



## Model Penduga Biomassa Hutan Mangrove Menggunakan Citra Satelit Sentinel -2A di Kabupaten Rembang Jawa Tengah

Ashari Ramadhan, Siman Suwadji\*)

Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Stiper Yogyakarta

\*)email korespondensi: [siman@instiperjogja.ac.id](mailto:siman@instiperjogja.ac.id)

### ABSTRACT

*Mangrove forest is one of the forests that has the highest carbon storage in the tropics and is very high compared to the average carbon storage in various other forest types in the world, which contains around 1.023 Mg of carbon per hectare. This study aims to obtain a model for estimating the biomass potential of mangrove forests in Rembang Regency by utilizing Sentinel-2A Satellite imagery and making a map of the distribution of mangrove forest biomass potential through the best equation model. Sampling was done by purposive systematic sampling method. The correlation test results obtained a value of 0.640 which states that there is a strong relationship between biomass and NDVI. Biomass estimation modeling uses equation models namely Linear, Quadratic, Power, and Exponential. Model selection is done by considering several parameters such as  $R^2$ , RMSE, Bias,  $\chi^2$ -hit, SA, and SR. The selected model for estimating mangrove forest biomass potential is the quadratic model  $B = 17.4 - 110.2 ndvi + 220 ndvi^2$  with an  $R^2$  value of 0.474, RMSE value of 51.55, Chi-square test result of 3.46 and has the highest score value. The potential biomass distribution map generated from the selected model consists of 3 classes, namely classes < 3.7 (tons/ha), 3.7-10.5 (tons/ha), 10.5-35.7 (tons/ha). Mangrove forests in Rembang Regency have dominant biomass potential in the 10.5-35.7 (tons/ha) class.*

**Keywords:** biomass; mangrove; NDVI; Sentinel-2A

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki hutan mangrove yang berpotensi besar dalam menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer yang disimpan dan diubah dalam bentuk biomassa. Hutan mangrove memiliki simpanan karbon tertinggi di kawasan tropis dibandingkan rerata simpanan karbon pada berbagai tipe hutan lainnya di dunia. Hutan mangrove mengandung sekitar 1.023 Mg karbon per hektar (Donato et al., 2012). Agar hutan mangrove dapat dimasukkan dalam upaya mitigasi iklim, pengetahuan tentang sebaran spasial cadangan karbon mangrove menjadi sangat penting (Sanderman et al., 2018).

Seiring perkembangan metode dan teknologi dalam menduga biomassa, maka perlu data yang cepat, mudah, dan akurat untuk menduga potensi biomassa, salah satunya dengan

analisis menggunakan data penginderaan jauh. Menurut Yancho et al. (2020), data penginderaan jauh memiliki manfaat yang mapan untuk memetakan dan memantau distribusi multi-tanggal ekosistem mangrove dan mengukur perubahan dari waktu ke waktu. Penelitian pemodelan potensi biomassa hutan mangrove yang memanfaatkan citra satelit telah banyak dilakukan, baik tingkat nasional maupun internasional. Yusandi (2015), memperoleh model esponensial sebagai model terpilih untuk menduga biomassa mangrove  $B = 0.00023404 e^{(20 ndvi)}$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 77.1 %. Model terpilih dipergunakan untuk membuat klasifikasi sebaran biomassa mangrove menjadi tiga kelas yaitu kelas 1-45 (ton/ha), 45-100 (ton/ha), dan >100 (ton/ha).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model penduga potensi biomassa pada hutan mangrove di Kabupaten Rembang dengan memanfaatkan citra Satelit Sentinel-2A dan membuat peta sebaran potensi biomassa hutan mangrove melalui model persamaan terpilih. Pada penelitian ini citra yang digunakan adalah citra Satelit Sentinel-2A yang memiliki resolusi spasial sebesar 20 meter sampai 10 meter dan terdiri dari 13 *band*, yang diharapkan mampu memperkecil kesalahan dalam menduga potensi biomassa hutan mangrove yang berada di Kabupaten Rembang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Hutan Mangrove yang berada Kabupaten Rembang Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di Kecamatan Rembang dan Kecamatan Kaliwiro, karena hanya di dua kecamatan tersebut yang terdapat hutan mangrove. Kegiatan penelitian ini dilakukan pada bulan Juni – September 2023. Pengambilan data lapangan dilaksanakan pada tanggal 14 -16 Juli 2023.

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Phi band, hagameter, tali tambang, kantong plastik, timbangan portabel, oven, tally sheet data lapangan, aplikasi Avenza, Microsoft Excel, SPSS V.24, dan ArcGIS 10.8. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah vegetasi mangrove, data primer, dan data sekunder. Data primer dan data sekunder yang digunakan pada penelitian ini tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

No.	Data Primer	Data Sekunder
1	Koordinat lokasi plot penelitian	Citra Satelit Sentinel-2A
2	Data berat basah dan berat kering dari seresah dan tumbuhan bawah	Peta RBI Kabupaten Rembang
3	Data nama jenis mangrove	Data berat jenis mangrove
4	Data Dbh, tinggi, dan tingkat dekomposisi pohon mati berdiri	

- 
- 5 Data diameter batang dan panjang pohon mati rebah
  - 6 Data Dbh dan tinggi pohon mangrove
- 

Data primer didapatkan dari plot sampel yang ditentukan menggunakan metode *purposive systematic sampling* dengan intensitas sampling sebesar 2%. Intensitas Sampling tersebut ditentukan dengan pertimbangan luas kawasan, waktu, biaya serta tenaga yang dibutuhkan. Sebanyak 13 plot yang tersebar di dua kecamatan, yaitu 7 plot di Kecamatan Rembang dan 6 plot di Kecamatan Kaliori. Dalam menentukan bentuk plot, ukuran plot dan cara pengukuran biomassa pohon mangrove dengan mengacu pada Sutaryo (2009) dan Hairiah et al., (2011). Bentuk plot yang digunakan pada penelitian ini adalah persegi. Ukuran plot dan diameter pohon yang diukur dalam plot yaitu 2 m x 2 m (<5 cm), 7 m x 7 m (5 cm – 20 cm), 25 m x 25 m (20 cm – 50 cm), 35 m x 35 m (>50 cm).

Kegiatan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pra-pengolahan citra, pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data. Proses pra-pengolahan citra dimulai dengan mengunduh data citra Sentinel-2A pada website Copernicus. Setelah data citra diunduh, dilakukan pemotongan citra (*cropping*) berdasarkan daerah sebaran mangrove. Penyusunan citra komposit menggunakan aplikasi ArcGIS dengan metode *false color*, yang terdiri dari 3 *band* yaitu 8A, 11, dan 5. Citra hasil komposit kemudian dilakukan digitasi untuk mengetahui batas dan luas sebaran mangrove menggunakan aplikasi ArcGIS 10.8.

Indeks vegetasi merupakan ukuran suatu algoritma yang diterapkan pada citra dengan multispektral, untuk menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi ataupun yang berkaitan dengan kerapatan vegetasi. Metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan salah satu index vegetasi yang mentransformasi matematis beberapa saluran sekaligus, dan menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan fenomena vegetasi (Kevin et al., 2019). Perhitungan NDVI menggunakan metode (Huete et al., 1999), persamaannya adalah :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

\*Keterangan: NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*, NIR = Nilai spektral saluran *Near Infra Red*, RED = Nilai spektral saluran *Red*.

Rumus alometrik biomassa pada hutan mangrove yang telah tersedia dipergunakan untuk menduga besarnya biomassa, berat jenis dan menimbang bobot basah maupun bobot kering. Biomassa tumbuhan bawah, serasah, dan nekromassa diukur pada plot 2 x 2 meter didapatkan dari hasil perhitungan total berat kering yang mengacu dalam Hairiah et al., (2011). Sedangkan biomassa pohon mati rebah dan pohon mati berdiri menggunakan rumus dari Sutaryo (2009).

Biomassa pohon mati rebah:

$$B = \pi \times D^2 \times h \times s/40$$

\*Keterangan: B = Biomassa (kg),  $\pi = 3,14$ , D = Diameter pohon (cm), h = Panjang kayu (m), s = Berat jenis (g/cm<sup>3</sup>), 40 = Konstanta

Biomassa pohon mati berdiri:

Data yang digunakan untuk mengukur biomassa pohon mati berdiri yaitu diameter batang dan tingkat dekomposisi. Estimasi biomassa menggunakan persamaan allometrik yang sama dengan pohon hidup. Tingkat dekomposisi ditentukan melalui cabang dan ranting yang masih tersisa dengan ketentuan sebagai berikut:

- Untuk dekomposisi tingkat satu, biomassa dikurangi dengan biomassa daun (sekitar 2% - 3% dari total biomassa atas permukaan untuk pohon berdaun lebar).
- Untuk dekomposisi tingkat 2 dan 3, proporsi bagian pohon yang hilang harus diestimasi. Estimasi cabang dan ranting yang hilang berkisar 15% - 20% dari total biomassa.

Pendugaan biomassa pohon mangrove dengan diameter lebih dari 5 cm dihitung menggunakan pendekatan model alometrik yang dikembangkan pada beberapa jenis pohon mangrove di Indonesia. Rumus alometrik untuk menduga potensi biomassa pohon mangrove tersaji pada tabel 2.

Tabel 2. Rumus alometrik untuk menduga potensi biomassa pohon mangrove

Jenis Tanaman	Rumus Allometrik	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 \times Dbh^{2,63}$	Amira (2008) dalam Kauffman & Donato, (2012)
<i>Rhizophora stylosa</i>	$B = 0,0375 \times (D^2H)^{0,98626} \times \rho$	Kauffman & Donato, (2012)
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 \times Dbh^{2,3136}$	Dharmawan, (2010)
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0,185 \times D^{2,352}$	Krisnawati, (2012)
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,0825 \times (D^2H)^{0,89966} \times \rho$	Kauffman & Donato, (2012)

\*Keterangan: B = Biomassa (kg), Dbh = Diameter setinggi dada (cm), H = Tinggi Pohon (m),  $\rho$  = Berat jenis (g/cm<sup>3</sup>)

Pendugaan biomassa mangrove yang berdiameter dibawah 5 cm dihitung menggunakan model alometrik dari Pambudi (2011).

$$B = 0.027542 \times Dbh^{3,22}$$

\*Keterangan: B = biomassa (kg), Dbh = diameter setinggi dada (cm)

Uji asumsi merupakan uji persyaratan dalam tahapan analisis data sebelum melakukan uji statistika parametrik. Dalam hal ini uji asumsi terdiri dari uji normalitas, uji linearitas dan uji heteroskedastisitas.

Uji korelasi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara peubah atau variabel yang digunakan dalam pendugaan potensi biomassa dengan menghitung nilai koefisien korelasi ( $r$ ) dengan menggunakan rumus dari Ahmaddien et al., (2019).

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{N \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{N \sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

\*Keterangan:  $r$  = nilai korelasi,  $x$  = nilai NDVI dari unit-unit plot,  $y$  = nilai potensi biomassa dari unit-unit plot,  $N$  = jumlah data

Untuk analisis hubungan antara biomassa dengan nilai NDVI pada citra Sentinel-2, digunakan model yang dapat menyusun dan menjelaskan hubungan tersebut. Model-model yang dapat dikembangkan pada penelitian ini adalah: a. Linear,  $B = a + bNDVI$ , b. Kuadratik,  $B = a + bNDVI^2$ , c. Power,  $B = aNDVI^b$ , d. Eksponensial,  $B = ae^{(bNDVI)}$

Untuk mengetahui pengaruh signifikansi koefisien regresi yang dihasilkan dalam pembuatan model terhadap potensi biomassa, maka perlu dilakukan pengujian menurut kaidah statistik. Uji koefisien regresi ini dilakukan dengan menggunakan Uji-F.

Uji validasi model terbangun dengan menggunakan perhitungan uji  $\chi^2$  (*chi-square*),  $e$  (Bias), SA (Simpangan Agregat), SR (Simpangan Rata-rata) dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Perhitungan uji  $\chi^2$  (*chi-square*) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\chi^2 - \text{hitung} = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

RMSE (*Root Mean Square Error*) digunakan untuk mengetahui seberapa besar error yang terjadi pada hasil perhitungan model jika dibandingkan dengan nilai aktual. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin kecil pula kesalahan yang terjadi pada penggunaan model. Perhitungan RMSE menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{E - O}{O} \right)^2}{n}} \times 100$$

Kesalahan sistematis yang dapat terjadi karena kesalahan dalam pengukuran, baik kesalahan teknis pengukuran maupun kesalahan karena alat ukur dinyatakan sebagai Bias ( $e$ ). Nilai  $e$  yang dapat diterima adalah nilainya yang mendekati nol. Perhitungan bias ( $e$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$e = \sum \left\{ \frac{\left( \frac{E - O}{O} \right)}{n} \right\} \times 100$$

Selisih jumlah nilai aktual dan nilai dugaan sebagai proporsional terhadap nilai dugaan atau perbedaan antara jumlah nilai aktual dan jumlah nilai dugaan disebut Simpangan Agregat (SA). Persamaan yang baik memiliki SA Antara-1 sampai +1. Nilai SA dapat dihitung dengan rumus:

$$SA = \left( \frac{\sum E - \sum O}{\sum E} \right)$$

Jumlah nilai mutlak dari selisih antara jumlah nilai dugaan dan nilai aktual, proporsional terhadap jumlah nilai dugaan disebut Simpangan Rata-rata (SR). Nilai SR menunjukkan suatu model dapat dikatakan baik jika nilainya tidak lebih dari 10%. Perhitungan SR yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$SR = \left( \frac{|\sum E - O|}{n} \right) \times 100$$

Penyusunan peringkat dilakukan dengan memberikan skor pada model-model yang diperoleh, kemudian akan terbentuk model terbaik yang dapat digunakan sesuai kriteria yang ada. Perhitungan skor menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Skor = \left( \frac{NU - max}{min - max} \times 3 \right) + 1$$

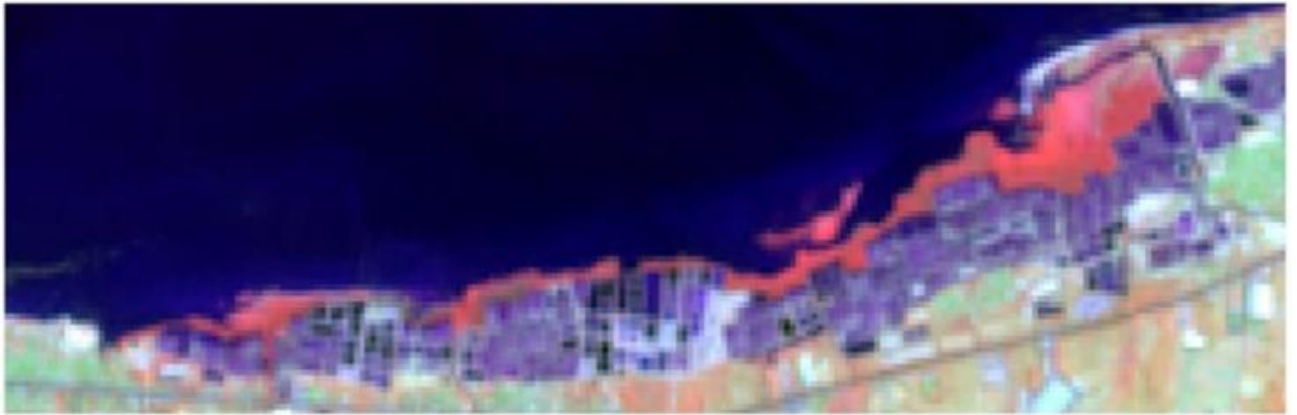
\*Keterangan: *NU* = Nilai uji dari setiap kriteria, *Max* = Nilai terbesar dari setiap kriteria, *Min* = Nilai terkecil dari setiap kriteria

Pembuatan peta sebaran dilakukan dengan bantuan software ArcGIS 10.8 untuk melakukan pemodelan spasial. Peta sebaran biomassa dibuat berdasarkan model terbaik yang memiliki skor tertinggi. Peta sebaran biomassa dibuat sebanyak 3 kelas, pengelompokan ke dalam kelas tersebut ditentukan menggunakan metode *natural breaks*.

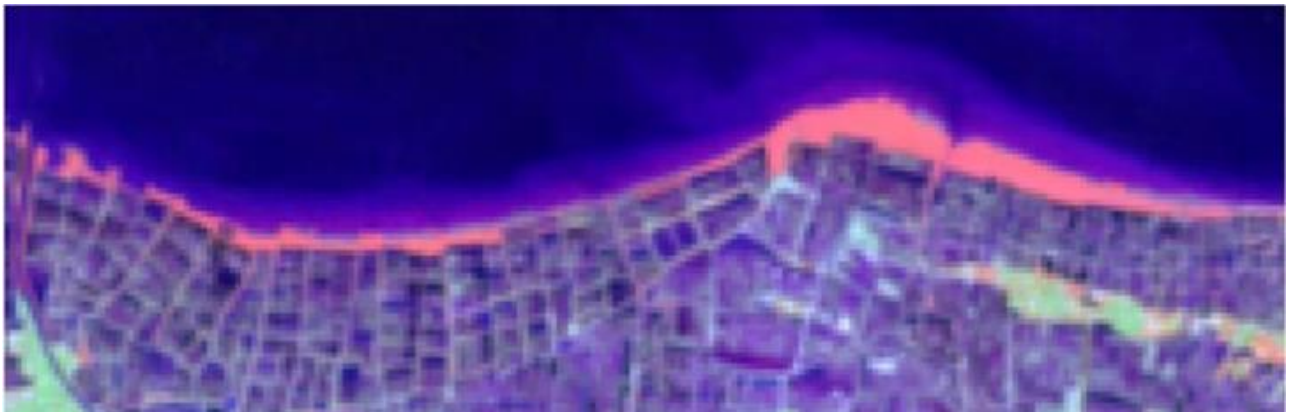
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengunduhan Citra Satelit Sentinel-2A merupakan langkah awal dalam pengolahan citra. pengunduhan data citra satelit Sentinel-2A dilakukan pada tanggal 16 Juni 2023, citra yang dipilih merupakan citra dengan waktu perekaman pada tanggal 28 Mei 2023 karena mempunyai tutupan awan kurang dari 10%.

Komposit band bertujuan untuk menampakkan mangrove secara visual pada citra dan mempermudah dalam membedakan antara mangrove dengan tumbuhan darat. Hasil komposit *band* dengan metode *false color* memunculkan kombinasi warna yang berbeda pada vegetasi mangrove, sehingga untuk mengidentifikasi mangrove dan non mangrove dapat lebih mudah dilakukan. Berdasarkan pengamatan dan pertimbangan visual warna pada citra komposit, mangrove primer ditunjukkan oleh warna merah gelap, mangrove sekunder warna merah terang, vegetasi darat ditunjukkan dengan warna orange, warna biru gelap sampai hitam adalah perairan, pemukiman ditunjukkan dengan warna hijau (Risti et al., 2013). Citra hasil komposit tersaji pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Hasil komposit *band* citra Sentinel-2A di Kecamatan Rembang



Gambar 2. Hasil komposit *band* citra Sentinel-2A di Kecamatan Kaliori

Proses pembuatan garis batas (*delineasi*) untuk membentuk dan menandai daerah sebaran mangrove menggunakan metode digitasi dengan memanfaatkan Citra Sentinel-2A dan aplikasi ArcGIS 10.8. Digitasi dilakukan berdasarkan pengamatan visual warna yang dihasilkan dari citra komposit. Berdasarkan hasil digitasi dapat diketahui luas dan batas daerah sebaran mangrove, luas total daerah sebaran mangrove di Kabupaten Rembang adalah seluas 80,20 Ha.

Hasil perhitungan NDVI menghasilkan nilai yang bervariasi antara -0,1326 sampai 0,6323. Nilai-nilai ini diklasifikasikan ke dalam 5 kelas kerapatan yang mengacu pada Wahyunto (2003) dalam Royani (2018), yaitu kelas lahan tidak bervegetasi, kehijauan sangat rendah, kehijauan rendah, kehijauan sedang, dan kehijauan tinggi. Hasil perhitungan NDVI dan luas daerah tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan NDVI dan luas daerah

Kelas	Nilai NDVI	Tingkat Kehijauan	Kecamatan Rembang		Kecamatan Kaliori	
			Luas (Ha)	Persentase (%)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	-1 < NDVI < -0,03	Lahan Tidak Bervegetasi	0,45	1	0,07	0,2
2	-0,03 < NDVI < 0,15	Kehijauan Sangat Rendah	3,48	8	2,68	7
3	0,15 < NDVI < 0,25	Kehijauan Rendah	3,82	9	3,46	9
4	0,25 < NDVI < 0,35	Kehijauan Sedang	8,74	20	5,70	15
5	0,35 < NDVI < 1	Kehijauan Tinggi	26,70	62	25,08	68
Total			43,20	100	37,00	100

Semakin besar nilai indeks vegetasi menunjukkan vegetasi berumur tua dengan vegetasi yang lebat dan kondisi tanaman yang sehat, sehingga nilai reflektannya besar karena tingginya kandungan klorofil pada tanaman tersebut. Nilai index vegetasi yang relatif kecil menunjukkan vegetasi berumur relatif muda dengan vegetasi yang rendah serta kenampakan objek tersebut didominasi adanya genangan air dengan kerapatan tanaman yang relatif rendah (Rakhmawati ,2012 dalam Royani, 2018).

Berdasarkan hasil observasi lapangan yang berada di 13 plot lokasi pengamatan ditemukan 5 jenis mangrove, yaitu *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Sonneratia alba*, dan *Avicennia marina*. Vegetasi mangrove yang berada di Kecamatan Rembang dan Kecamatan Kaliori memiliki komposisi vegetasi mangrove yang berbeda. Mangrove dari famili *Rhizophora* sp. dan *Avicennia* sp. merupakan mangrove yang paling dominan. Jenis *Rhizophora* sp. ditemukan di semua lokasi titik pengamatan yang berada di Kecamatan Rembang, karena merupakan jenis yang paling banyak dipilih masyarakat untuk rehabilitasi. Sedangkan, jenis *Avicennia* sp. paling banyak ditemukan di semua lokasi titik pengamatan yang berada di Kecamatan Kaliori

Hasil pengamatan pada lokasi plot di lapangan kemudian dinyatakan secara kuantitatif dan dikaitkan dengan nilai NDVI pada titik koordinat plot. Analisis dilakukan pada total biomassa setiap plot dan nilai NDVI pada titik lokasi plot. Hasil perhitungan nilai NDVI dan pendugaan biomassa pada 13 plot disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai NDVI dan pendugaan biomassa total pada setiap plot

Kecamatan Rembang			Kecamatan Kaliori		
No. Plot	Nilai NDVI	Biomassa Total (Ton)	No. Plot	Nilai NDVI	Biomassa Total (Ton)
1	0.47	0,687	8	0.22	0,270
2	0.55	0,368	9	0.45	0,718
3	0.49	1,080	10	0.40	0,482
4	0.42	0,532	11	0.37	0,288
5	0.59	1,971	12	0.53	0,813
6	0.48	1,375	13	0.55	2,365
7	0.48	1,421			

Berdasarkan hasil uji asumsi yang meliputi uji normalitas, uji linearitas dan uji heteroskedastisitas, menunjukkan bahwa data hasil pengamatan memiliki distribusi normal dengan p-value sebesar 0.145, terdapat hubungan linear secara signifikan dengan nilai *Deviation from Linearity* (Sig.) adalah 0.990, serta tidak terdapat gejala heteroskedastisitas pada data tersebut dengan nilai signifikansi sebesar 0.154.

Hasil pengujian korelasi menunjukkan bahwa adanya korelasi yang kuat dari hasil pendugaan potensi biomassa dengan menggunakan citra Sentinel-2A antara biomassa dengan nilai NDVI yaitu sebesar 0.640. Dengan adanya hubungan positif, artinya terdapat hubungan searah ketika nilai NDVI naik maka potensi biomassa akan naik. Hal ini sesuai dengan pendapat Puspangsih et al., (2018), menyatakan bahwa persentase vegetasi menunjukkan kerapatan vegetasi sehingga semakin rapat suatu vegetasi maka dapat diasumsikan jumlah kandungan biomassa juga semakin besar.

Penyusunan model penduga biomassa menggunakan nilai NDVI sebagai variabel X dan data biomassa yang telah dikonversi dalam luas hektar sebagai variabel Y. Model yang disusun menghasilkan model persamaan penduga potensi biomassa yang disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Model penduga potensi biomassa

No. Model	Jenis model	Model persamaan
M1	Linear	$B = 70.4 \text{ ndvi} - 17.3$
M2	Kuadratik	$B = 17.4 - 110.2 \text{ ndvi} + 220 \text{ ndvi}^2$
M3	Power	$B = 56 \text{ ndvi}^{1.9}$
M4	Eksponensial	$B = 1.1 \text{ exp}^{(5.2 \text{ ndvi})}$

\*Keterangan: *ndvi* = *Normalized Difference Vegetation Index*, B = Biomassa, *exp* = Eksponensial

Semakin tinggi nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) maka semakin tinggi pula kemampuan model dalam menjelaskan variasi variabel terikat. Nilai  $R^2$  tertinggi terdapat pada model eksponensial, artinya jika nilai  $R^2$  sebesar 0,505 menunjukkan bahwa NDVI mampu menerangkan sebesar 0,505 dari variasi dalam biomassa, sedangkan variasi sisanya dipengaruhi oleh faktor atau peubah lain. Berdasarkan hasil analisis pada uji koefisien regresi menunjukkan bahwa keempat model yang di uji mampu digunakan untuk menduga potensi

biomassa. Hal tersebut terbukti dengan nilai F-hit lebih besar dari F-tab pada semua jenis model persamaan, dimana variabel X (NDVI) berpengaruh terhadap variabel Y (Biomassa). Hasil uji koefisien regresi tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji koefisien regresi

No. Model	Jenis Model	$R^2$	$R^2_{adj}$	F-hit	F-tab
M1	Linear	0.409	0.355	7.615	0.00412
M2	Kuadratik	0.474	0.369	4.513	0.05156
M3	Power	0.470	0.422	9.747	0.00412
M4	Ekspensial	0.505	0.461	11.244	0.00412

\*Keterangan :  $R^2$  = koefisien determinasi,  $R^2_{adj}$  = koefisien determinasi terkoreksi, s = simpangan baku, F-hit = nilai uji F-hitung, F-tab = nilai F-tabel pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha$  0.05)

Validasi model bertujuan untuk membandingkan nilai yang diperoleh dari lapangan dengan model persamaan untuk mengetahui kevalidan model tersebut, hasil uji dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji validasi model penduga potensi biomassa

Jenis Model	Parameter Uji Validasi					
	RMSE	Bias	SR	SA	$\chi^2$ -hit	$\chi^2$ -tab
Linear	55.16	22.68	57.93	-0.00003	3.96	21.03
Kuadratik	51.55	25.49	28.68	0.00273	3.46	21.03
Power	57.57	13.75	41.93	-0.14870	4.31	21.03
Ekspensial	54.77	14.72	36.62	-0.13130	3.90	21.03

\*Keterangan: RMSE = *Root Mean Square Error*, SA = *Simpangan Agregat*, SR = *Simpangan Rata-rata*, dan  $\chi^2$  = *chi-square*.

Berdasarkan hasil analisis validasi model pada tabel 7, bahwa persamaan yang dianggap baik adalah yang memiliki *Simpangan Agregat (SA)* dengan kisaran -1 sampai +1, maka dapat disimpulkan bahwa hasil dari penelitian ini menunjukkan semua model persamaan yang diuji memenuhi kriteria SA, dengan nilai SA yang berkisar antara -0.14870 sampai 0.00273. Dalam penelitian ini, nilai RMSE berkisar antara 51.55 sampai 57.57, dan model kuadratik menunjukkan nilai RMSE terendah. Ini mengindikasikan bahwa model kuadratik memiliki tingkat kesalahan paling rendah dibandingkan dengan model lainnya dalam pendugaan biomassa. Model persamaan power memiliki tingkat bias yang lebih rendah dibandingkan dengan persamaan lainnya, yaitu sebesar 13.75. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa semua persamaan regresi memiliki nilai  $\chi^2$ -hitung yang lebih kecil dari  $\chi^2$ -tabel dengan tingkat kepercayaan 95%, menunjukkan penerimaan terhadap  $H_0$ . Artinya, terdapat kesesuaian antara hasil potensi biomassa yang dihasilkan oleh model regresi dengan data lapangan yang sebenarnya.

Pemilihan model dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti  $R^2$ , RMSE, Bias,  $\chi^2$ -hit, SA, dan SR. Hasil analisis menunjukkan bahwa model kuadratik merupakan model terbaik, hal ini dikarenakan model tersebut memiliki skor paling tinggi yaitu

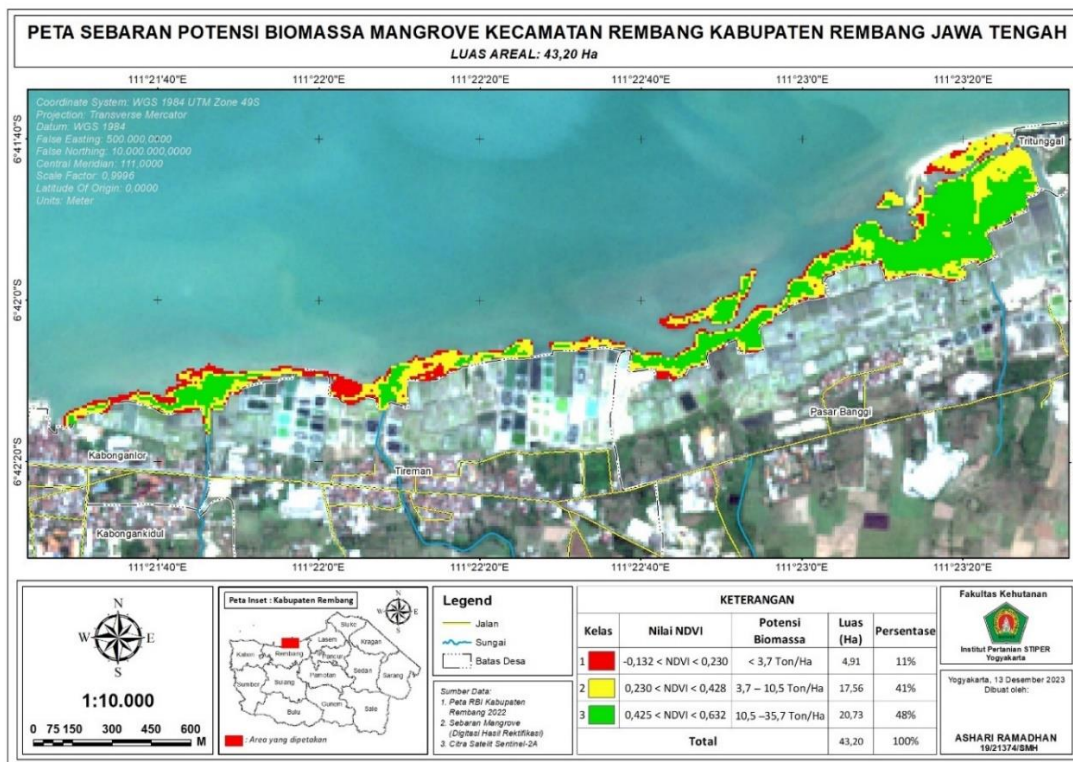
sebesar 19,04. Dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,474, nilai RMSE sebesar 51.55, nilai *Chi-square* sebesar 3.46 dan memiliki bias sebesar 25.49. Hasil perhitungan nilai skor tersaji pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan nilai skor pada model

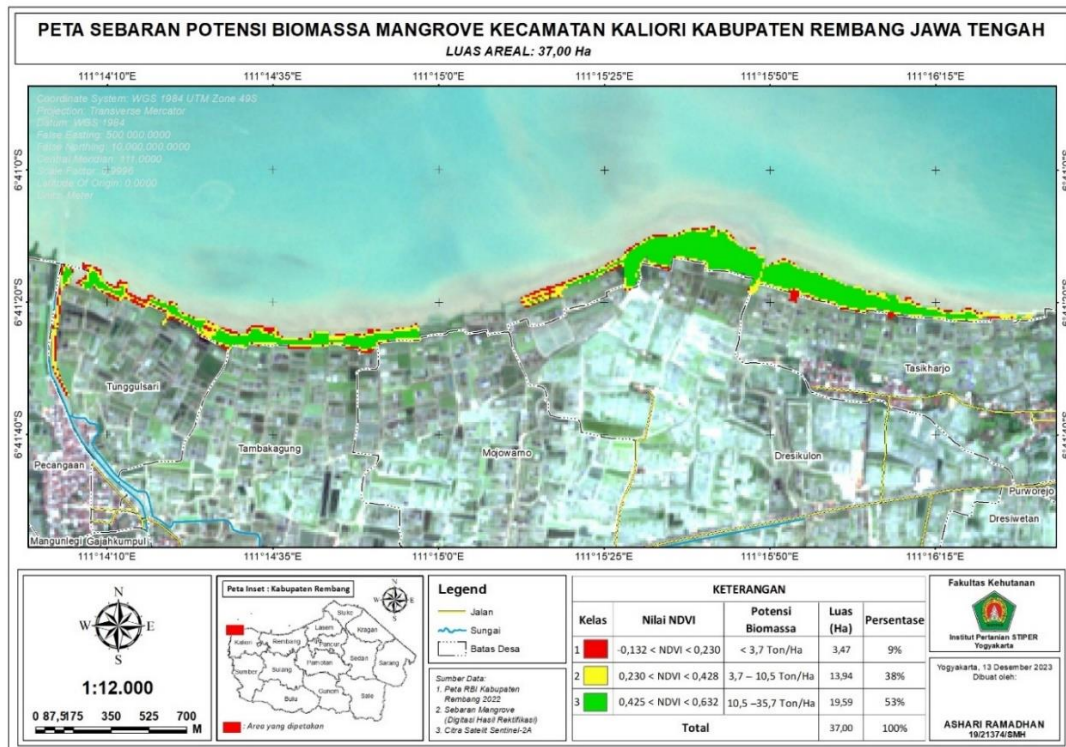
Kode Model	Hasil Perhitungan Nilai Skor						Total	Peringkat
	$R^2$	RMSE	Bias	$\chi^2$ -hit	SA	SR		
M1	4.00	2.20	1.72	2.25	4.00	1.00	15.17	2
M2	1.97	4.00	1.00	4.02	4.06	4.00	19.04	1
M3	2.09	1.00	4.00	1.00	1.00	2.64	11.74	4
M4	1.00	2.39	3.75	2.45	1.35	3.19	14.13	3

\*Keterangan :  $R^2$  = koefisien determinasi, RMSE = *Root Mean Square Error*, SA = Simpangan Agregat, SR = Simpangan Rata-rata, dan  $\chi^2$  = *chi-square*

Peta sebaran potensi biomassa dibuat berdasarkan model persamaan terpilih yang telah dilakukan pengujian berdasarkan prinsip statistika, yaitu model kuadrat  $B = 17.4 - 110.2 ndvi + 220 ndvi^2$ . Kelas sebaran potensi biomassa dibuat sebanyak 3 kelas menggunakan metode *natural breaks*, pembagian kelas ini ditentukan dengan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.8. Berdasarkan hasil pembagian kelas sebaran potensi biomassa, dihasilkan 3 kelas yaitu < 3,7 (ton/ha), 3,7-10,5 (ton/ha), 10,5-35,7 (ton/ha). Peta sebaran potensi biomassa mangrove tersaji pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Peta sebaran potensi biomassa mangrove Kecamatan Rembang



Gambar 4. Peta sebaran potensi biomassa mangrove Kecamatan Kaliori

Pada peta sebaran potensi biomassa hutan mangrove di Kabupaten Rembang menunjukkan nilai NDVI tertinggi pada kelas 0,428 sampai 0,633. Berdasarkan analisis pada peta sebaran potensi biomassa menunjukkan variasi luas potensi biomassa pada setiap kelas. Hutan mangrove di Kabupaten Rembang memiliki potensi biomassa yang dominan pada kelas 10,5 – 35,7 (ton/ha) dengan luas sebaran mencapai 20,73 Ha (48%) di Kecamatan Rembang dan seluas 19,59 Ha (53%) di Kecamatan Kaliori. Hal tersebut menunjukkan bahwa hutan mangrove di Kabupaten Rembang memiliki potensi biomassa yang tinggi

## KESIMPULAN

1. Model terpilih untuk menduga potensi biomassa yaitu model kuadratik  $B = 17.4 - 110.2 ndvi + 220 ndvi^2$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,474, nilai RMSE sebesar 51.55, hasil uji *Chi-square* sebesar 3.46 serta memiliki nilai total skor tertinggi.
2. Peta sebaran potensi biomassa yang dihasilkan dari model terpilih terdiri dari 3 kelas yaitu kelas < 3,7 (ton/ha), 3,7-10,5 (ton/ha), 10,5-35,7 (ton/ha). Hutan mangrove di Kabupaten Rembang memiliki kelas potensi biomassa yang dominan pada kelas 10,5-35,7 (ton/ha).

## SARAN

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk pengelolaan potensi biomassa hutan mangrove di Kabupaten Rembang secara berkelanjutan, khususnya kepada Cabang Dinas Kehutanan Wilayah I Jawa Tengah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmaddien, I., & Yofy Syarkani. (2019). *Statistika Terapan Dengan Sistem SPSS*. ITB Press
- Dharmawan, I. (2010). Pendugaan Biomassa Karbon Di Atas Tanah Pada Tegakan *Rhizophora Mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 50–56.
- Donato, et al. (2012). Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis. *CIFOR Brief*, 13(12), 12.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2011). Pengukuran cadangan karbon : dari tingkat lahan ke bentang lahan. *World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Huete, A. R., Didan, K., & Van Leeuwen, W. (1999). *Modis Vegetation Index. Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona* 3(1), 129.
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor. Working paper 86*.
- Kevin, V., Que, S., Prasetyo, Y. J., & Fibriani, C. (2019). Analisis Perbedaan Indeks Vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* dan *Normalized Burn Ratio (NBR)* Kabupaten Pelalawan Menggunakan Citra Satelit Landsat 8. *Indonesian Journal of Modeling and Computing*, volume 1–7.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Imanuddin, R. (2012). *Monograph Allometric Models for Estimating Tree Biomass at Various Forest Ecosystem Types in Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Pambudi, G. P. (2011). *Biomass Estimation Several Age Classes of Rhizophora apiculata Bl. At Area of PT. Bina Ovivipari Semesta Kubu Raya District, West Kalimantan*. Skripsi, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Risti, O., Arhatin, E., Prihatin, D., & Wahyuningrum, I. (2013). Algoritma Indeks Vegetasi Mangrove Menggunakan Satelit Landsat ETM+. *Jurnal : Buletin PSP*, 21(2), 215-228.
- Royani, N. (2018). Analisis Persebaran Biomassa Hutan Mangrove Berdasarkan Korelasi Nilai Indeks Vegetasi Dengan Nilai Allometrik Biomassa (Studi Kasus : Teluk Lamong Surabaya). Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Sanderman, J. (2018). *A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. Environmental Research Letters*, 13(5).
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa: Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. *Wetlands International Indonesia Programme*, Bogor.
- Yancho, J. et al. (2020). *The google earth engine mangrove mapping methodology (Geemmm). Journal Remote Sensing*, 12(22), 1–35.
- Yusandi, S. (2015). Model Penduga Biomassa Hutan Mangrove Menggunakan Citra Resolusi Sedang Di Areal Kerja Bsn Group Kalimantan Barat. Skripsi, Institut Pertanian Bogor.