

MONITORING SEBARAN DAN KERAPATAN MANGROVE MENGGUNAKAN TRANSFORMASI NDVI PADA CITRA SENTINEL-2 DI PROVINSI SULAWESI BARAT

Abdul Malik^{1*}, Muhammad Ichsan Ali², Abd. Rasyid Jalil^{3,4}, Sulaiman Zhiddiq⁵, Abdul Mannan⁶, Rahma Musyawarah⁷

^{1 5 6 7} Jurusan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar (UNM), Makassar, Indonesia

² Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar (UNM), Makassar, Indonesia

³ Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

⁴ Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Alam, Lembaga Penelitian dan Pengabdian, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: abdulmalik@unm.ac.id

ABSTRACT

This research aims to monitor the distribution and density of mangrove vegetation in West Sulawesi by implementing NDVI transformation on Sentinel-2 imagery. The mangrove forest in Mamuju Regency, located in West Sulawesi, is one of the rich areas of mangrove forests on the island of Sulawesi, Indonesia. However, this region also exhibits disturbances in the mangrove ecosystem, resulting in limited monitoring efforts. By utilizing NDVI transformation, we identified the distribution and density of mangrove vegetation using Sentinel-2 imagery. The accuracy of image classification was evaluated using the confusion matrix method, and further analysis was conducted using linear regression to test the relationship between NDVI and mangrove density values obtained from field surveys. The results indicate that the total area of the mangrove forest reaches 1,798 hectares distributed along the coastal areas in the districts of Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, and Tapalang. Nearly 60% of this area has high mangrove density, while approximately 7% to 9% falls into the low and lowest density categories. NDVI values range from 0.06 to 0.81, with the highest value found in the Mamuju District and the lowest in the Papalang District. The correlation between NDVI and mangrove density shows a strong positive relationship ($R=0.78$). Therefore, Sentinel-2 imagery demonstrates high accuracy and potential for the development of predictive models for mangrove vegetation density. These findings have significant implications for the development of conservation policies and environmental management, as well as raising public awareness of the importance of preserving mangrove forests.

Keywords: Mangrove; Spatial analysis; NDVI; Sentinel-2; West Sulawesi

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memantau sebaran dan kepadatan vegetasi mangrove di Sulawesi Barat dengan menerapkan transformasi NDVI pada citra Sentinel-2. Hutan mangrove di Kabupaten Mamuju yang terletak di Sulawesi Barat merupakan salah satu kawasan yang kaya akan hutan mangrove di Pulau Sulawesi, Indonesia. Namun, wilayah ini juga menunjukkan adanya gangguan pada ekosistem mangrove, sehingga upaya pemantauan yang dilakukan masih terbatas. Dengan menggunakan transformasi NDVI, kami mengidentifikasi sebaran dan kepadatan vegetasi mangrove menggunakan citra Sentinel-2. Keakuratan klasifikasi citra dievaluasi menggunakan metode matriks konfusi, dan analisis lebih lanjut menggunakan regresi linier untuk menguji hubungan antara NDVI dan nilai kepadatan mangrove yang diperoleh dari survei lapangan. Hasil menunjukkan total luas hutan mangrove mencapai 1.798 hektar yang tersebar di sepanjang pesisir pantai di Kecamatan Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, dan Tapalang. Hampir 60% dari kawasan ini mempunyai kepadatan mangrove yang tinggi, sementara sekitar 7% hingga 9% masuk dalam kategori kepadatan rendah dan terendah. Nilai NDVI berkisar antara 0,06 hingga 0,81, dengan nilai tertinggi terdapat di Kecamatan Mamuju dan terendah di Kecamatan Papalang. Korelasi antara NDVI dan kepadatan mangrove menunjukkan hubungan positif yang kuat ($R=0,78$). Oleh karena itu, citra Sentinel-2 menunjukkan akurasi yang tinggi dan potensi untuk pengembangan model prediktif kepadatan vegetasi mangrove. Temuan ini mempunyai implikasi yang signifikan terhadap pengembangan kebijakan konservasi dan pengelolaan lingkungan hidup, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kelestarian hutan mangrove.

Kata Kunci: Mangrove; Analisis Spasial; NDVI; Sentinel-2; Sulawesi Barat

PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem yang sangat produktif yang mendiami wilayah tropis dan subtropis (Giri dkk., 2011). Kawasan hutan ini dipengaruhi oleh pasang surut air laut, beradaptasi dengan fluktuasi salinitas, dan didominasi oleh pepohonan, semak belukar, palem, epifit, dan pakis (Jalil dkk., 2020). Hutan ini menghasilkan sumber daya berharga seperti ikan, udang, kepiting, kayu bakar, buah-buahan, dan bahan kerajinan, yang berkontribusi signifikan terhadap mata pencaharian masyarakat (Malik dkk., 2015a, 2017; Himes-Cornell dkk., 2018). Selain itu, hutan ini juga menyediakan fungsi pengaturan yang penting seperti perlindungan pantai terhadap abrasi dan mencegah intrusi air laut, menyerap dan menyimpan karbon, dan sebagai habitat penting untuk berkembang biak bagi organisme laut (Malik dkk., 2015a, 2020; Getzner & Islam, 2020). Mangrove juga menawarkan manfaat budaya seperti atraksi wisata serta nilai estetika dan spiritual (Spalding & Parrett, 2019), dan berkontribusi terhadap kesehatan ekosistem pesisir secara keseluruhan (Getzner & Islam, 2020).

Namun, hutan mangrove telah mengalami degradasi dan deforestasi yang signifikan akibat aktivitas seperti penebangan komersial, pengumpulan kayu bakar, produksi arang, konversi lahan menjadi pertanian (termasuk lahan sawah dan perkebunan kelapa sawit), pemukiman, dan terutama menjadi tambak (Malik dkk., 2017; Richards & Friess, 2016). Luasan hutan mangrove yang hilang secara global diperkirakan mencapai 35% (Valiela dkk., 2001) dengan tingkat kehilangan tahunan sekitar 1-2% (Duke dkk., 2007) dalam periode 1980 - 2000, namun telah menurun menjadi 0,16 - 0,39% dalam periode 2000 - 2012 (Hamilton & Casey, 2016) karena adanya peningkatan intervensi kebijakan dalam upaya konservasi dan pengelolaan hutan mangrove (Richards & Friess, 2016). Total luas hutan mangrove di seluruh dunia pada tahun 2020 mencapai 14,7 juta hektar (Leal & Spalding, 2022), dengan konsentrasi terbesar (26%) tersebar di wilayah pesisir Indonesia (Hamilton & Casey, 2016).

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang efektif dan efisien yang telah banyak digunakan dan terbukti penting dalam mendokumentasikan dan memetakan kawasan vegetasi mangrove secara kuantitatif dan kualitatif (Kuenzer dkk., 2011). Penginderaan jauh juga digunakan untuk memperkirakan dan memantau keberhasilan restorasi mangrove dan proyek konservasi dimana pemantauan terestrial sulit digantikan (Chellamani dkk., 2014). Transformasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu indeks vegetatif dalam teknik penginderaan jauh, dan merupakan kunci indikator yang banyak digunakan untuk menilai tutupan vegetasi mangrove secara kuantitatif dan kualitatif (Kuenzer dkk., 2011; Razali dkk., 2019; Valderrama-Landeros dkk., 2018). Transformasi NDVI dapat membedakan vegetasi dari non-vegetasi, dan vegetasi mangrove dari non-mangrove karena sensitif terhadap kekuatan vegetasi hijau (Kuenzer dkk., 2011; Chellamani dkk., 2014). Selain itu, NDVI dapat memberikan informasi status kesehatan mangrove (Kuenzer dkk., 2011; Chellamani dkk., 2014; Kawamuna dkk., 2017) karena dapat memberikan sifat biofisik daun terkait respon reflektansi (Razali dkk., 2019). Vegetasi mangrove yang hijau dan sehat menyerap energi cahaya tampak dengan kuat (0,4-0,5 μm atau kanal biru dan 0,6-0,7 μm untuk fotosintesis), sementara banyak energi inframerah-dekat (0,7-1,2 μm) memantulkan atau mentransmisikannya (Razali dkk., 2019).

Sejumlah penelitian tentang pemetaan vegetasi mangrove dengan menggunakan citra satelit multispektral seperti Landsat dan SPOT, dan khususnya menggunakan metode NDVI telah banyak dipublikasikan dalam dua dekade terakhir di Indonesia dan negara tropis lainnya (Kuenzer dkk., 2011). Namun pemanfaatan citra Sentinel-2 untuk bidang ini masih jarang dibanding dua jenis citra satelit tersebut. Sentinel-2 merupakan satelit yang relatif baru dan diasumsikan memiliki potensi kuat untuk pemantauan lahan dan vegetasi (Stratoulis dkk., 2015; Delegido dkk., 2011). Satelit ini dikembangkan oleh The European Space Agency (ESA) dan diluncurkan pada Juni 2015. Sentinel-2 memiliki resolusi spasial yang tinggi (hingga 10 m per piksel) dan meningkatkan arsip data Landsat dalam pemetaan habitat alami serta memberikan kemampuan baru dalam studi vegetasi (Stratoulis dkk., 2015). Valderrama-Landeros dkk. (2018) menunjukkan multispektral resolusi tinggi Sentinel-2 memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan citra Landsat dan SPOT dalam pemantauan lahan dan vegetasi.

Provinsi Sulawesi Barat dikenal sebagai salah satu hot spot hutan mangrove di Pulau Sulawesi, Indonesia, dengan luas tutupan hutan mangrove mencapai 3.720 hektar pada tahun 2017 (Rahadian

dkk., 2019). Hutan ini memiliki peran kunci dalam mendukung kehidupan masyarakat lokal dengan menyediakan sumber daya seperti kayu bakar, bahan makanan dan konstruksi, dan habitat untuk berbagai organisme laut. Selain itu, hutan ini juga memberikan layanan ekosistem sebagai penyangga pantai untuk melawan erosi dan intrusi air laut, serta menjadi tujuan wisata yang berkontribusi pada kesejahteraan masyarakat (Malik dkk., 2019). Namun, hutan ini masih menghadapi tekanan besar dari aktivitas seperti penebangan untuk kayu bakar dan terutama dari konversi lahan menjadi area pertambakan (Malik dkk., 2019). Aktivitas-aktivitas ini berdampak pada degradasi dan deforestasi hutan mangrove yang mempengaruhi luas dan distribusi mangrove, keanekaragaman hayati termasuk struktur dan komposisi vegetasi, serta menimbulkan dampak negatif pada layanan ekosistem.

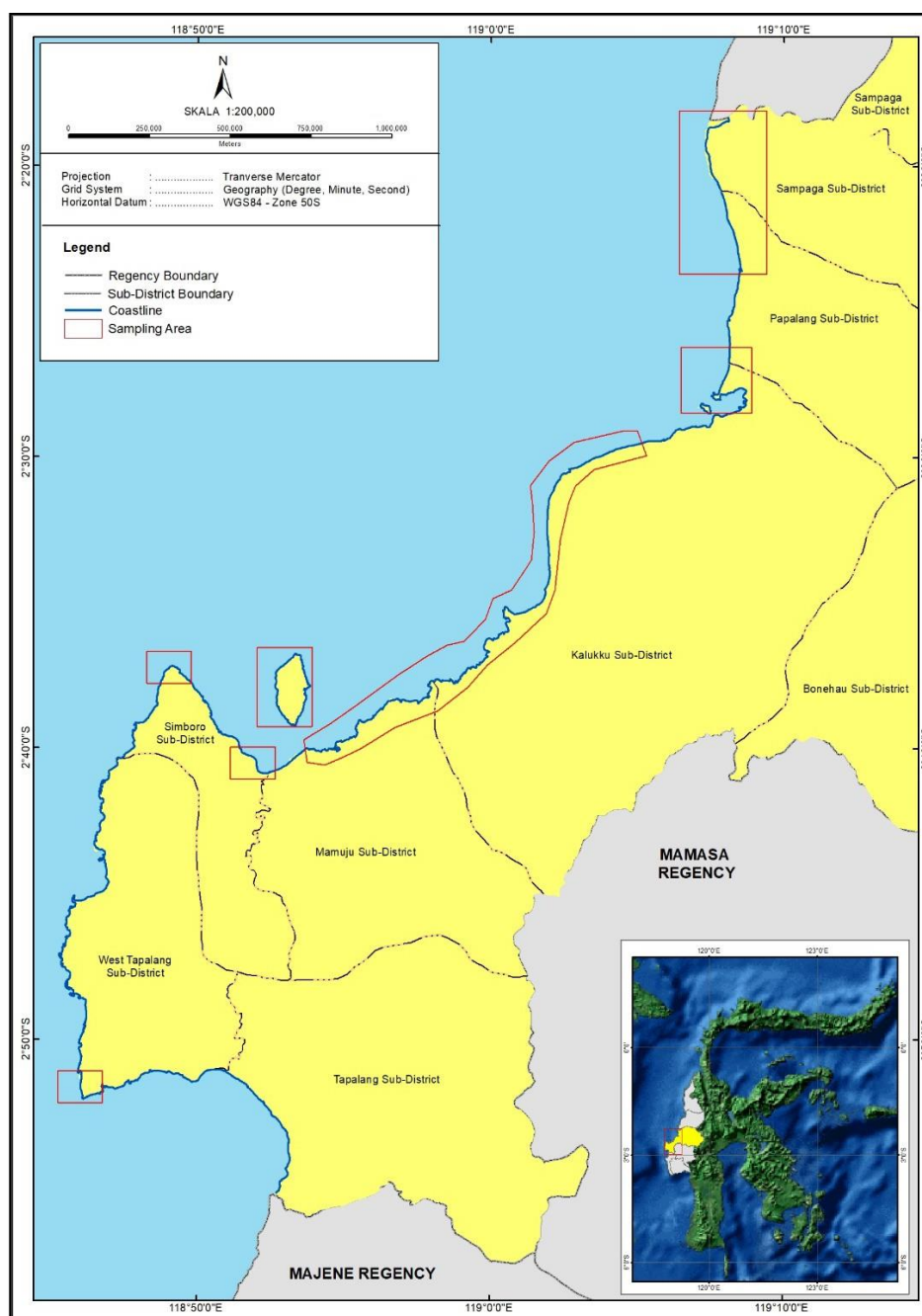
Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pemantauan sebaran dan kerapatan mangrove menggunakan transformasi NDVI pada citra Sentinel-2 di Provinsi Sulawesi Barat. Dengan pemantauan ini, diharapkan dapat meningkatkan pemahaman tentang status mangrove dan memungkinkan pengambilan langkah-langkah yang lebih tepat dalam upaya konservasi dan pengelolaan mangrove. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk merencanakan kebijakan perlindungan hutan mangrove yang lebih efektif, yang pada gilirannya akan membantu menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove dan manfaatnya bagi masyarakat lokal serta lingkungan secara keseluruhan.

METODE

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan mangrove di Provinsi Sulawesi Barat dengan fokus pada kawasan mangrove Kabupaten Mamuju. Kabupaten ini terletak pada garis lintang $2^{\circ}15'00''$ - $2^{\circ}58'00''$ dan garis bujur $118^{\circ}40'00''$ - $119^{\circ}45'00''$ (Gambar 1).

Kabupaten Mamuju memiliki luas wilayah sebesar $4.979,89 \text{ km}^2$ dan berbatasan dengan Kabupaten Mamuju Tengah di Utara, Provinsi Sulawesi Selatan di Timur, Kabupaten Majene dan Mamasa di Selatan, dan Selat Makasar di Barat. Terdiri dari 11 kecamatan, dengan 7 kecamatan (Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, dan Tapalang) yang terletak di sepanjang pesisir kabupaten ini. Jumlah penduduk mencapai 285.616 jiwa pada tahun 2023 dengan kerapatan penduduk mencapai 57 jiwa/ km^2 . Mata pencaharian utama bagi masyarakat yang mendiami kawasan pesisir adalah nelayan dan petani tambak. Curah hujan tertinggi di Kabupaten ini tahun 2022 terjadi pada bulan Oktober sebesar 632 mm dengan rata-rata hari hujan sebanyak 27 hari, sedangkan curah hujan terendah terjadi pada bulan April sebesar 106 mm dengan rata-rata jumlah hari hujan 8 hari (BPS Kabupaten Mamuju, 2023).



Gambar 1. Lokasi Penelitian: Kabupaten Mamuju, Propinsi Sulawesi Barat

2. Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data citra Sentinel-2 akuisisi April 2019 dilakukan dengan mengunduh pada portal The European Space Agency (ESA) (https://www.esa.int/Our_Activity/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2). Untuk peta topografi digital diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia (<http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>). Selanjutnya, citra dan peta topografi digital di-referensikan secara geografis ke WGS 1994/UTM zona 50S.

Dalam proses pengolahan citra, dilakukan koreksi geometrik pada citra dengan mengacu pada peta topografi digital. Dengan menggunakan tiga kanal (5, 8a, dan 11) dilakukan komposit citra (*False Color Composite*) untuk memudahkan dalam melakukan interpretasi citra (Kawamuna dkk., 2017). Selanjutnya, klasifikasi citra dilakukan dengan metode Klasifikasi Terawasi (*Supervised Classification*) dengan menggunakan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (Kawamuna dkk., 2017; Malik dkk., 2017), yang menghasilkan empat kelas, yaitu mangrove, tambak, badan air, dan daratan. Kanal 8

digunakan sebagai inframerah-dekat (*Near Infrared/NIR*) dan Kanal 4 sebagai warna merah untuk menghitung *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang merupakan indikator kerapatan mangrove (Kawamuna dkk., 2017). Kerapatan mangrove dibagi menjadi lima kelas (tertinggi, tinggi, sedang, rendah, dan terendah) berdasarkan rentang NDVI (antara -1 dan 1). Selanjutnya, pengumpulan data ground truth (survei lapangan untuk menguji hasil klasifikasi citra) dilakukan pada bulan Juli 2019. Uji akurasi ini menggunakan metode Confusion Matrix (Kawamuna dkk., 2017; Malik dkk., 2017). Selain itu, korelasi nilai NDVI dan kerapatan mangrove yang diperoleh dari survei lapangan dilakukan dengan menggunakan analisis Regresi Linier (Kawamuna dkk., 2017).

3. Survei lapangan mangrove

Data mangrove dikumpulkan pada bulan Juli 2019 menggunakan metode transek garis dari tepi laut hingga tepi daratan dengan panjang transek 100 m, namun untuk area dengan ketebalan kurang dari 100 m dilakukan penyesuaian. Pengukuran transek dilakukan pada 30 plot di 7 site/kecamatan (Tabel 3). Untuk setiap plot, di buat transek berukuran 10 m × 10 m menggunakan rol meter dan tali rafia. Setiap plot dilakukan pencatatan posisi geografi dengan GPS dan jumlah individu pohon mangrove menggunakan Tally counter (Malik dkk., 2015b). Untuk menghitung nilai tingkat kerapatan vegetasi mangrove di gunakan Persamaan 1 berikut: (Malik dkk., 2015b)

$$D = \frac{N_i}{A} \quad (1)$$

Di mana:

D = Kerapatan mangrove, N_i = Jumlah pohon mangrove yang tercatat pada suatu area sampel, dan A= luas area sampel yang diamati

4. Uji Akurasi

Berdasarkan hasil uji akurasi hasil analisis klasifikasi citra Sentinel-2, menunjukkan keakuratan secara keseluruhan sebesar 85,71%. Hasil akurasi $\geq 85\%$ dianggap memenuhi target untuk klasifikasi citra yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan (Foody, 2002), sedangkan untuk koefisien Kappa diperoleh 0,80 menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi dalam klasifikasi citra. Akurasi ini terdiri dari 4 kelas (mangrove, tambak, badan air, dan daratan) dan dinilai dari sampel 308 piksel (Tabel 1).

Table 1. Uji Akurasi Hasil Klasifikasi Citra

Klasifikasi	Mangrove	Tambak	Badan air	Daratan	Total
Mangrove	113	0	0	0	113
Tambak	0	84	8	6	98
Badan air	0	5	67	0	72
Daratan	0	4	0	21	72
Total pixel	113	93	75	27	308
Akurasi keseluruhan	85.71%				
Koefisien Kappa	0.80				

HASIL DAN PEMBAHASAN

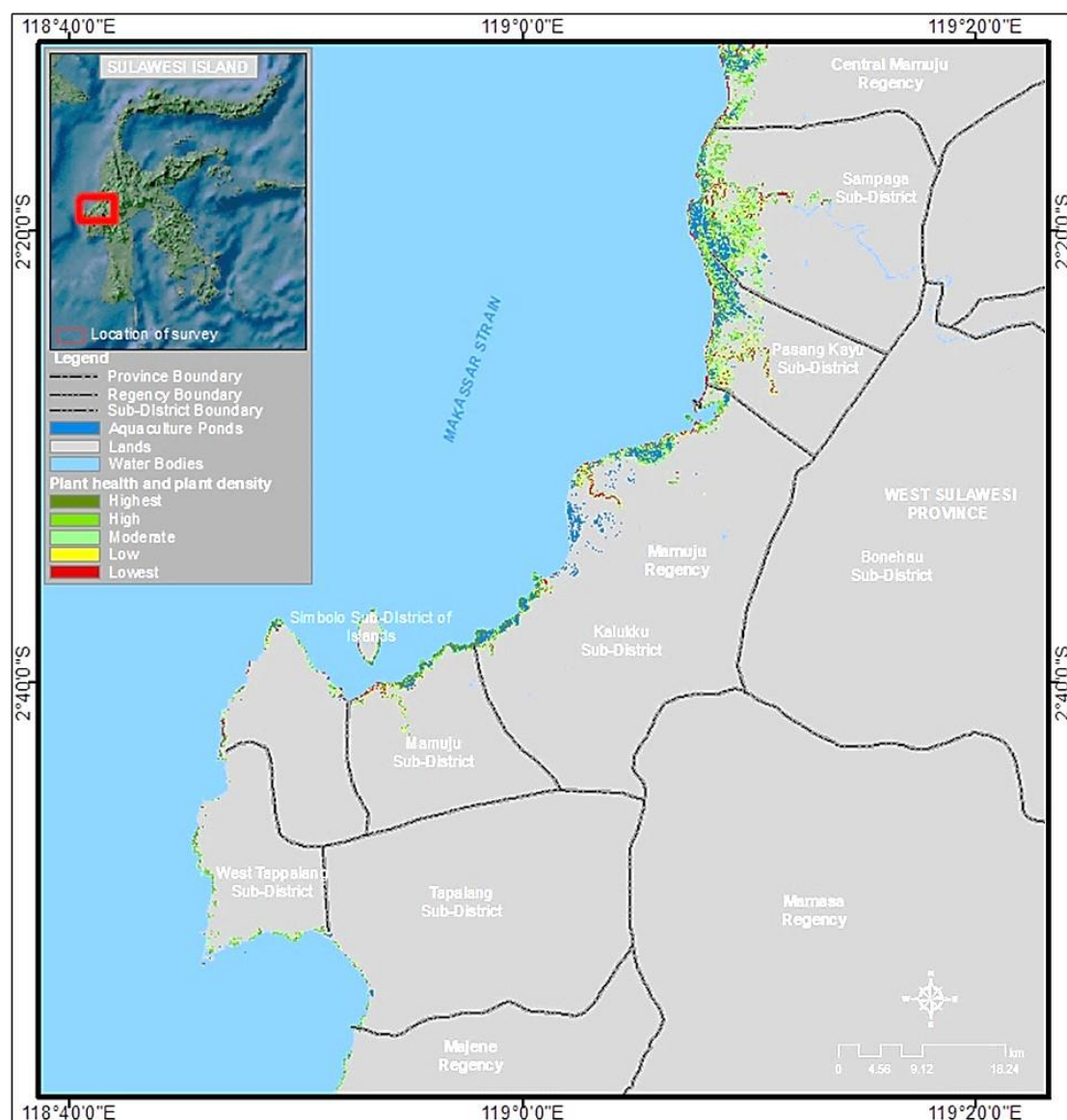
Hasil

1. Luasan, Sebaran, dan Kerapatan Mangrove

Luas tutupan mangrove secara total mencapai sekitar 1798 ha berdasarkan klasifikasi citra Sentinel-2 pada bulan April 2019 di Kabupaten Mamuju (Tabel 2). Mangrove ini tersebar di 7 kecamatan, yaitu Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, dan Tapalang (Gambar 2; Tabel 3). Tingkat kerapatan mangrove menunjukkan bahwa hampir 60% dari total luas tutupan mangrove berada pada status kerapatan tinggi dan tertinggi, sementara sekitar 7% hingga 9% masing-masing berada pada status rendah dan terendah (Tabel 2). Nilai NDVI berkisar antara 0,06 hingga 0,81 di area ini (lihat Tabel 3). Kawasan mangrove dengan kerapatan tertinggi terdapat di Kecamatan Mamuju, sedangkan yang terendah berada di Kecamatan Papalang (Tabel 3; Gambar 2).

Tabel 2. Luasan dan Kerapatan Mangrove

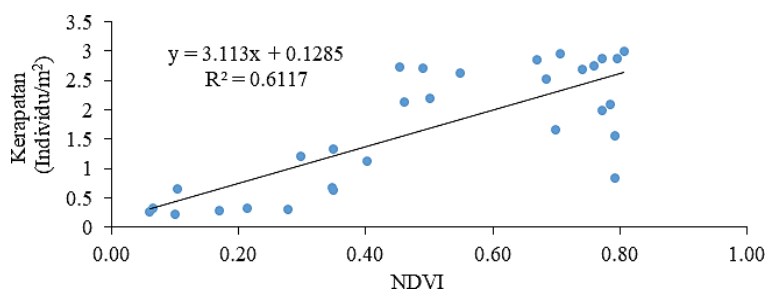
Nilai NDVI	Tingkat	Luasan (Ha)	Persentase (%)
(0,72 - 0,92)	Tertinggi (Highest)	225	12
(0,42 - 0,72)	Tinggi (High)	824	46
(0,22 - 0,42)	Sedang (Moderate)	469	26
(0,12 - 0,22)	Rendah (Low)	120	7
(-0,1 - 0,12)	Terendah (Lowest)	161	9
Total (ha)		1,798	100



Gambar 2. Sebaran dan Tingkat Kerapatan Mangrove di Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat

2. Hubungan Nilai NDVI Dengan Nilai Kerapatan Mangrove Hasil Survei Lapangan

Nilai NDVI dan nilai kerapatan mangrove dari survei lapangan dapat ditemukan dalam Tabel 3. Korelasi antara NDVI dan kerapatan mangrove menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,61 atau koefisien korelasi (R) sebesar 78% (Gambar 3).



Gambar 3. Korelasi Nilai NDVI Dengan Nilai Kerapatan Mangrove

Tabel 3. Nilai NDVI dan Kerapatan Mangrove Hasil Survei Lapangan

Site/Kecamatan	Plot	X	Y	Nilai NDVI	Kerapatan (Individu/m ²)
Sampaga	1	119.134	-2.27789	0.50	2.2
Sampaga	2	119.1337	-2.29109	0.35	1.33
Papalang	3	119.1496	-2.32377	0.10	0.23
Papalang	4	119.1285	-2.34106	0.06	0.26
Papalang	5	119.1341	-2.35268	0.21	0.32
Papalang	6	119.1433	-2.392	0.46	2.13
Papalang	7	119.1382	-2.42683	0.35	0.63
Kalukku	8	119.1461	-2.46458	0.76	2.76
Kalukku	9	119.1293	-2.47802	0.40	1.13
Kalukku	10	119.0897	-2.50355	0.28	0.31
Kalukku	11	119.043	-2.50891	0.55	2.63
Kalukku	12	118.999	-2.60599	0.77	1.99
Kalukku	13	118.9884	-2.62137	0.79	2.1
Kalukku	14	118.9972	-2.6163	0.79	0.84
Kalukku	15	118.9907	-2.62065	0.70	1.66
Kalukku	16	118.9842	-2.62559	0.79	1.55
Kalukku	17	118.9673	-2.63312	0.68	2.53
Kalukku	18	118.9507	-2.63967	0.79	2.87
Mamuju	19	118.9253	-2.65378	0.81	2.99
Mamuju	20	118.9104	-2.66777	0.77	2.88
Mamuju	21	118.88	-2.67895	0.10	0.66
Simboro	22	118.8158	-2.62363	0.74	2.68
Simboro	23	118.7877	-2.67568	0.07	0.33
Simboro	24	118.7796	-2.70509	0.17	0.29
Tapalang Barat	25	118.7601	-2.77659	0.71	2.95
Tapalang Barat	26	118.7711	-2.80981	0.45	2.72
Tapalang Barat	27	118.7876	-2.8602	0.67	2.85
Tapalang Barat	28	118.8354	-2.85444	0.35	0.68
Tapalang	29	118.8821	-2.88128	0.49	2.71
Tapalang	30	118.8805	-2.92015	0.30	1.22

Pembahasan

Penelitian ini telah menganalisa luasan, sebaran, dan tingkat kerapatan hutan mangrove di Kabupaten Mamuju, Propinsi Sulawesi Barat. Luas tutupan mangrove yang mencapai 1,798 ha menunjukkan bahwa hampir setengah (48%) luasan kawasan mangrove di propinsi ini ditemukan di

Kabupaten Mamuju. Kawasan mangrove ini tersebar di 7 kecamatan, yaitu Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, dan Tapalang (Gambar 2; Tabel 3). Selanjutnya, kerapatan mangrove yang tinggi (hampir mencapai 60%, Tabel 2) memberikan gambaran tentang pertumbuhan dan kesehatan ekosistem mangrove yang baik di sebagian besar wilayah ini (Kawamuna dkk., 2017). Kerapatan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berinteraksi, salah satunya adalah kondisi lingkungan yang mendukung, seperti tutupan kanopi yang lebat dan pertumbuhan mangrove yang tinggi. Sari & Rosalina (2016) mengemukakan bahwa tingginya kerapatan mangrove sering kali berkorelasi dengan kerapatan kanopi, menandakan kondisi pertumbuhan yang optimal dan tingginya keanekaragaman mangrove di kawasan tersebut. Selain itu, masukan sungai juga dapat berperan penting dalam meningkatkan kerapatan mangrove dengan mengurangi aliran air tawar dan meningkatkan salinitas tanah, yang mendukung pertumbuhan mangrove (Chellamani dkk., 2014). Selain itu, program rehabilitasi mangrove yang dijalankan oleh pemerintah daerah selama ini juga dapat menjadi faktor yang berkontribusi terhadap tingginya kerapatan mangrove di Kabupaten Mamuju. Melalui upaya ini, kawasan mangrove yang terdegradasi dapat direhabilitasi kembali, meningkatkan luas tutupan mangrove dan mendukung pertumbuhan populasi mangrove. Program ini juga dapat berperan dalam pencegahan abrasi pantai, yang turut berkontribusi terhadap keberadaan dan kerapatan mangrove di daerah ini.

Rentang nilai NDVI yang bervariasi dari 0,06 hingga 0,81 (Tabel 3) menggambarkan perbedaan kondisi vegetasi mangrove di berbagai lokasi. Daerah dengan nilai NDVI yang tinggi, seperti Kecamatan Mamuju, menunjukkan lingkungan yang mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove yang sehat, sementara daerah dengan nilai NDVI rendah mungkin mengalami tekanan lingkungan atau aktivitas manusia yang merugikan bagi ekosistem mangrove. Malik dkk. (2019) menunjukkan bahwa luas tutupan mangrove di Kecamatan Kalukku mengalami penurunan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, sementara luas tambak meningkat. Fenomena ini menunjukkan adanya tekanan yang besar dari aktivitas manusia terhadap ekosistem mangrove, yang dapat mengurangi keanekaragaman hayati, struktur vegetasi, dan kualitas habitat bagi organisme di kawasan tersebut. Selain itu, korelasi positif yang kuat, dengan koefisien korelasi sebesar 78% (Gambar 3), menunjukkan bahwa meningkatnya nilai NDVI berkorelasi dengan peningkatan kerapatan mangrove. Namun, sisa variabilitas sebesar 22% menunjukkan bahwa faktor lain, seperti kondisi hidrologis, kelembaban tanah, kualitas tanah, dan keberadaan spesies invasif juga dapat mempengaruhi kerapatan mangrove. Oleh karena itu, untuk memahami sepenuhnya dinamika kerapatan mangrove, diperlukan pendekatan holistik yang mempertimbangkan berbagai faktor lingkungan dan biologis yang memengaruhi kondisi vegetasi mangrove. Temuan serupa mengenai hubungan positif dan kuat dilaporkan oleh (Kawamuna dkk., 2017) untuk kesehatan vegetasi mangrove di Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi provinsi Jawa Timur. Sebaliknya, rendahnya korelasi antara NDVI dan nilai kerapatan mangrove ditunjukkan oleh (Wachid dkk., 2017) di Teluk Jor, Kabupaten Lombok Timur, provinsi Nusa Tenggara Barat. Perbedaan tersebut dapat terkait dengan komposisi struktur mangrove dan faktor lingkungan, seperti masukan aliran air tawar dari sungai, genangan air, dan aliran air pasang surut yang berhubungan dengan tingkat pengendapan sedimen dan masukan nutrisi yang mempengaruhi pertumbuhan mangrove (Alongi, 2018).

Penelitian ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang kondisi dan dinamika ekosistem mangrove di Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat. Dengan menggunakan teknologi citra satelit Sentinel-2 dan analisis NDVI, kami dapat secara komprehensif memetakan sebaran dan kerapatan mangrove. Temuan ini memiliki implikasi penting dalam pengembangan kebijakan konservasi dan pengelolaan lingkungan, serta dalam meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kelestarian hutan mangrove. Diperlukan langkah-langkah yang lebih efektif dalam pelestarian mangrove, termasuk penguatan upaya perlindungan dan rehabilitasi mangrove dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi keberhasilan upaya tersebut. Harapannya, upaya ini dapat membantu menjaga keberadaan mangrove yang sangat penting bagi ekosistem pesisir dan kesejahteraan masyarakat lokal di Kabupaten Mamuju.

SIMPULAN

Penelitian ini telah memberikan wawasan yang signifikan tentang sebaran dan kerapatan mangrove melalui pemanfaatan transformasi NDVI pada citra Sentinel-2 di Kabupaten Mamuju, Propinsi Sulawesi Barat. Luasan tutupan mangrove mencapai 1.798 ha yang tersebar di beberapa kecamatan, yakni Sampaga, Papalang, Kalukku, Mamuju, Simboro, Tapalang Barat, dan Tapalang. Lebih dari separuh luas tutupan mangrove menunjukkan kerapatan tinggi, dengan kualitas tertinggi terdapat di Kabupaten Mamuju menunjukkan variasi yang signifikan dalam distribusi dan kondisi vegetasi mangrove di berbagai lokasi tersebut. Kawasan dengan nilai NDVI yang tinggi, seperti Kecamatan Mamuju, menandakan tingkat kerapatan yang tinggi dan adanya kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan mangrove yang sehat. Di sisi lain, daerah dengan nilai NDVI yang rendah mungkin mengalami tekanan lingkungan atau aktivitas manusia yang merugikan bagi ekosistem mangrove. Korelasi antara nilai NDVI dan kerapatan mangrove ($R = 78,10\%$) juga mengungkapkan hubungan yang kuat, menunjukkan bahwa peningkatan nilai NDVI berhubungan positif dengan peningkatan kerapatan mangrove. Hal ini juga menunjukkan bahwa citra Sentinel-2 memberikan akurasi yang tinggi dalam memprediksi model inventarisasi vegetasi mangrove, termasuk dalam pemantauan sebaran dan kerapatan. Dampak dari hasil penelitian ini memiliki relevansi yang besar dalam upaya pelestarian dan pengelolaan lingkungan, serta dalam memperluas pemahaman masyarakat tentang urgensi menjaga ekosistem hutan mangrove agar tetap lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2018). Impact of global change on nutrient dynamics in Mangrove Forests. *Forests*, 9(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/f9100596>
- BPS Kabupaten Mamuju. (2023). *Kabupaten Mamuju Dalam Angka 2023*. <https://mamujukab.bps.go.id/publication/2023/02/28/220886b14c7422a1cc04748e/kabupaten-mamuju-dalam-angka-2023.html>
- Chellamani, P., Singh, C. P., & Panigrahy, S. (2014). Assessment of the health status of Indian mangrove ecosystems using multi temporal remote sensing data. *Tropical Ecology*, 55(2), 245–253.
- Delegido, J., Verrelst, J., Alonso, L., & Moreno, J. (2011). Evaluation of sentinel-2 red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. *Sensors*, 11(7), 7063–7081. <https://doi.org/10.3390/s110707063>
- Duke, N. C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K. C., Field, C. D., Koedam, N., Lee, S. Y., Marchand, C., Nordhaus, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A World Without Mangroves? *Science*, 317(5834), 41–42. <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Getzner, M., & Islam, M. S. (2020). Ecosystem Services of Mangrove Forests: Results of a Meta-Analysis of Economic Values. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5830. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165830>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- 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. <https://doi.org/10.1111/geb.12449>
- Himes-Cornell, A., Pendleton, L., & Atiyah, P. (2018). Valuing ecosystem services from blue forests: A systematic review of the valuation of salt marshes, sea grass beds and mangrove forests. *Ecosystem Services*, 30, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.006>
- Jalil, A. R., Malik, A., Nurdin, N., Saru, A., & Yunus, I. (2020). Assessment of Seawater Level, Inundation Duration and Substrate Elevation for Mangrove Rehabilitation Program in The

- Spermonde Archipelago South Sulawesi Indonesia. *International Journal of Conservation Science*, 11(4).
- Kawamuna, A., Suprayogi, A., & Wijaya, A. P. (2017). Analisis Kesehatan Hutan Mangrove Berdasarkan Metode Klasifikasi NDVI Pada Citra Sentinel-2 (Studi Kasus: Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi). *Geodesi Undip*, 6, 277–284.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*, 3(5), 878–928. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>
- Leal, M., & Spalding, M. D. (2022). *The State of World's Mangroves 2022*. 94. https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2022/09/The-State-of-the-Worlds-Mangroves-Report_2022.pdf
- Malik, A., Fensholt, R., & Mertz, O. (2015a). Economic Valuation of Mangroves for Comparison with Commercial Aquaculture in South Sulawesi, Indonesia. *Forests*, 6(12), 3028–3044. <https://doi.org/10.3390/f6093028>
- Malik, A., Fensholt, R., & Mertz, O. (2015b). Mangrove exploitation effects on biodiversity and ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 24(14). <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1015-4>
- Malik, A., Jalil, A. R., Arifuddin, A., & Syahmuddin, A. (2020). Biomass Carbon Stocks In The Mangrove Rehabilitated Area of Sinjai District, South Sulawesi, Indonesia. *Geography, Environment, Sustainability*, 13(3), 32–38. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-131>
- Malik, A., Mertz, O., & Fensholt, R. (2017). Mangrove forest decline: consequences for livelihoods and environment in South Sulawesi. *Regional Environmental Change*, 17(1), 157–169. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0989-0>
- Malik, A., Rahim, A., Sideng, U., Rasyid, A., & Jumaddin, J. (2019). Biodiversity assessment of mangrove vegetation for the sustainability of ecotourism in West Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux*, 12(4), 1458–1466.
- Rahadian, A., Prasetyo, L. B., Setiawan, Y., & Wikantika, K. (2019). A Historical Review of Data and Information of Indonesian Mangroves Area. *Media Konservasi*, 24(2), 163–178. <https://doi.org/10.29244/medkon.24.2.163-178>
- Razali, S. M., Nuruddin, A. A., & Lion, M. (2019). Mangrove vegetation health assessment based on remote sensing indices for Tanjung Piai, Malay peninsular. *Journal of Landscape Ecology(Czech Republic)*, 12(2), 26–40. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0008>
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Sari, S. P., & Rosalina, D. (2016). Mapping and Monitoring of Mangrove Density Changes on tin Mining Area. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 436–442. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.094>
- Spalding, M., & Parrett, C. L. (2019). Global patterns in mangrove recreation and tourism. *Marine Policy*, 110(June), 103540. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103540>
- Stratoulas, D., Balzter, H., Sykioti, O., Zlinszky, A., & Tóth, V. R. (2015). Evaluating sentinel-2 for lakeshore habitat mapping based on airborne hyperspectral data. *Sensors (Switzerland)*, 15(9), 22956–22969. <https://doi.org/10.3390/s150922956>
- Valderrama-Landeros, L., Flores-de-Santiago, F., Kovacs, J. M., & Flores-Verdugo, F. (2018). An assessment of commonly employed satellite-based remote sensors for mapping mangrove species in Mexico using an NDVI-based classification scheme. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6399-z>
- Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, 51(10), 807–815. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0807:MFOOTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0807:MFOOTW]2.0.CO;2)
- Wachid, M. N., Hapsara, R. P., Cahyo, R. D., Wahyu, G. N., Syarif, A. M., Umarhadi, D. A., Fitriani, A. N., Ramadhanningrum, D. P., & Widyatmanti, W. (2017). Mangrove canopy density analysis using Sentinel-2A imagery satellite data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 70(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/70/1/012020>