



Estimasi cadangan karbon biomassa di atas permukaan pada tegakan *mangrove* menggunakan penginderaan jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan

Mangrove's carbon stock estimation using remote sensing in Tongke-Tongke, South Sulawesi

Vina Nurul Husna^a, Vincentius P. Siregar^a, Syamsul B. Agus^a, Taslim Arifin^b

^aDepartemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^bPusat Riset Kelautan, BRSDMKP-Kementerian Kelautan Perikanan, Indonesia

Article Info:

Received: 19 - 05 - 2018

Accepted: 10 - 08 - 2018

Keywords:

carbon stock, remote sensing, Tongke-tongke

Corresponding Author:

Vina Nurul Husna
Departemen Ilmu dan Teknologi
Kelautan, Fakultas Perikanan
dan Ilmu Kelautan, Institut
Pertanian Bogor
Email:
vinahusna@gmail.com

Abstract: *Mangrove is one of the most intensive carbon sinks and plays a major role in the carbon cycle. However, the existence of mangrove is decreasing due to land use change that are not in accordance with its allocation, and disrupt the carbon cycle in the ecosystem. This study aims to estimate mangrove carbon stock using remote sensing technique in Tongke-tongke, South Sulawesi. Estimation using remote sensing usually has a low accuracy, therefore this research use multispectral (Landsat) and radar (PALSAR) sensor to increase the accuracy. Total carbon stocks in the study area based on model built for HH and HV polarization were 5662.85 ton and 6431.46 ton, respectively.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Husna VN, Siregar VP, Agus SB, Arifin T. 2019. Estimasi cadangan karbon biomassa di atas permukaan pada tegakan *mangrove* menggunakan penginderaan jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan. *JPSL* 9(2): 456-466. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.456-466>.

PENDAHULUAN

Isu utama dalam perubahan iklim akibat peningkatan suhu global adalah peningkatan kandungan gas karbondioksida (CO₂) di atmosfer (Cramer *et al.* 2001; Weiss dan Leip 2012). Pada saat yang sama, jumlah hutan/pohon yang mampu menyerap gas CO₂ di atmosfer semakin berkurang akibat *illegal logging* atau konversi lahan. Hasilnya, jumlah kandungan CO₂ di atmosfer meningkat hingga 400 ppm pada tahun 2013, dibandingkan pada tahun 1750 konsentrasi CO₂ hanya 281 ppm (NASA 2018). Salah satu cara untuk mengurangi kandungan gas CO₂ di atmosfer adalah dengan metode *carbon sequestration* yaitu dengan menangkap karbon di atmosfer dan menyimpannya dalam vegetasi (biomassa). Pengukuran biomassa vegetasi yang salah satunya berupa banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman, dapat disebut sebagai karbon stok dengan pembagian di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah.

Hutan *mangrove* merupakan salah satu penyerap karbon yang intensif dan mempunyai peranan yang besar dalam siklus karbon dunia (Howard *et al.* 2014; Wicaksono *et al.* 2016). Hutan *mangrove* juga memiliki potensi yang tinggi sebagai *carbon sequestration* dan mewakili 1% dari *carbon sequestration*

global dan 14% di kawasan pesisir (Alongi 2014). Ekosistem *mangrove* merupakan salah satu ekosistem yang paling produktif di muka bumi. *Mangrove* merupakan hutan dengan vegetasi halofit ditemukan di daerah pesisir, terutama di muara sungai dan pada laguna di daerah tropis dan subtropik yang berfungsi penting untuk ekologis dan sosial-ekonomi (FAO 2007). Ekosistem *mangrove* memiliki peran yang sangat penting dalam hal dinamika lingkungan pesisir dan lautan itu sendiri, antara lain sumber bahan organik dan *nutrient* (Haryadi dan Hadiyanto 2012) sebagai habitat berbagai jenis ikan dan udang untuk mencari makan, memijah, berlindung dan bertelur (Zagars *et al.* 2013), habitat berbagai jenis fauna (Das 2017; Leung 2015), dapat digunakan sebagai media pembelajaran dan rekreasi (Wijayanto *et al.* 2013; Salam *et al.* 2000), menyerap karbon dalam perubahan iklim global (Hilmi 2017; Ahmed dan Glaser 2016; Alongi 2014), pelindung pantai dari erosi, tiupan angin dan ombak (Alongi 2008) dan penghasil kayu serta sumber daya lainnya (Aziz *et al.* 2015; Ewel *et al.* 1998).

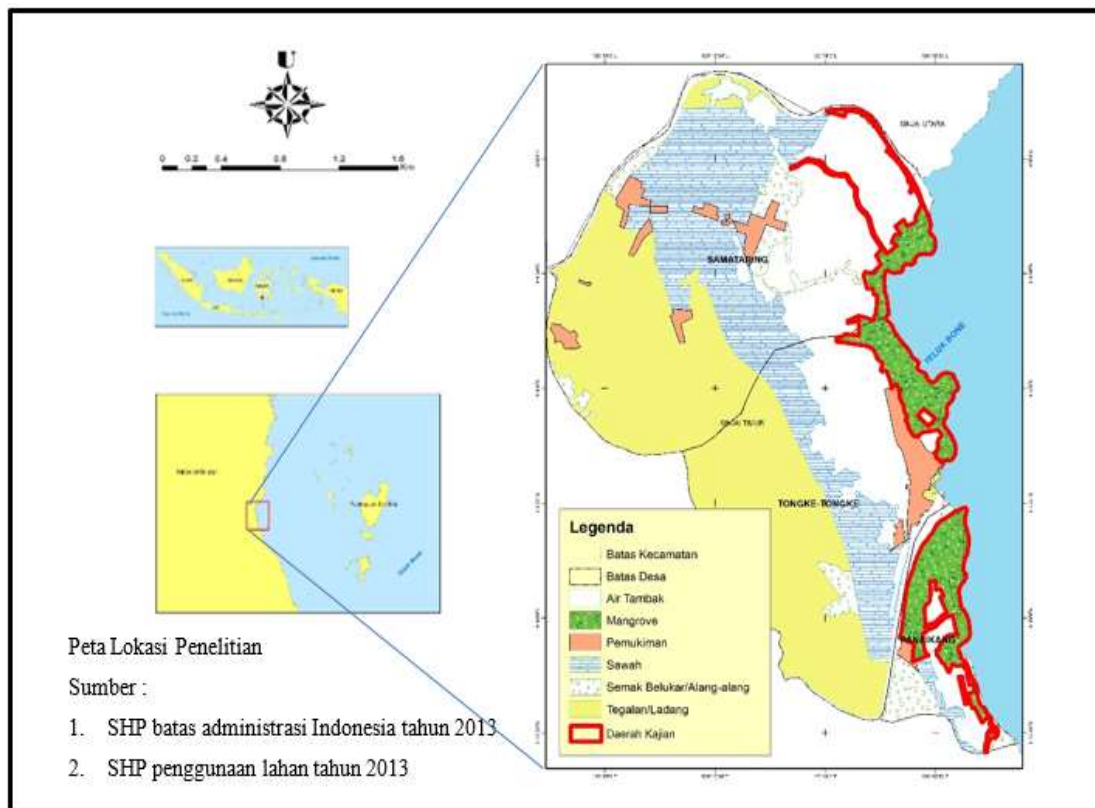
Namun, eksistensi *mangrove* semakin menurun karena adanya perubahan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan peruntukannya. Ekosistem pesisir mengalami kerusakan 340 000 sampai 980 000 hektar tiap tahunnya (Sifleet *et al.* 2011). Termasuk berkurangnya ekosistem *mangrove* di Indonesia yang penyebabnya didominasi oleh konversi dari lahan *mangrove* ke tambak (Fawzi 2016). Data rehabilitasi hutan dan lahan tahun 2011 menunjukkan bahwa penanaman *mangrove* baru terealisasi seluas 10.431 hektar (Departemen Kehutanan 2011). Hasil pengamatan lapang dan data tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan rehabilitasi *mangrove* hanya sekitar 1.973 hektar per tahun (Yanuartanti *et al.* 2016). Inventarisasi *mangrove* perlu dilakukan agar mengetahui perubahan luasan *mangrove* dari tahun ke tahun dan kemudian dapat dilakukan analisis siklus karbon yang terjadi di ekosistem tersebut (Howard *et al.* 2014). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh mampu memenuhi kebutuhan inventarisasi hutan *mangrove* karena mampu untuk meminimalkan biaya, waktu dan tenaga dibandingkan dengan pengamatan langsung di lapangan.

Penelitian ini menggunakan citra multispektral yaitu Landsat dan citra radar yaitu PALSAR. Penggunaan dua citra yang berbeda sensor karena analisis stok karbon yang tersimpan di biomassa pohon merupakan kenampakan 3 dimensi, sedangkan citra multispektral hanya mampu menampilkan informasi dua dimensi. Oleh karena itu, menggunakan citra radar yang mampu menampilkan informasi 3 dimensi. Landsat sering digunakan peneliti untuk pemetaan *mangrove* (Fei *et al.* 2011). Banyak penelitian mengenai pemetaan *mangrove* menggunakan citra Landsat, diantaranya adalah klasifikasi zonasi ekologi hutan *mangrove* di India menggunakan Landsat tahun 1999 dan 2010 dengan akurasi sebesar 80% dan 85.71% dan menghasilkan 6 kelas spesies *mangrove* yaitu *Avicennia sp*, *Excoecaria sp*, *Phoenix sp*, *Bruguiera sp*, *Ceriops sp* dan kelas campuran (Giri *et al.* 2014). Untuk pemetaan *mangrove* juga telah dilakukan oleh Opa (2010), yaitu dengan menganalisis perubahan luasan *mangrove* di Kabupaten Pohuwanto, Provinsi Gorontalo menggunakan Landsat TM. PALSAR dipilih untuk penelitian ini karena menggunakan *L-band* dimana *band* tersebut memiliki kemampuan untuk menghasilkan informasi sampai ke volume batang. Jika dibandingkan dengan citra gelombang mikro lain yang menggunakan *band* yang lebih pendek seperti X dan C, gelombang X dan C tersebut hanya mampu mengekstraksi informasi sampai ke cabang-cabang kecil sehingga informasi volume pohon tidak dapat diperoleh (Goetz *et al.* 2009). Penelitian ini bertujuan untuk estimasi cadangan biomassa karbon di atas permukaan tanah *mangrove* menggunakan penginderaan jauh.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di ekosistem *mangrove* Desa Tongke-tongke di Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan dan survei lapang dilaksanakan pada bulan Oktober 2016. Gambar 1 menunjukkan peta penggunaan lahan di daerah Tongke-tongke dan sekitarnya. Pada Gambar 1 terdapat area yang diberi tanda merah yang merupakan daerah kajian dalam penelitian yaitu kawasan *mangrove* Tongke-tongke.



Gambar 1 Peta penggunaan lahan Tongke-Tongke

Alat dan Bahan

Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data terdiri dari Microsoft Office 2013, ENVI 5.1 dan ArcGIS 10.4.1. Peralatan yang digunakan pada saat survei lapangan terdiri dari *Global Positioning System*, kamera dan pita ukur. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini antara lain citra Landsat 7 ETM dengan perekaman tanggal 14 Oktober 2008, citra Landsat 8 OLI dengan perekaman tanggal 26 September 2016 dan citra RADAR yaitu ALOS-PALSAR dengan perekaman tanggal 9 September 2008.

Metode Pengumpulan Data

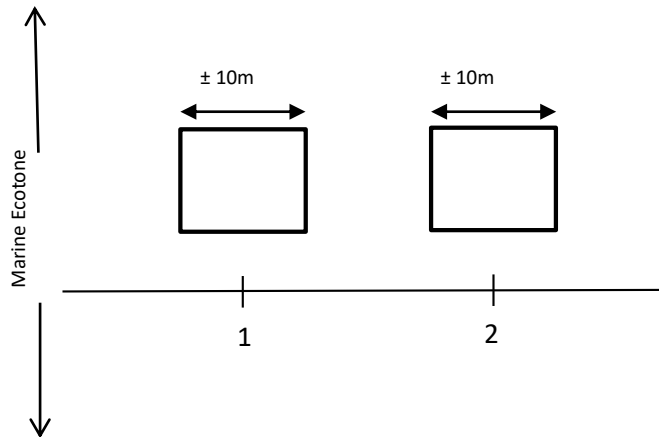
Pengolahan data citra

Pada citra Landsat 7 ETM dan Landsat 8 OLI dilakukan proses koreksi yang terdiri dari koreksi geometrik, radiometrik dan atmosferik. Citra yang sudah terkoreksi tersebut kemudian dilakukan proses klasifikasi multispektral dengan metode *maximum likelihood* untuk membedakan *mangrove* dan *non-mangrove*. Hasil klasifikasi tersebut dijadikan sebagai dasar *masking* citra, untuk mendapatkan citra hanya daerah *mangrove* saja. Hasil citra *masking* dilakukan proses transformasi indeks vegetasi. Hal yang sama juga dilakukan pada citra PALSAR. Pada citra PALSAR dilakukan kalibrasi untuk mengubah nilai *pixel* menjadi nilai dengan satuan *decibel* (dB). Citra yang sudah terkalibrasi kemudian dilakukan *masking* menggunakan hasil klasifikasi dari Landsat 7 ETM untuk menghasilkan citra PALSAR dengan cakupan daerah *mangrove* saja. Pada citra Landsat 7 dan Landsat 8 diterapkan transformasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan rumus berikut:

$$NDVI = \frac{([BV]_{\text{inframerah dekat}} - [BV]_{\text{merah}})}{([BV]_{\text{inframerah dekat}} + [BV]_{\text{merah}})}$$

Survei lapang

Pada tahap survei lapang, pengambilan data dilakukan dengan menggunakan transek, dimana di setiap transek diambil data jenis *mangrove* dan diameter pohon. Transek dibuat berdasarkan metode dari Kauffman dan Donato (2012) dimana transek disesuaikan dengan bentuk *pixel* yaitu persegi (Gambar 2). Transek berukuran (10 x 10) meter. Pengambilan sampel berdasar metode *purposive random* sampling dimana mempertimbangkan aksesibilitas dan keragaman jenis *mangrove*.

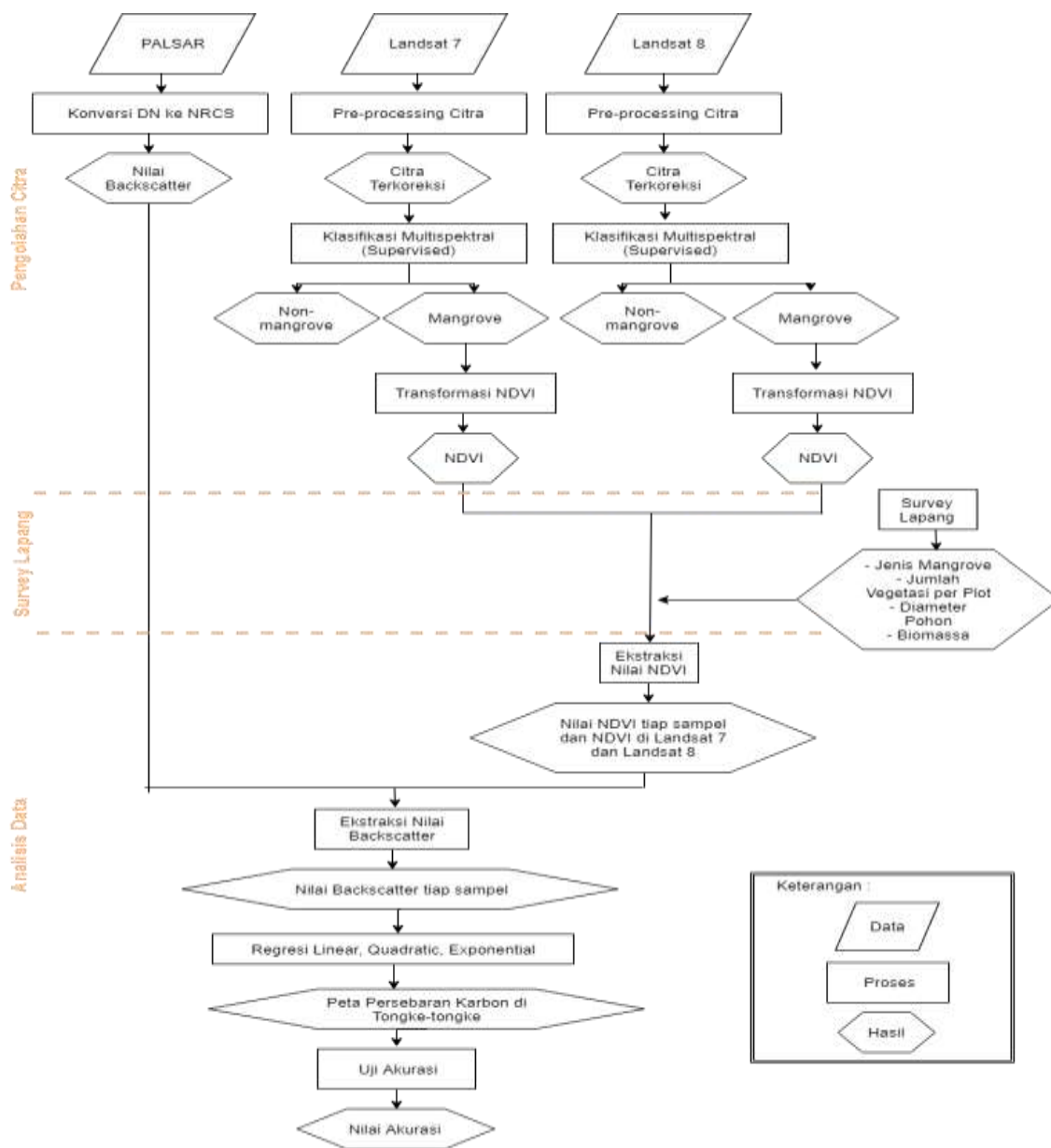


Gambar 2 Contoh transek sampel

Perhitungan cadangan karbon di lapangan menggunakan model persamaan allometrik jenis-jenis pohon *mangrove* yang sudah ada (Sutaryo 2009). Diameter pohon atau dbh (*diameter at breast height*) digunakan sebagai parameter penduga biomassa. Dbh merupakan besaran diameter pohon yang diukur setinggi dada orang dewasa atau kurang lebih 1.3 meter dari permukaan tanah.

Metode Analisis Data

Titik sampel pengukuran di lapangan kemudian diplotkan ke citra NDVI Landsat 8 untuk mengetahui besar nilai NDVI dengan nilai karbon di tiap titiknya. Setelah mendapatkan nilai NDVI tersebut kemudian dilakukan pencarian nilai NDVI yang sama di citra NDVI Landsat 7 ETM. Dari proses tersebut dihasilkan letak titik yang memiliki nilai NDVI yang sama dengan lokasi sampel. Titik tersebut kemudian dilakukan *overlay* pada citra PALSAR untuk mengetahui nilai *backscatter* pada polarisasi HH dan HV. Nilai *backscatter* dan nilai karbon dilakukan 3 macam regresi yaitu regresi linear, *quadratic* dan *exponential*. Nilai R² terbesar digunakan sebagai algoritma dasar pembentukan peta persebaran karbon di daerah kajian. Peta persebaran karbon tersebut kemudian diuji akurasi dengan jumlah sisa sampel yang tidak digunakan untuk membangun algoritma. Langkah-langkah dalam penelitian disajikan pada Gambar 3 berikut.



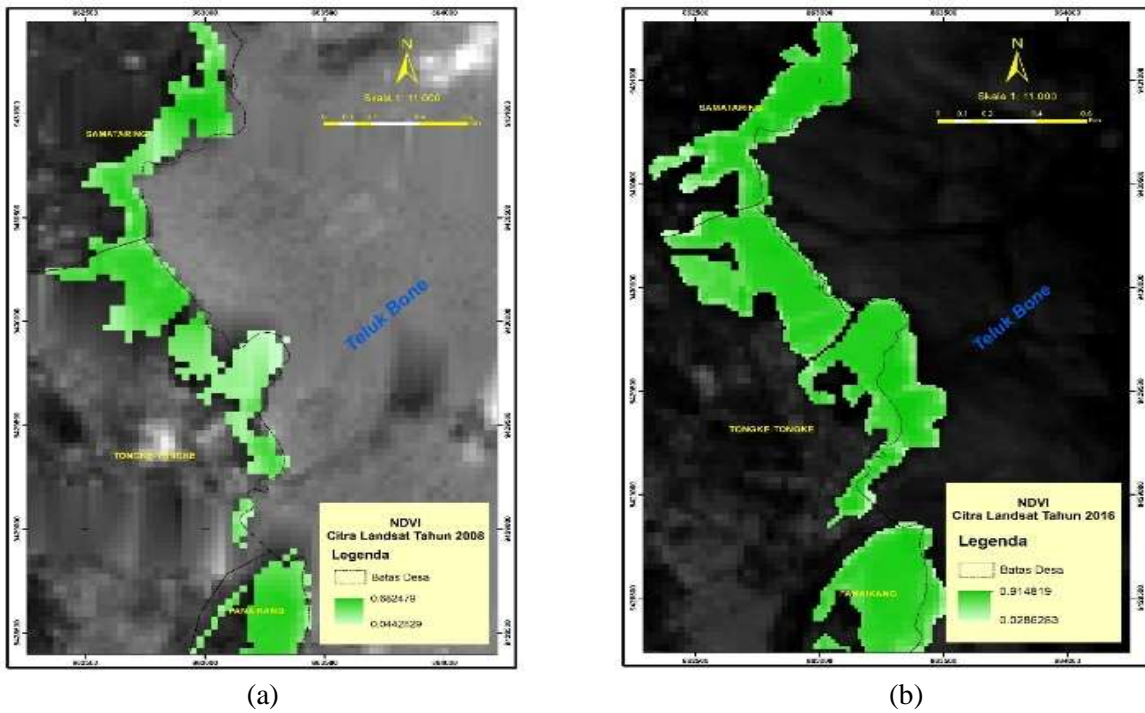
Gambar 3 Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

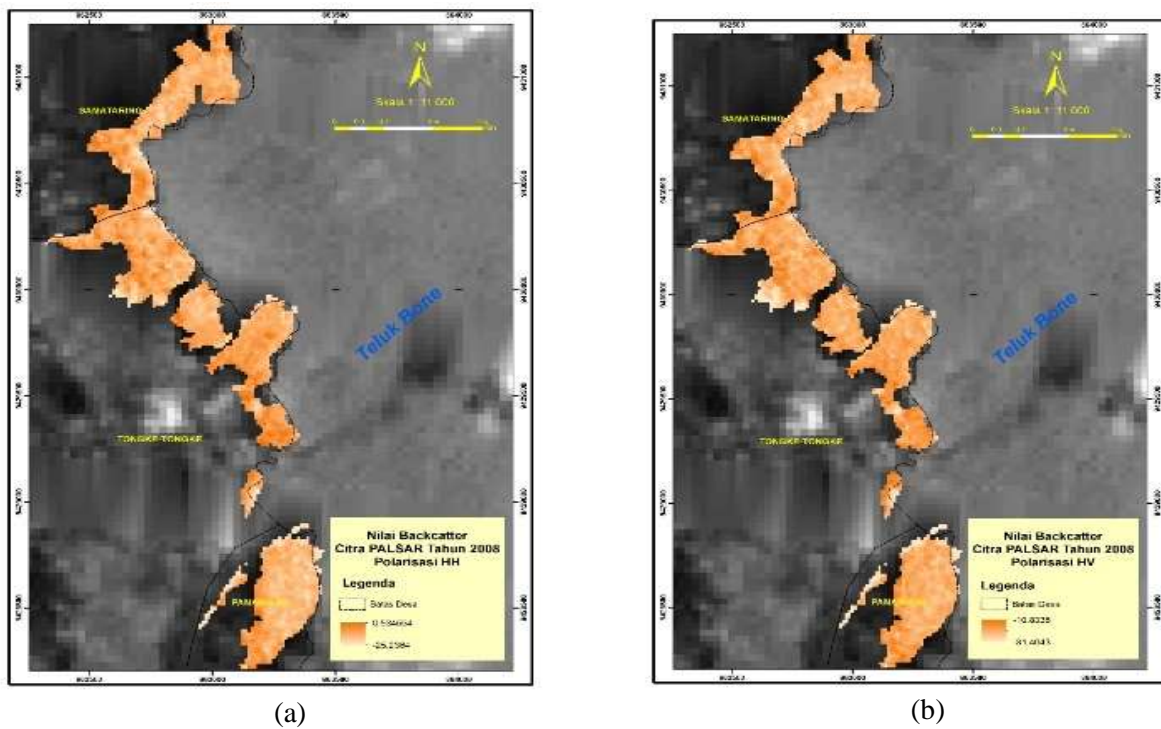
Hasil Pengolahan Citra

Hasil transformasi NDVI menunjukkan bahwa pada Landsat 7 memiliki *range* nilai NDVI 0.044 sampai 0.682, sedangkan Landsat 8 memiliki *range* nilai NDVI yang lebih tinggi yaitu 0.029 sampai 0.915. Semakin mendekati nilai NDVI 1 maka vegetasi tersebut memiliki kerapatan yang lebih tinggi. Maka dari kedua citra tersebut terlihat bahwa Landsat 8 memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Landsat 7. Hal ini bisa disebabkan pada saat perekaman citra Landsat 7 yaitu tahun 2008, *mangrove* tersebut masih berupa anakan atau baru dilakukan penanaman, dan disaat perekaman citra Landsat 8 tahun 2016 *mangrove* tersebut sudah tumbuh besar dan memiliki kerapatan tajuk yang lebih luas dan tinggi sehingga menghasilkan nilai NDVI yang lebih tinggi juga. Nilai NDVI semakin tinggi ketika umur pohon bertambah dan diiringi dengan penambahan luas kanopi (kerimbunan) dan bertambahnya diameter pohon. Bertambahnya luas kanopi pohon akan meningkatkan kandungan klorofil di area tersebut, klorofil yang semakin tinggi maka juga akan

meningkatkan kandungan hijau yang kemudian berdampak pada reflektan spektrum hijau meningkat. Peningkatan reflektan spektrum hijau menyebabkan nilai NDVI di area tersebut juga semakin tinggi. Terdapat korelasi yang kuat antara ukuran diameter pohon dengan nilai NDVI (Wang *et al.* 2004).



Gambar 4 Transformasi NDVI citra Landsat ETM (a) dan Landsat 8 (b)

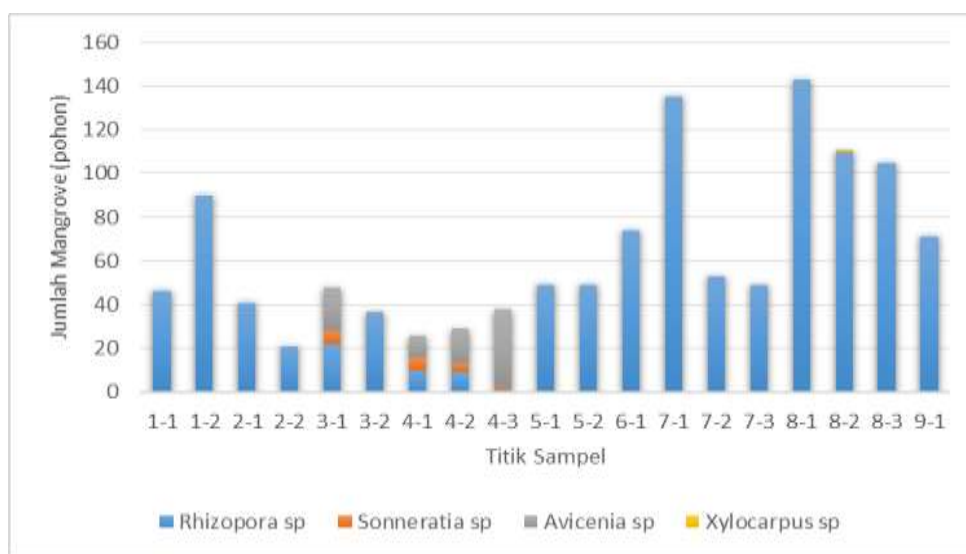


Gambar 5 Nilai *backscatter* polarisasi HH (a) dan polarisasi HV (b)

Gambar 5 menunjukkan citra hasil konversi nilai DN menjadi *backscatter* dengan polarisasi HH dan HV untuk daerah *mangrove*. Kedua polarisasi ini menghasilkan nilai yang cukup berbeda, dimana HH memiliki nilai yang lebih besar daripada polarisasi HV. Pada polarisasi HH memiliki nilai *backscatter* dengan variasi nilai dari -25.2364 sampai 0.534554. Sedangkan polarisasi HV memiliki nilai *backscatter* yang lebih rendah daripada polarisasi HH yaitu dari -31.0023 sampai -9.11743.

Analisis Data

Hasil survei lapangan menunjukkan bahwa di kawasan Tongke-tongke terdapat 5 jenis *mangrove* yaitu *Rhizophora sp*, *Sonneratia sp*, *Xylocarpus sp*, *Avicennia sp* dan *Nypa fruticans*. *Rhizophora sp* merupakan jenis yang mendominasi 85% kawasan *mangrove* Tongke-tongke. Sedangkan jenis lain hanya menempati 15% di kawasan tersebut. Total sampel yang diperoleh di lapangan sebanyak 19 sampel, dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Grafik persebaran jenis *mangrove* per sampel

Model penduga atau estimasi stok karbon yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perantara citra multispektral Landsat 7 yang diekstrak nilai NDVI di bagian *mangrove* yang kemudian dibandingkan dengan nilai *backscatter* pada citra PALSAR. Nilai NDVI pada citra Landsat 8 menjadi referensi dalam proses penelitian ini, karena pada tahun tersebut terdapat data lapangan yang bersifat terbaru. Nilai NDVI pada citra Landsat 8 kemudian dicari nilai yang sama dengan nilai NDVI di citra Landsat ETM. Posisi nilai NDVI di Landsat ETM digunakan untuk ekstraksi nilai *backscatter* pada citra PALSAR tahun 2008.

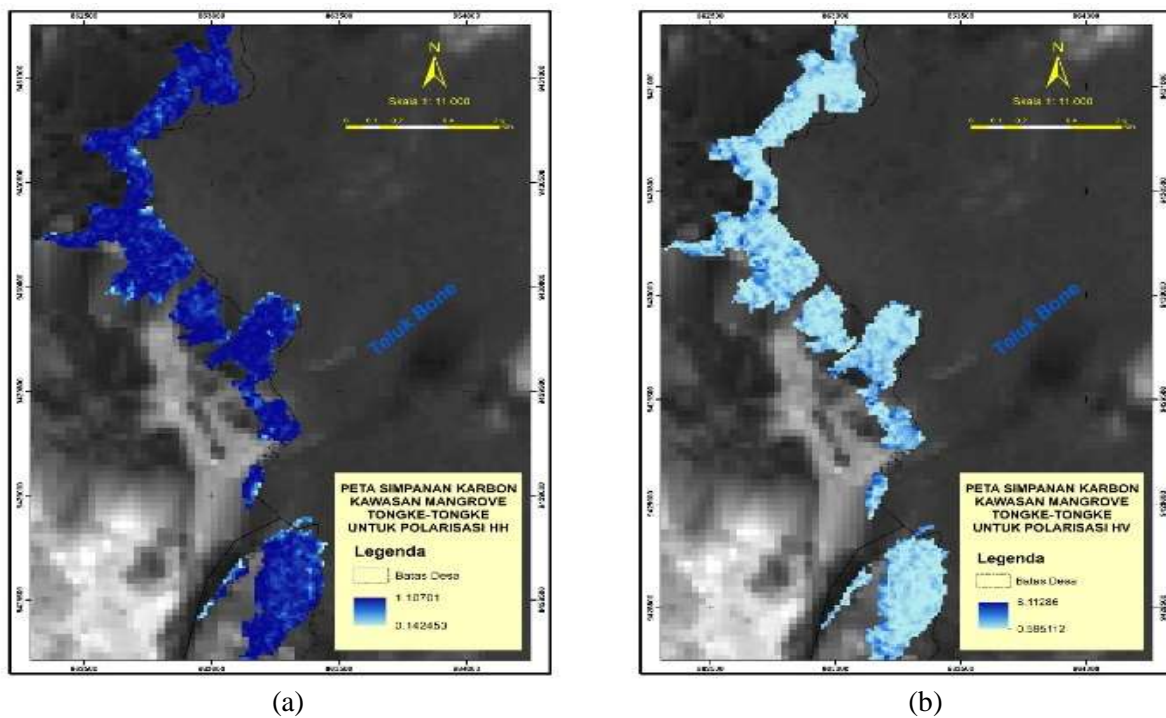
Nilai *backscatter* tersebut selanjutnya dianalisis secara statistik berupa regresi terhadap nilai stok karbon dengan 3 jenis berbeda yaitu *linier*, *quadratic* dan *exponential* (Tabel 1). Salah satu hal terpenting dalam regresi adalah penentuan *variable dependent* yaitu nilai stok karbon dan *independent* yaitu nilai *backscatter*.

Dari ketiga jenis regresi tersebut, regresi *quadratic* menghasilkan koefisien determinasi yang paling tinggi di masing-masing polarisasi sehingga persamaan regresi *quadratic* yang digunakan sebagai model penduga atau estimasi stok karbon. Berikut persamaan regresi *quadratic* untuk polarisasi HH : $y = -5.473 - 1.318x - 0.066x^2$, dengan y adalah karbon dan x adalah nilai hamburan balik polarisasi HH. Sedangkan untuk polarisasi HV menggunakan persamaan $y = 30.654 + 2.774x + 0.064x^2$. Besarnya koefisien determinasi menunjukkan bahwa pengaruh *variable independent* (polarisasi HV) terhadap simpanan karbon pada area kajian sebesar 62.9% sedangkan sisanya sebesar 37.1% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Nilai hubungan stok karbon dan *backscatter*

Regresi	Polarisasi	Persamaan	R	R ²	SE
Linear	HH	$y = 2.528 + 0.146 x$	0.681	0.464	0.233
	HV	$y = 4.264 + 0.172 x$	0.761	0.579	0.207
Quadratic	HH	$y = -5.473 - 1.318 x - 0.066 x^2$	0.767	0.588	0.221
	HV	$y = 30.654 + 2.774x + 0.064 x^2$	0.793	0.629	0.210
Exponential	HH	$y = 9.097 e^{0.214x}$	0.647	0.418	0.374
	HV	$y = 137.261 e^{0.261x}$	0.749	0.561	0.325

Persamaan regresi yang digunakan sebagai dasar model estimasi stok karbon adalah persamaan regresi *quadratic*, yang selanjutnya dijadikan sebagai dasar pembuatan model sebaran estimasi stok karbon. Persamaan tersebut kemudian diterapkan pada citra PALSAR untuk estimasi jumlah stok karbon di daerah lain, dijelaskan pada Gambar 4. Sampel yang digunakan untuk membangun persamaan model dalam regresi adalah sampel yang memiliki jenis *mangrove* yang homogen yaitu *Rhizophora sp.* Sampel dengan jenis tersebut dipilih untuk membangun model, karena dari keseluruhan wilayah kajian, jenis *Rhizophora sp.* merupakan jenis *mangrove* yang mendominasi wilayah kajian yaitu sekitar 85%. Pada saat diterapkan pada citra PALSAR untuk estimasi stok karbon, tetap menggunakan persamaan yang berasal dari sampel *Rhizophora sp.*, meskipun di daerah kajian juga terdapat jenis *mangrove* yang lain. Jenis *mangrove* lain memiliki luasan yang sangat sedikit kurang lebih hanya 15% dari bagian wilayah kajian sehingga dianggap tidak terlalu memberikan perbedaan yang jauh terhadap nilai estimasi stok karbon.



Gambar 4 Persebaran nilai stok karbon di Tongke-Tongke, polarisasi HH (a), Polarisisi HV (b)

Total stok karbon di daerah kajian berdasarkan model yang dibangun untuk polarisasi HH dan HV masing-masing sebesar 5 662.85 ton dan 6 431.46 ton. Nilai total stok karbon tersebut merupakan nilai stok karbon untuk tahun 2008. Analisis mengenai stok karbon di masa lampau sangat jarang ditemui karena ada kendala dalam hal ketersediaan data. Penelitian ini mencoba melakukan analisis nilai stok karbon di masa lampau yaitu tahun 2008 dengan menggunakan data perantara tahun 2016. Hasil analisis pada tahun 2008 dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait monitoring stok karbon dari waktu ke waktu.

Hasil estimasi nilai stok karbon diuji dengan menggunakan *Standart Error of Estimation* (SE). Sampel yang digunakan untuk melakukan uji akurasi sebanyak 9 sampel yang tersisa dari keseluruhan sampel yang diperoleh di lapangan, dimana sebagian besar sampel lain sudah dipergunakan untuk membangun model. Nilai akurasi ditentukan berdasarkan besar nilai SE antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan citra. Tabel 2 menunjukkan hasil estimasi karbon.

Pada Tabel 2 terlihat terdapat perbedaan karbon estimasi antara polarisasi HH dan HV. Namun perbedaan tersebut tidak terlalu jauh di masing-masing polarisasi. Nilai *standart error of estimates* (SE) untuk polarisasi HH sebesar 0.383 sedangkan untuk polarisasi HV sebesar 0.357. Nilai SE sebesar 0.357 dapat diartikan sebagai tingkat kesalahan estimasi karbon sebesar 0.357 per sampel. Semakin mendekati nilai SE 0 maka tingkat ketelitian estimasi semakin tinggi atau kesalahan semakin berkurang.

Tabel 2 Hasil estimasi karbon

Titik	Karbon Lapangan (ton)	Karbon Estimasi (ton)	
		HH	HV
3-1	1.3	1.10	1.37
3-2	0.57	0.59	0.60
4-1	0.11	0.505	0.595
4-2	0.04	0.25	0.06
4-3	0.05	1.011	0.911
5-1	0.44	0.42	0.60
5-2	0.75	0.77	0.81
7-3	0.75	0.84	0.78
8-2	0.29	0.31	0.21
	SE	0.383	0.357

Analisis hubungan nilai *backscatter* dengan stok karbon secara umum dapat dilihat dari besar nilai R² dari setiap persamaan regresi yang dihasilkan. Persamaan regresi *quadratic* menghasilkan nilai R² pada polarisasi HV lebih besar dibandingkan dengan nilai R² pada polarisasi HH. Berdasarkan nilai R² pada persamaan regresi *quadratic*, hubungan antara stok karbon dengan polarisasi HH sebesar 0.588, sedangkan hubungan antara stok karbon dengan polarisasi HV sebesar 0.629. Besarnya koefisien determinasi menunjukkan bahwa pengaruh *variable independent* (polarisasi HV) terhadap simpanan karbon pada area kajian sebesar 62.9% sedangkan sisanya sebesar 37.1% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Selain itu analisis statistik yang dilakukan untuk mengetahui hubungan nilai *backscatter* dengan stok karbon adalah dengan melihat nilai dari koefisien korelasi (R). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa nilai *backscatter* pada polarisasi HV dengan nilai stok karbon memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0.793. Nilai tersebut berarti terdapat korelasi yang sangat kuat, antara nilai *backscatter* mempengaruhi nilai stok karbon.

SIMPULAN

Total simpanan karbon atas permukaan pada tegakan di kawasan Tongke-tongke menggunakan persamaan regresi *quadratic* sekitar 5 662.85 ton untuk citra dengan polarisasi HH dan 6 431.46 ton untuk citra dengan polarisasi HV.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed N, Glaser M. 2016. Coastal aquaculture, mangrove deforestation and blue carbon emissions: Is REDD+ a solution?. *Mar. Policy*. 66:58-66.
- Alongi DM. 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 76(1):1-13.
- Alongi DM. 2014. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*. 3(3):313-322.
- Aziz AA, Dargusch P, Phinn S, Ward A. 2015. Using REDD+ to balance timber production with conservation objectives in a mangrove forest in Malaysia. *Ecol. Econ*. 120:108-116.
- Cramer W, Bondeau A, Woodward FI, Prentice IC, Betts RA, Brovkin V, Cox PM, Fisher V, Foley JA, Friend AD, Kucharik C, Lomas MR, Ramankutty N, Sitch S, Smith B, White A, Young-Molling C. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*. 7(4):357-373.
- Das S. 2017. Ecological restoration and livelihood: Contribution of planted mangroves as nursery and habitat for artisanal and commercial fishery. *World Dev*. 94:492-502.
- Departemen Kehutanan. 2011. *Statistik Kehutanan Indonesia*. Jakarta (ID): Kementerian Kehutanan.
- Ewel KC, Twilley RR, Ong JE. 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Glob. Ecol. Biogeogr. Lett*. 7(1):83.
- FAO. 2007. *The World's mangroves, 1980-2005: a thematic study in the framework of the global forest resources assessment 2005*. Rome (IT): FAO Forestry Department.
- Fawzi NI. 2016. *Mangrove: Karakteristik, Pemetaan, dan Pengelolaannya*. Yogyakarta (ID): Penerbit Sibuku.
- Fei SX, Shan HC, Hua ZG. 2011. Remote Sensing of Mangrove Wetlands Identification. *Procedia Environmental Sciences*. 10:2287-2293.
- Giri C, Mukhopadaya A, Hazra S, Mukherjee S, Roy D, Ghosh S. 2014. A study of abundance and distribution of mangrove species in Indian Sundaurban using remote sensing technique. *Journal of Coastal Conservation*. 18(4):359-367.
- Goetz S, Baccini A, Laporte N, Johns T, Walker W, Kellndorfer J, Houghton R, Mindy. 2009. Review : mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: A comparison of methods. *Carbon Balance and Management*. 2009. 4:2.
- Haryadi J, Hadiyanto. 2012. Korelasi *nutrient* terlarut dengan struktur komunitas plankton di Tambak Mangrove Blanakan Kab Subang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 2(2):73-84.
- Hilmi E. 2017. The carbon conservation of mangrove ecosystem applied REDD program. *Reg. Stud. Mar. Sci*. 16:152-161.
- Howard J, Hoyt S, Isensee K, Telszewski M, Pidgeon E. 2014. *Coastal Blue Carbon : Methods for assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses Meadows*. Virginia (US): Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Kauffman JB, Donato DC. 2012. *Protocols for Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests*. Bogor (ID): Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Leung JYS. 2015. Habitat heterogeneity affects ecological functions of macrobenthic communities in a mangrove: Implication for the impact of restoration and afforestation. *Glob. Ecol. Conserv*. 4:423-433.
- NASA. 2018. Climate Change: Climate Resource Center - Graphic: The relentless rise of carbon dioxide.

- Opa ET. 2010. Analisis Perubahan luas lahan mangrove di Kabupaten Pohuwato Propinsi Gorontalo dengan menggunakan citra landsat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*. 6(2):79-82.
- Salam MA, Lindsay GR, Beveridge MCM. 2000. Ecotourism to protect the reserve mangrove forest the Sundarbans and its flora and fauna. *Anatolia*. 11(1):56-66.
- Sifleet S, Pendleton L, Murray B. 2011. State of the science on coastal blue carbon a summary for policy makers. *Nicholas Inst. Report. NI*. 1-43.
- Sutaryo D. 2009. *Perhitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor (ID): Wetlands International Indonesia Programme.
- Wang J, Rich PM, Price KP, Kettle WD. 2004. Relation between NDVI and tree productivity in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*. 25(16):3127-3138.
- Weiss F, Leip A. 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with CAPRI Model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 149:124-134.
- Wicaksono P, Danoedoro P, Hartono, Nehren U. 2016. Mangrove biomass carbon stock mapping of the Karimunjawa Islands using multispectral remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 37(1):26-52.
- Wijayanto D, Nuriasih DM, Huda MN, Pamuntjak CRK. 2013. Strategies of Mangrove Tourism Development in Nusa Penida Marine Protected Area. *J. Saintek Perikan*. 8(2):25-32.
- Yanuartanti IW, Kusmana C, Ismail A. 2016. Kelayakan rehabilitasi mangrove dengan teknik guludan dalam perspektif perdagangan karbon di kawasan hijau lindung muara angke prov dki jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(2):180-186.
- Zagars M, Ikejima K, Kasai A, Arai N, Tongnunui P. 2013. Trophic characteristics of a mangrove fish community in Southwest Thailand: Important mangrove contribution and intraspecies feeding variability. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. 119:145-152.