjadi pemukiman (Valiela, Bowen, & York, 2001). Saat ini, luas hutan mangrove dunia sangat dinamis dan telah berkurang sekitar 40% dibandingkan dengan pertengahan abad terakhir (Alongi, 2002). Tingkat pengurangan hutan mangrove sepanjang tahun 1990-an adalah 1% (Mayaux, dkk, 2005). Dalam beberapa tahun terakhir, tingkat pengurangan mangrove melambat namun masih tetap pada 0,26-0,66% per tahun (Hamilton & Casey, 2016). Jika tingkat kehilangan hutan mangrove terus berlanjut, sekitar 40% hutan mangrove dunia akan benar-benar punah. Dampak punahnya hutan mangrove adalah kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh naik atau turunnya permukaan laut, El Nino, badai tropis, angin topan, kekeringan, dan perubahan suhu (Barbier, 2006; Goldberg, Lagomasino, Thomas, & Fatoyinbo, 2020; Mumby, dkk, 2004; Walters, dkk, 2008; Yirga, Addisu Legesse, & Mekuriaw, 2020).

Upaya untuk menahan laju kepunahan hutan mangrove perlu dilakukan oleh negara-negara yang ditanami mangrove, salah satunya adalah Indonesia. Indonesia adalah Negara yang memiliki hutan mangrove terluas di Dunia yaitu mencapai 59,80% dari total luas hutan mangrove di Asia Tenggara (Giesen, 1993). Permasalahan saat ini adalah sekitar 48% dari total hutan mangrove di Indonesia mengalami kerusakan yang disebabkan oleh ulah manusia berupa konversi mangrove menjadi sarana pemanfaatan lain (Haya, Zamani, & D Soedharma, 2015). Kelurahan Oesapa Barat merupakan salah satu Kelurahan di Kecamatan Kelapa Lima Kota Kupang Indonesia yang memiliki hutan mangrove cukup luas dan dikelilingi oleh permukiman penduduk (Damanik, Penkari, & Penkari, 2019). Menurut data Balai Pengelolaan Hutan Mangrove tahun 2011, kondisi hutan mangrove di NTT dibagi dalam beberapa kategori yakni: rusak berat sebesar 8.285,10 ha atau sekitar 20,40%, rusak ringan sebesar 19.552,44 ha atau sekitar 48,14% , kategori baik sebesar 12.776,57 ha atau sekitar 31,46%. Tim *International Fund For Agricultural Development* (2016) mengemukakan kondisi hutan mangrove di Kelurahan Oesapa Barat semakin menipis dibandingkan beberapa puluh tahun lalu. Melihat kondisi hutan mangrove di Kecamatan Kelapa Lima Kota Kupang, informasi perubahan luasan mangrove merupakan hal yang

mendesak untuk mengidentifikasi area mana saja yang membutuhkan perhatian untuk pelestarian mangrove.

Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu metode yang dapat digunakan untuk monitoring perubahan luasan mangrove dari tahun ke tahun. Di sisi lain, gambaran perubahan lahan di masa depan juga sangat dibutuhkan untuk mendukung perencanaan, perlindungan, dan rehabilitasi hutan mangrove **(Verburg, Schot, Dijst, & Veldkamp, 2004)**. Perubahan penggunaan lahan dapat diaplikasikan secara spasial **(Kumar, Bhaskar, & Padmakumari, 2015; Verburg, dkk, 2004)**. Hal tersebut dapat didekati melalui pemodelan perubahan tutupan lahan untuk mendukung analisis sebab akibat dari perubahannya. Penginderaan jauh adalah teknik yang terbukti dapat memberikan informasi perubahan tutupan lahan dengan akurasi yang baik, serta biaya dan waktu yang relatif singkat melalui pemodelan **(Lo & Choi, 2004)**. Informasi tersebut disajikan melalui citra. Citra landsat adalah citra hasil penginderaan jauh yang dapat diakses secara gratis, mampu monitoring **(Islam, Jashimuddin, Nath, & Nath, 2018)** dan deteksi perubahan lahan **(Brondizio, Moran, Mausel, & Wu, 1994; Wu, dkk, 2006)**. Saat ini, citra satelit observasi bumi banyak digunakan untuk perubahan penggunaan lahan dan analisis deteksi **(Kumar, dkk, 2015; Verburg, dkk, 2004)**.

Di sisi lain, pemilihan metode dalam pemodelan juga merupakan hal yang penting. *Land change modeler* adalah metode untuk memprediksi faktor perubahan penggunaan lahan berdasarkan kondisi lahan di masa lampau **(Han, Yang, & Song, 2015; Nourqolipour, dkk, 2015)**. Model ini bekerja dengan memprediksi perubahan tutupan lahan penutupan lahan dari citra raster tematik yang memiliki jumlah kelas yang sama dengan urutan yang sama. Pemodelan *land change modeler* terbukti menghasilkan model yang sangat baik karena mampu memodelkan beberapa kelas tutupan lahan **(Memarian, dkk, 2012; Regmi, Saha, & Balla, 2014)**. Bahkan, pemodelan *land change modeler* dapat memprediksi dampak yang akan terjadi pada perubahan kelas tutupan lahan tersebut **(Wu, dkk, 2006)**. Beberapa peneliti mencoba memodelkan penggunaan lahan namun hanya terfokus pada penggunaan lahan pemukiman **(Leta, Demissie, & Tränckner, 2021; Mozgeris & Juknelienė, 2021; Zahir, dkk, 2021)**. Namun belum banyak peneliti menggunakan model tersebut untuk prediksi penggunaan lahan mangrove. Sehingga, integrasi *land change modeler* dan citra satelit Landsat akan digunakan untuk memprediksi perubahan kawasan hutan mangrove sebagai upaya pelestarian hutan mangrove, mengingat kondisi mangrove yang semakin memprihatinkan.

## 2. METODE

### 2.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian adalah hutan mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa Barat yang dikelilingi oleh permukiman yang secara geografis berada pada 10o 8' 44,31"S dan 123o 38' 7,17"E. Secara administratif wilayah penelitian (Gambar 1) ini berada di Kelurahan Oesapa Barat, Kecamatan Kelapa Lima, Kota Kupang.

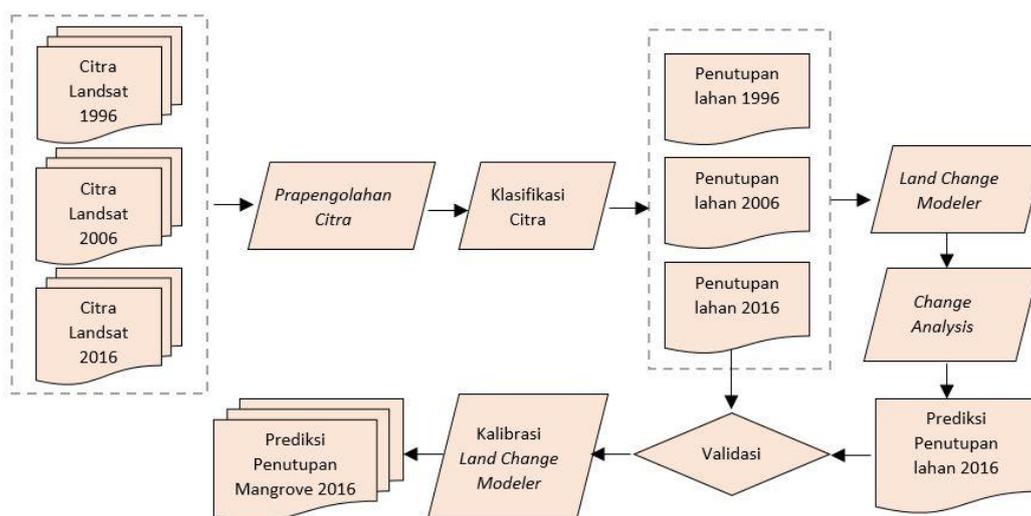
Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Land Change Modeler Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh  
(Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)



**Gambar 1. Lokasi Penelitian**

## 2.2 Metodologi penelitian

Secara umum, metodologi dalam penelitian (Gambar 2) ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: 1) pengumpulan data, 2) prapengolahan, 3) klasifikasi citra, 4) penerapan *land change modeler*, 5) *change analysis*, dan 6) kalibrasi *land change modeler*.



**Gambar 2. Metodologi Penelitian**

Tahapan metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Pengumpulan data

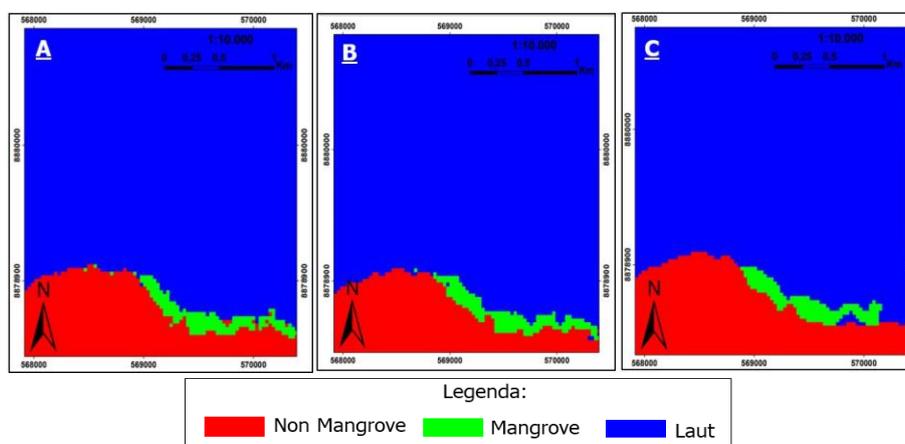
Data yang digunakan adalah peta RBI skala 1:25:000 dan data tutupan lahan pada periode waktu tahun 1996, 2006, dan 2016 diperoleh dari pengolahan citra satelit Landsat 5 dan 8 OLI resolusi 30x30 m<sup>2</sup> yang bersumber dari United States Geological Surveys (USGS). Data citra landsat merupakan data utama yang digunakan untuk memprediksi hutan mangrove tahun 2026. Selain itu, untuk menunjang proses analisis ditambah dengan data curah hujan tahun 2000-2016, data pasang surut tahun 1996, 2006, 2016, peta jarak permukiman serta peta jarak garis pantai yang masing-masing berskala 1:25.000

2. Prapengolahan  
Tahap prapengolahan meliputi koreksi geometric. Koreksi geometrik yang digunakan berupa *image to map* dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang tidak lebih dari 0,5 (Al Amin, 2017). Koreksi Geometrik dilakukan dengan menggunakan peta RBI sebagai referensi.
3. Klasifikasi Citra  
Klasifikasi citra dilakukan untuk menggabungkan jenis obyek yang diklasifikasikan kedalam satu kelas. Metode klasifikasi yang digunakan yakni *supervised maximum likelihood*. Klasifikasi citra merujuk pada (Nay, 2016) maka kelas klasifikasi dalam penelitian ini terdiri dari: non mangrove, mangrove, dan laut.
4. Penerapan *land change modeler*  
Tahapan ini, data penutupan lahan tahun 1996 dan 2006 akan dianalisis perubahannya untuk memprediksi mangrove tahun 2016 dan 2026 menggunakan *land change modeler*. Perubahan ini direpresentasikan ke dalam langkah berikutnya yakni *change analysis, transition potensial dan change prediction*.
5. *Change Analysis*  
Pada Tahapan ini perubahan lahan tahun 1996 dan 2006 akan dijadikan dasar untuk membuat pemodelan penutupan lahan di tahun 2016. Perubahan lahan yang dihasilkan berupa raster maupun grafik sesuai dengan kelas yang terdapat pada data raster sebagai input. kemudian dilakukan uji akurasi antara hasil prediksi penutupan lahan tahun 2016 dengan penutupan lahan aktual tahun 2016
6. Kalibrasi *land change modeler*  
Tahapan ini, hasil uji validasi yang dinyatakan valid harus dimodelkan lagi untuk memperoleh hasil prediksi mangrove tahun 2026 melalui model perubahan 1996-2006 oleh MLP dan *markove chain*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3. 1 Hasil klasifikasi tutupan lahan mangrove tahun 1996, 2006, dan 2016

Peta persebaran hutan mangrove di di Pantai Kelurahan Oesapa Barat dari tahun 1996, 2006, dan 2016 dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Hasil klasifikasi tutupan mangrove: A) Tahun 1996, B) Tahun 2006, dan C) Tahun 2016**

Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Land Change Modeler  
 Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh  
 (Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)

Hasil klasifikasi yang menginformasikan persebaran hutan mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa Barat dari tahun 1996, 2006, dan 2016 dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil ini diperoleh dari penggunaan algoritma *maximum likelihood* yang didasarkan pada 3 kelas penggunaan lahan, yaitu mangrove, nonmangrove, dan perairan. Selanjutnya, hasil klasifikasi dari masing-masing tahun dilakukan uji akurasi yaitu membandingkan hasil klasifikasi dengan *ground truth* melalui *confusion matrix* (Congalton, 1991). Nilai akurasi keseluruhan, statistik kappa, akurasi pengguna, dan akurasi produser disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Perbandingan akurasi klasifikasi**

Tahun	Akurasi keseluruhan (%)	Kappa Koefisien	Akurasi pengguna Mangrove (%)	Akurasi produser Mangrove (%)
1996	97,12	0,96	100	92,31
2006	91,89	0,87	100	75
2016	91,21	0,87	100	76,47

Model klasifikasi *maximum likelihood* menunjukkan hasil yang cukup baik dalam memetakan hutan mangrove dibuktikan dengan nilai *overall accuracy* tahun 1996, 2006, dan 2016  $\geq$  85%. Hasil klasifikasi tahun 1996 memiliki *overall accuracy* tertinggi yaitu sebesar 97,12%, hal ini menunjukkan klasifikasi menggunakan *maximum likelihood* dapat menghindari kesalahan interpretasi sebesar 97,12%. Pada tahun 1996 menunjukkan nilai akurasi keseluruhan sebesar 97,12% dengan indeks kappa 0,96 Hasil akurasi tahun 2006 menunjukkan nilai akurasi keseluruhan sebesar 91,89% dengan indeks kappa 0,87. Hasil akurasi tahun 2016 menunjukkan nilai akurasi keseluruhan sebesar 91,21% dengan indeks kappa 0,87. Tinggi nilai tersebut mengindikasikan bahwa teknik klasifikasi menggunakan algoritma *maximum likelihood* dapat dijadikan solusi untuk memetakan hutan mangrove dan penutup lahan di area pesisir. Setelah dilakukan klasifikasi citra, dilakukan juga perhitungan luas hutan mangrove untuk mengetahui perubahan luas hutan mangrove dari tahun 1996, 2006 dan 2016. Adapun hasil perhitungan luas lahan mangrove dari tahun 1996, 2006 dan 2016 (Tabel 2)

**Tabel 2. Luas hasil klasifikasi**

Tahun	Kelas Tutupan Lahan						Total Luas
	Nonmangrove		Mangrove		Laut		Area (ha)
	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)	
1996	150,75	20,32	17,64	2,38	573,66	77,31	742,05
2006	144,36	19,45	18,90	2,55	578,79	78,00	
2016	136,44	18,39	17,55	2,37	588,06	79,25	

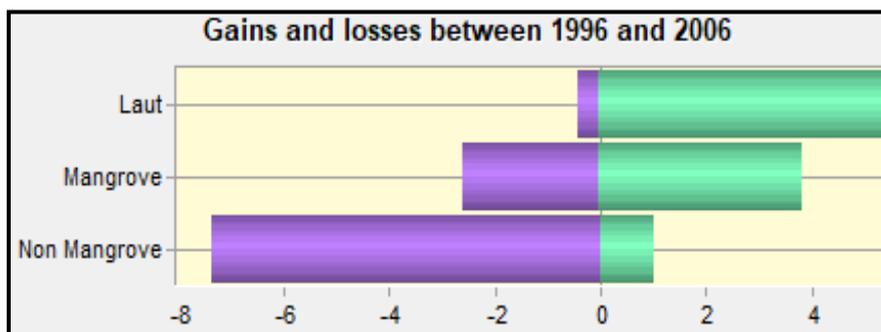
Pada tahun 1996 hutan mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa Barat memiliki luasan sebesar 17,64 Ha. Pada tahun 2006 mangrove dan laut mengalami peningkatan luas dimana luas mangrove dan laut masing-masing adalah 18,9 ha dan 578,79 ha. Luas laut pada tahun 2016 mengalami peningkatan yaitu menjadi 588,06 ha, sedangkan kelas nonmangrove terus mengalami penurunan dari tahun 2006 menjadi 136,44 ha. Penurunan kelas nonmangrove dari tahun 2006 ke 2016 disebabkan adanya pasang yang tinggi yang menyebabkan sebagian area terendam laut. Meskipun terjadi pasang surut tinggi pada tahun 2006, namun luas mangrove mengalami peningkatan dikarenakan berhasilnya kegiatan rehabilitasi berupa penanaman mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa barat pada tahun 2002. Faktor lain yang mempengaruhi cepatnya pertumbuhan mangrove adalah curah hujan. Menurut Zami (2009),

pada periode 2006, terjadi curah hujan yang tinggi pada provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) mencapai 1743,00 mm. Selain karena curah hujan dan pasut, topografi wilayah Pantai Kelurahan Oesapa Barat yang relatif datar turut mempengaruhi pertumbuhan *mangrove* sehingga membuat *mangrove* tumbuh semakin luas.

Pada tahun 2016 mangrove mengalami penurunan luasan sebesar 1,35 ha. Penurunan tersebut disebabkan karena adanya pasang tertinggi dari dua tahun sebelumnya yaitu sebesar 0,8 m. Pasut yang mencapai ketinggian pasang yang mencapai 1-1,5 meter akan mengakibatkan banjir rob (Riberu, dkk, 2018). Faktor lain adalah curah hujan pada tahun 2016 yang tidak begitu tinggi dengan rata-rata sekitar 993 mm sehingga kurang mempengaruhi pertumbuhan *mangrove* maka *mangrove* pada tahun 2016 mengalami penurunan luasan namun tidak begitu signifikan.

### 3. 2 Perubahan penutupan lahan tahun 1996-2006

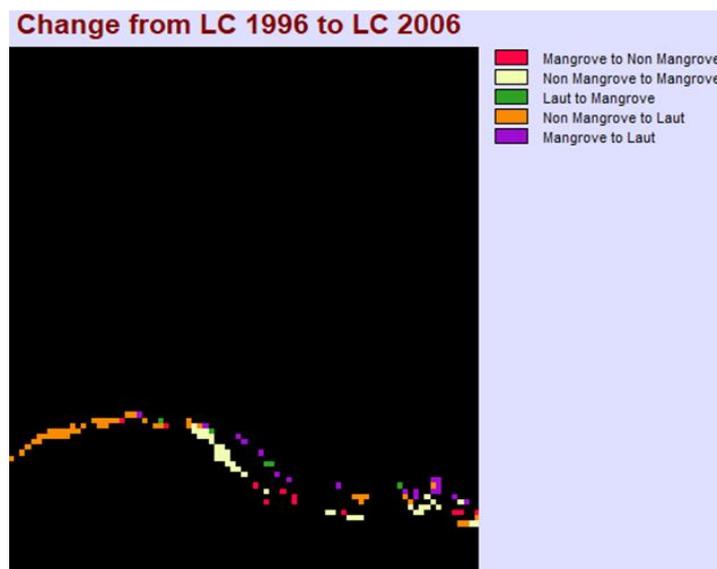
Perubahan penutupan lahan tahun 1996 dan tahun 2006 diperoleh melalui analisis *land change modeler*. Hasil analisis perubahan tahun 1996 dan tahun 2006 menggambarkan penambahan (*gain*) dan pengurangan (*loss*) luas tiap jenis penutup lahan di Pantai Kelurahan Oesapa Barat (Gambar 4). Berdasarkan analisis gain dan loss, area nonmangrove menunjukkan banyak kehilangan dibandingkan bertambah, sebaliknya untuk area mangrove dan laut menunjukkan sedikit kehilangan dibandingkan bertambah.



Gambar 4. Perubahan Penutupan Lahan Tahun 1996 dan Tahun 2006

Selama periode tahun 1996 sampai 2006 terdapat 5 kelas perubahan lahan di pantai Kelurahan Oesapa Barat yang didominasi oleh nonmangrove menjadi laut dengan luas perubahan sebesar 3,96 ha. Perubahan yang relatif kecil adalah dari Laut menjadi mangrove sebesar 0,45 ha. Distribusi spasial perubahan lahan tahun 1996 dan tahun 2006 dapat dilihat pada Gambar 5.

Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Land Change Modeler  
 Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh  
 (Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)



Gambar 5. Peta perubahan lahan tahun 1996 dan tahun 2006

### 3.3 Pemodelan perubahan penutupan lahan

Pemodelan dilakukan untuk mengetahui perubahan kelas *mangrove* menjadi kelas lain (*nonmangrove* dan laut) ataupun sebaliknya pada periode 1996-2006. Proses ini menggunakan metode *multi layer perceptron* (Tabel 3) dan faktor pendukung berupa jarak permukiman dan jarak garis pantai yang telah dilakukan uji koefisien *cramer*. Hasil uji *cramer* untuk jarak permukiman dan jarak garis pantai  $>0,4$ , karena suatu variabel uji *cramer* dinyatakan baik dan memiliki pengaruh terhadap perubahan lahan jika bobot uji *cramer*  $>0,4$  (Eastman, 2009 dalam Baysal, 2013).

Tabel 3. Hasil simulasi *multi layer perceptron* (MLP)

Non mangrove to mangrove	Mangrove to non mangrove
Running statistics	Running statistics
Iterations : 10000 Learning rate : 0.0010	Iterations : 10000 Learning rate : 0.0000
Training RMS : 0.3870 Testing RMS : 0.3845	Training RMS : 0.4485 Testing RMS : 0.4477
Accuracy rate : 87.50% Skill measure : 0.7500	Accuracy rate : 81.25% Skill measure : 0.6250
Mangrove to laut	Laut to mangrove
Running statistics	Running statistics
Iterations : 10000 Learning rate : 0.0000	Iterations : 10000 Learning rate : 0.0010
Training RMS : 0.4485 Testing RMS : 0.4477	Training RMS : 0.2679 Testing RMS : 0.3105
Accuracy rate : 81.25% Skill measure : 0.6250	Accuracy rate : 87.50% Skill measure : 0.7500

Nilai *accuracy rate* yang dihasilkan melebihi nilai yang disarankan yaitu  $>80\%$  (Eastman, 2006). Untuk memperoleh *accuracy rate*  $>80\%$  dilakukan simulasi berulang hingga memperoleh akurasi yang sesuai. Iterasi yang dilakukan sebanyak 10000 kali. Keluaran

yang dihasilkan dari *running MLP* adalah Peta potensi transisi perubahan suatu kelas ke kelas lainnya.

### 3. 4 Prediksi penutupan lahan tahun 2016

Prediksi peta perubahan lahan 2016 didasarkan pada potensi transisi tahun 1996 dan 2006 menggunakan markov. Hasil matriks probabilitas markov ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Matriks Probabilitas Transisi Tahun 2016**

Kelas	Nonmangrove	Mangrove	Laut
Nonmangrove	0,951	0,023	0,026
Mangrove	0,056	0,852	0,092
Laut	0,000	0,001	0,999

Matriks probabilitas transisi merupakan hasil pendugaan kemungkinan berubahnya suatu kelas menjadi kelas lainnya dengan jumlah piksel tertentu berdasarkan data tahun awal ( $t_1$ ) dan tahun akhir ( $t_2$ ). Matriks probabilitas transisi menunjukkan persentase kemungkinan perubahan penggunaan lahan. Matriks pada Tabel 4 menggambarkan probabilitas transisi ke tiga kelas penutupan lahan, yaitu nonmangrove, mangrove, dan laut. Probabilitas transisi dari mangrove ke laut dan nonmangrove tinggi. Sedangkan, laut adalah penggunaan lahan yang paling tidak berubah. Selanjutnya, model peta tahun 2016 ini divalidasi dengan membandingkan peta hasil prediksi tahun 2016 dengan peta penutupan lahan aktual 2016 menggunakan *kappa index*.

Kstandard	= 0.9166
Kno	= 0.9569
Klocation	= 0.9462
KlocationStrata	= 0.9462

**Gambar 6. Validasi kappa model prediksi peta penutupan lahan tahun 2016**

Hasil validasi peta penutupan lahan prediksi dan aktual tahun 2016 menghasilkan *Kstandard* sebesar 0,9166 (Gambar 6). Nilai *Kstandard* ini menunjukkan kesesuaian yang sangat baik antara hasil model prediksi dengan penutupan lahan aktual karena menghasilkan validasi kappa sebesar  $>0,8$  (**Tang, dkk, 2021**). Model ini masuk dalam kategori *Almost Perfect Agreement*. Oleh karena itu, model prediksi penutupan lahan tahun 2016 dapat digunakan untuk memproyeksikan penutupan lahan tahun 2026.

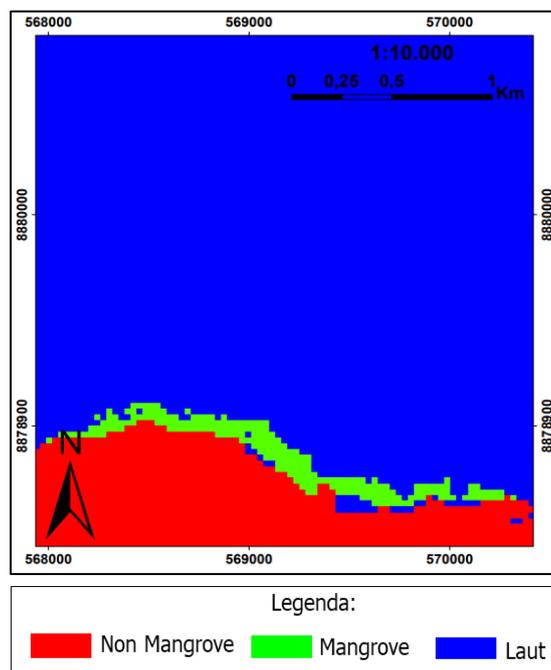
### 3. 5 Prediksi penutupan lahan tahun 2026

Berdasarkan model peta penutupan lahan tahun 2016 yang telah valid maka peta prediksi mangrove tahun 2026 akan di simulasikan. Prediksi peta perubahan lahan tahun 2026 didasarkan pada potensi transisi tahun 1996 dan 2006 menggunakan markov. Hasil matriks probabilitas markov dan peta prediksi penggunaan lahan tahun 2028 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 7.

Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Land Change Modeler Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh  
(Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)

**Tabel 5. Matriks Probabilitas Transisi Tahun 2026**

Kelas	Nonmangrove	Mangrove	Laut
Nonmangrove	0,906	0,041	0,053
Mangrove	0,101	0,727	0,172
Laut	0,000	0,002	0,999



**Gambar 7. Peta prediksi tahun 2026**

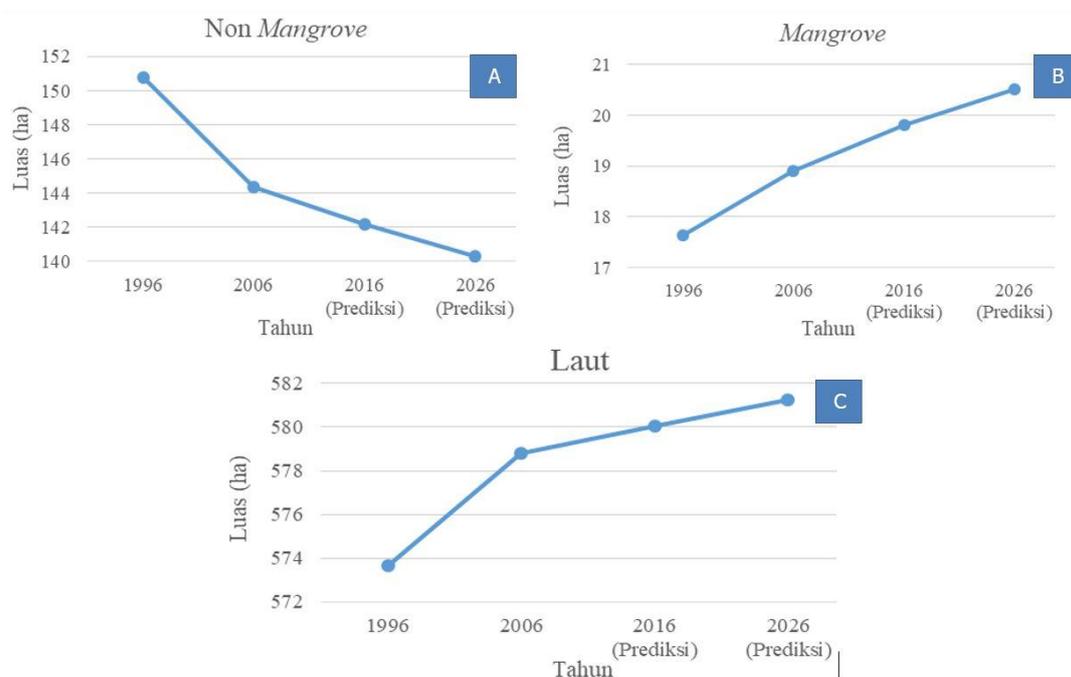
Probabilitas perubahan lahan non *mangrove* menjadi *mangrove* adalah 4,1% sedangkan laut menjadi *mangrove* sebesar 0,2%. Terdapat nilai probabilitas 0 pada kelas perubahan laut menjadi *mangrove* ini mendakan bahwa tidak adanya peluang berubahnya suatu kelas penutupan lahan. Adapun luas penggunaan hasil prediksi tahun 2028 dibandingkan dengan tahun sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Luas penutupan lahan hasil peta aktual dan prediksi**

Kelas	Satuan	Tahun			
		Aktual (1996)	Aktual (2006)	Prediksi (2016)	Prediksi (2026)
<i>mangrove</i>	area (ha)	17,64	18,90	19,80	20,52
	(%)	2,38	2,55	2,67	2,77
non <i>mangrove</i>	area (ha)	150,75	144,36	142,20	140,31
	(%)	19,45	19,45	19,16	18,91
Laut	area (ha)	573,66	578,79	580,05	581,22
	(%)	77,31	78,00	78,17	78,33
Total luas (ha)		742,05			

Secara umum luas penggunaan lahan hasil klasifikasi pada tahun 1996 (aktual), 2006 (aktual), 2016 (prediksi), dan 2026 (prediksi) mengalami peningkatan kelas mangrove dan laut, sedangkan kelas nonmangrove mengalami penurunan. Kelas mangrove memiliki luasan

tertinggi diprediksi pada tahun 2026 yaitu sebesar 20,52 ha, sedangkan terendah adalah tahun 1996 sebesar 17,64 ha. Kelas laut adalah kelas yang mendominasi luasan, dimana luasan tertinggi diprediksi pada tahun 2026 yaitu sebesar 581,22 ha dan terendah adalah tahun 1996 yaitu sebesar 577,31 ha. Sedangkan untuk kelas nonmangrove secara umum mengalami penurunan dimana luasan tertinggi adalah tahun 1996 sebesar 150,75 ha dan menurun dari tahun ke tahun hingga terendah adalah di tahun 2026 yaitu sebesar 140,31 ha. Tren perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8. Tren perubahan lahan: A) Nonmangrove, B) Mangrove, dan C) Laut**

Perubahan luas non mangrove prediksi tahun 2016-2026 mengalami penurunan dari tahun 1996-2006. Perubahan ini dikarenakan ada faktor pendorong perubahan yang digunakan untuk pemodelan yakni, jarak permukiman yang memiliki bobot terhadap non mangrove 0,902 dan jarak garis pantai berbobot sebesar 0,525 yang memberikan pengaruh penurunan luasan non mangrove pada tahun 2026. Luasan kelas mangrove mengalami peningkatan luasan dari tahun 2016 ke tahun 2026. Faktor yang mempengaruhi perubahan luasan ini yakni jarak garis pantai dan jarak permukiman yang digunakan sebagai faktor pendorong perubahan. Jarak mangrove yang dekat dengan faktor pendorong garis pantai dan permukiman membuat mangrove memiliki potensi perubahan, dan perubahan yang dipengaruhi oleh faktor pendorong ialah peningkatan luasan mangrove. Kelas laut mengalami peningkatan luasan pada tahun 2026 dengan mengikuti pola peningkatan tahun 1996-2006. Faktor pendorong yang berpengaruh terhadap perubahan luasan laut yakni jarak garis pantai dengan bobot 0,549 dan permukiman berbobot 0,929 terhadap kelas laut yang memberi pengaruh peningkatan luasan laut.

#### 4. KESIMPULAN

Integrasi citra landsat dan *land change modeler* digunakan untuk mengetahui perubahan tutupan mangrove tahun 1996, 2006, 2016, dan memprediksi *tutupan mangrove tahun 2026* menggunakan algoritma *maximum likelihood*. Hasil klasifikasi penutupan lahan mangrove

tahun 1996, 2006, dan 2016 menggunakan *maximum likelihood* berfluktuatif yakni mengalami peningkatan maupun penurunan luasan. Pada tahun 1996-2006 *mangrove* mengalami peningkatan sebesar 1,26 ha, dan pada tahun 2006-2016 terjadi perubahan luasan kawasan hutan *mangrove* yang mengalami penurunan luasan sebesar 1,35 ha. Perubahan luas kawasan hutan *mangrove* selama periode 1996-2016 dapat disebabkan karena faktor pasang surut dan curah yang tinggi, sedangkan hasil prediksi hutan *mangrove* menggunakan *land change modeler*, menunjukkan tren peningkatan luasan mangrove sebesar 17,64 ha pada tahun 1996 (aktual), 18,90 ha pada tahun 2006 (aktual), 19,80 ha pada tahun 2016 (prediksi), dan 20,52 ha pada tahun 2026 (prediksi). Peningkatan luasan mangrove disebabkan oleh berhasilnya kegiatan rehabilitasi berupa penanaman mangrove di Pantai Kelurahan Oesapa Barat pada tahun 2002.

## 5. DAFTAR RUJUKAN

- Al Amin, A. R. (2017). *Optimasi Sebaran Titik GCP Dan ICP Pada Proses Ortorektifikasi Citra Resolusi Tinggi Untuk Pembuatan Peta Skala 1: 5.000 (Studi Kasus: 1 Scene Citra Pleiades 033 Lumajang)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental conservation*, 29(3), 331-349.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6, 195-219.
- Baran, E., & Hambrey, J. (1999). Mangrove conservation and coastal management in southeast Asia: What impact on fishery resources? *Marine Pollution Bulletin*, 37(8-12), 431-440.
- Barbier, E. B. (2006). Natural barriers to natural disasters: replanting mangroves after the tsunami. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(3), 124-131.
- Brondizio, E. S., Moran, E. F., Mausel, P., & Wu, Y. (1994). Land use change in the Amazon estuary: Patterns of Caboclo settlement and landscape management. *Human Ecology*, 22(3), 249-278.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martinez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., & Mulder, K. (2008). The value of coastal wetlands for hurricane protection. *Ambio*, 241-248.
- Damanik, D. E., Penkari, K. M., & Penkari, N. A. (2019). VALUASI EKONOMI HUTAN MANGROVE PANTAI OESAPA BARAT KOTA KUPANG. *SAINSTEK*, 4(1), 197-206.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarto, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), 293-297.
- Duke, N. C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., . . . Field, C. D. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317(5834), 41-42.
- Ellison, A. M., Bank, M. S., Clinton, B. D., Colburn, E. A., Elliott, K., Ford, C. R., . . . Lovett, G. M. (2005). Loss of foundation species: consequences for the structure and dynamics of forested ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(9), 479-486.
- Fahmi, M. A. F. (2014). *Identifikasi Tumbuhan Mangrove di Sungai Tallo Kota Makassar Sulawesi Selatan*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar,
- Fatoyinbo, T. E., Simard, M., Washington-Allen, R. A., & Shugart, H. H. (2008). Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G2).

- Feller, I. C., Friess, D. A., Krauss, K. W., & Lewis, R. R. (2017). The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, 803(1), 1-12.
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., . . . Shi, S. (2019). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89-115.
- Giesen, W. (1993). *Indonesia's Mangroves: An Update on Remaining Area & Main Management Issues*. Asian Wetland Bureau (AWB).
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., . . . Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159.
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global change biology*, 26(10), 5844-5855.
- Halder, N. K., Merchant, A., Misbahuzzaman, K., Wagner, S., & Mukul, S. A. (2021). Why some trees are more vulnerable during catastrophic cyclone events in the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh? *Forest Ecology and Management*, 490, 119117.
- Hamilton, S. E., & Casey, D. (2016). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 25(6), 729-738.
- Han, H., Yang, C., & Song, J. (2015). Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability*, 7(4), 4260-4279.
- Haya, N., Zamani, N., & D Soedharma, D. (2015). Analisis struktur ekosistem mangrove di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan IPB*, 6(1), 79-89.
- Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., & Nath, T. K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 37-47.
- Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(01), 773-783.
- Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and Prediction of Land Use Land Cover Change Dynamics Based on Land Change Modeler (LCM) in Nashe Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740.
- Lo, C., & Choi, J. (2004). A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2687-2700.
- Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Friess, D. A., Guntenspergen, G. R., Krauss, K. W., Reef, R., . . . Swales, A. (2015). The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, 526(7574), 559-563.
- Mayaux, P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H., Stibig, H.-J., & Branthomme, A. (2005). Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 373-384.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. (2012). Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia.
- Mozgeris, G., & Juknelienė, D. (2021). Modeling Future Land Use Development: A Lithuanian Case. *Land*, 10(4), 360.

Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Land Change Modeler  
Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh  
(Studi Kasus: Pantai Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur)

- Mumby, P. J., Edwards, A. J., Arias-Gonzalez, J. E., Lindeman, K. C., Blackwell, P. G., Gall, A., . . . Renken, H. (2004). Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, *427*(6974), 533-536.
- Nay, S. (2016). *PEMANFAATAN CITRA LANDSAT UNTUK PEMETAAN MANGROVE*. ITN MALANG,
- Nourqolipour, R., Shariff, A. R. B. M., Balasundram, S. K., Ahmad, N. B., Sood, A. M., Buyong, T., & Amiri, F. (2015). A GIS-based model to analyze the spatial and temporal development of oil palm land use in Kuala Langat district, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, *73*(4), 1687-1700.
- Regmi, R., Saha, S., & Balla, M. (2014). Geospatial analysis of land use land cover change modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal by using Cellular Automata Markov Model. *Int. J. Curr. Eng. Tech*, *4*(4), 2617-2627.
- Romañach, S. S., DeAngelis, D. L., Koh, H. L., Li, Y., Teh, S. Y., Barizan, R. S. R., & Zhai, L. (2018). Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, *154*, 72-82.
- Saintilan, N., Khan, N., Ashe, E., Kelleway, J., Rogers, K., Woodroffe, C. D., & Horton, B. (2020). Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science*, *368*(6495), 1118-1121.
- Spalding, M. (2010). *World atlas of mangroves*. Routledge.
- Uddin, M. S., van Steveninck, E. d. R., Stuij, M., & Shah, M. A. R. (2013). Economic valuation of provisioning and cultural services of a protected mangrove ecosystem: A case study on Sundarbans Reserve Forest, Bangladesh. *Ecosystem Services*, *5*, 88-93.
- Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments: At least 35% of the area of mangrove forests has been lost in the past two decades, losses that exceed those for tropical rain forests and coral reefs, two other well-known threatened environments. *Bioscience*, *51*(10), 807-815.
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, *61*(4), 309-324.
- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., . . . Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, *89*(2), 220-236.
- Wu, Q., Li, H.-q., Wang, R.-s., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., . . . Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*, *78*(4), 322-333.
- Yirga, A., Addisu Legesse, S., & Mekuriaw, A. (2020). Carbon stock and mitigation potentials of Zeghie natural forest for climate change disaster reduction, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Earth Systems and Environment*, *4*(1), 27-41.
- Zahir, I. L. M., Thennakoon, S., Sangasumana, R., Herath, J., Madurapperuma, B., & Iyoob, A. L. (2021). Spatiotemporal Land-Use Changes of Batticaloa Municipal Council in Sri Lanka from 1990 to 2030 Using Land Change Modeler. *Geographies*, *1*(3), 166-177.