

**PEMETAAN DINAMIKA PERUBAHAN TUTUPAN KAWASAN MANGROVE BERBASIS
PENDEKATAN KOMPUTASI AWAN DI TELUK PACITAN**

***MAPPING OF THE DYNAMIC CHANGES COVERAGE OF MANGROVE AREA BASED
ON A CLOUD COMPUTATION APPROACH IN PACITAN BAY***

Ahmad Hasrul¹, Nurul Khakhim², & Suadi³

**¹ Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Pascasarjana
Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia**

**² Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah
Mada, Yogyakarta, Indonesia**

**³ Manajemen Sumberdaya Akuatik, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Yogyakarta, Indonesia**

**Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Sendowo, Sinduadi, Kec.
Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, +62823-4306-4754**

e-mail: ahmadhasrul08@gmail.com

ABSTRAK

Mangrove sebagai kawasan yang dicirikan sebagai lahan basah di wilayah intertidal di sepanjang garis pantai memiliki peran penting bagi kehidupan dan penghidupan manusia karena layanan yang diberikannya sebagai daerah pemijahan ikan (*nursery ground*), tempat mencari makan (*feeding ground*), daerah pentangkapan ikan (*fishing ground*), serta cagar alam, retensi sedimen dan pelindung alami terhadap berbagai bencana alam seperti siklon dan tsunami. Peran penting tersebut belum terjaga dengan memadai sehingga di beberapa lokasi di belahan bumi kawasan mangrove mengalami penyusutan akibat proses antropogenik maupun perubahan lingkungan global. Monitoring secara berkala diperlukan untuk menjaga ekosistem mangrove. Penginderaan jauh menjadi metode yang efektif dalam memetakan areal mangrove secara cepat dan efisien, terutama dengan berkembangnya teknologi pemetaan berbasis komputasi awan (*cloud computing*). Melalui perangkat *google earth engine* (GEE) artikel ini melakukan studi di Teluk Pacitan dengan ekstraksi terhadap luasan tutupan mangrove pada tahun 2016 sampai dengan 2022 menggunakan citra satelit Sentinel-2 MSI Level-2A, dengan menggunakan algoritma *random forest*. Luasan mangrove yang dapat diekstraksi adalah 0,57 Hektar di tahun 2016 dan meningkat menjadi 2,2 hektar di tahun 2022. Berdasarkan sampel yang digunakan, dipilih 80% dari total sampel digunakan untuk training, dan 20% untuk testing. Berdasarkan hasil perhitungan Validation overall accuracy, hasil ekstraksi tahun 2016 mencapai nilai 0,996, dan pada tahun 2022 mencapai nilai 0,966.

Kata kunci: Mangrove, Komputasi Awan, Google Earth Engine, Random Forest.

ABSTRACT

Mangroves as areas characterized as wetlands in intertidal areas along the coastline have an important role in human life because they act as a store of coastal resources, including fishing grounds, nature reserves, sediment retention and natural protection against various natural disasters such as cyclones. and tsunamis. The global importance of mangrove areas is not matched by adequate conservation so that in several locations in the hemisphere mangrove areas are shrinking due to anthropogenic processes and climate change. So regular monitoring is needed to maintain the mangrove ecosystem. Remote sensing is an effective method for mapping mangrove areas quickly and efficiently, especially with the development of cloud computing-based mapping technology. Through the Google Earth Engine (GEE) tool, this article extracts the mangrove cover area from 2016 to 2022 using Sentinel-2 MSI Level-2A satellite imagery, using the random forest algorithm. The area of mangroves that can be extracted was 0.57 hectares in 2016 and increased to 2.2 hectares in 2022. Based on the sample used, 80% of the total sample was selected for training, and 20% for testing. Based on the results of the Validation overall accuracy calculation, the extraction results in 2016 reached 0.996, and in 2022 it reached 0.966.

Keywords: *Mangroves, Cloud Computing, Google Earth Engine, Random Forest.*

PENDAHULUAN

Kawasan mangrove memiliki ciri sebagai lahan basah intertidal yang umumnya berada di sepanjang garis pantai baik memiliki iklim tropis, subtropis, dan beriklim hangat (Bryan-Brown *et al.*, 2020; Thomas *et al.*, 2015), serta di sepanjang sungai atau muara (Foster-Smith & Sotheran, 2003) yang menjadi penghubung antara daratan dengan siklus karbon laut (Simard *et al.*, 2019). Mangrove menjadi lokasi dengan sumber daya pesisir yang berpotensi sebagai daerah penangkapan ikan, cagar alam, hiburan, akuakultur (Green *et al.*, 1998), benteng alami terhadap angin topan, siklon, tsunami (Roy *et al.*, 2019), menjaga stabilitas garis pantai, dan retensi sedimen serta nutrisi (Jia *et al.*, 2014), serta untuk mencegah erosi pantai

(Koch *et al.*, 2009). Salah satu fitur pesisir yang sering ditanam dan dikembangkan adalah ekosistem mangrove karena kemampuannya yang produktif dan kemampuannya untuk beradaptasi dengan mudah di daerah pasang surut, estuari, dan laguna. Saat ini, kecenderungan pengembangan mangrove berfokus pada pemanfaatannya dalam bidang ekowisata. Selain memberikan pengetahuan lingkungan kepada masyarakat, pengembangan mangrove ini juga memberikan nilai tambah dalam memperbaiki kualitas lingkungan di sekitarnya (Khakhim *et al.*, 2021).

Beberapa dekade terakhir, hutan mangrove terus mengalami penyusutan akibat proses antropogenik dan perubahan iklim (Lu & Wang, 2021; Prasetyo *et al.*, 2021). Richards & Friess,

(2016) melalui studinya menemukan fakta bahwa di Asia Tenggara Hutan bakau hilang dengan laju rata-rata 0,18% per tahun. Termasuk di dalamnya adalah akibat adanya konversi lahan di Indonesia. Melalui studi terbaru yang dilakukan oleh Yamamoto, (2023) dimana rumah tangga perikanan mengalami penurunan pendapatan tahunan berkisar antara 5,3% hingga 9,8% sebagai respons terhadap peningkatan 1% hilangnya mangrove di suatu wilayah. Sehingga, identifikasi luas kawasan mangrove secara berkala menjadi penting sebagai bahan pertimbangan dalam kelestarian alam dan konservasi (Salghuna & Pillutla, 2017).

Penginderaan Jauh dan perkembangan teknologi satelit berperan sangat signifikan dalam pemetaan tutupan lahan di suatu kawasan (Altamirano *et al.*, 2010; Kenduiwo *et al.*, 2020). Penginderaan jauh memberikan banyak keuntungan dibandingkan survei lapangan dalam memantau ekosistem pesisir ini, selain itu metodenya akurat, cepat dan hemat biaya (Jia *et al.*, 2014), karena kapasitas melakukan perekaman cakupan secara berulang dengan sensor terkalibrasi, multi-resolusi, multispektral, skala besar, jangka panjang, dan hemat biaya untuk pemetaan dan pemantauan perubahan mangrove secara berkala (D'lorio *et al.*, 2007; Cissell & Steinberg, 2019; Roy *et al.*, 2019; Sharifi *et al.*, 2022).

Melalui perkembangan teknologi komputasi yang masif dan kecepatan jaringan internet yang semakin luas, metode komputasi berbasis awan (*cloud computing*) muncul dan berkembang dengan intensif. Komputasi awan dapat

mempercepat proses simulasi dan pemodelan yang melibatkan data geospasial dalam jumlah besar hingga dalam tera dan peta *byte* (Yang *et al.*, 2017). Melalui penggunaan perangkat berbasis komputasi awan (*cloud computing*) memungkinkan pengguna melakukan analisis multi-temporal seperti yang telah dilakukan oleh Parida & Kumar, (2020) dengan menggunakan citra satelit Landsat 5 dan Sentinel-2 melalui algoritma *support vector machine* (SVM) untuk memetakan tutupan mangrove di sepanjang Pantai Odisha dari tahun 2009 sampai 2019. Prasetyo *et al.*, (2021) memanfaatkan teknologi komputasi awan pada *google earth engine* (GEE) menggunakan algoritma *random forest* (RF) untuk memetakan tutupan areal mangrove di Pulau Batam, dan Pimple *et al.*, (2018) memetakan wilayah Provinsi Trat, Thailand. Kamal *et al.*, (2020) melakukan analisis yang lebih kompleks dengan setidaknya melibatkan tiga algoritma yang berbeda yaitu, *support vector machine* (SVM), *random forest* (RF), dan *classification and regression trees* (CART) di wilayah Kabupaten Asmat, serta penelitian dari Kamal, Farda, *et al.*, (2020) mengambil wilayah studi pada Provinsi yang sama dengan fokus yang berbeda yaitu Kabupaten Timika dan Agats. Selain menggunakan citra satelit multispektral, identifikasi mangrove yang dilakukan oleh Ghorbanian *et al.*, (2021) memanfaatkan citra *synthetic aperture radar* (SAR) yang diklasifikasi menggunakan algoritma *random forest* (RF).

Kabupaten Pacitan sebagai salah satu wilayah administrasi yang berbatasan langsung dengan Samudera

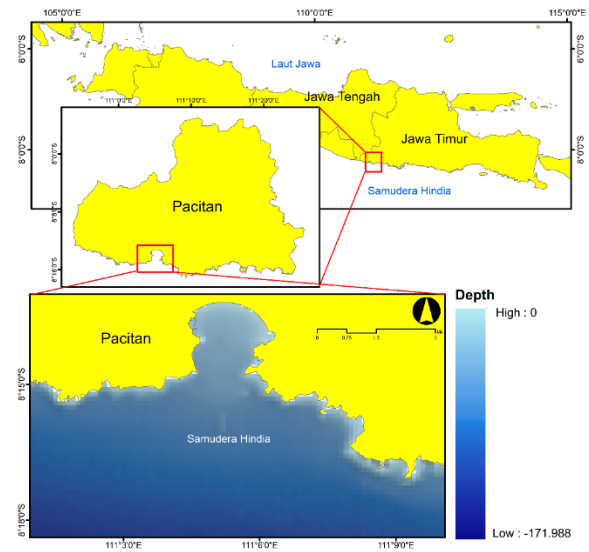
Hindia dan menjadi muara dari sistem DAS Grindulu khususnya Teluk Pacitan. Pengelolaan hutan Mangrove di Pesisir Kabupaten Pacitan belum berjalan dengan sistematis (Choirunnisa & Gravitiani, 2022) sehingga pemetaan dan monitoring secara berkala luasan tutupan areal kawasan mangrove di pesisir Kabupaten Pacitan menjadi prioritas yang krusial. Khakhim *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa perlu adanya strategi yang terintegrasi untuk menjaga, melindungi, dan mengembangkan ekosistem mangrove di Teluk Pacitan sebagai bentuk perlindungan terhadap bahaya tsunami, dengan tantangan utama yang berkaitan dengan ketersediaan lahan di Teluk Pacitan.

Sehingga penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan tutupan areal mangrove multi-temporal di Teluk Pacitan menggunakan teknologi komputasi berbasis awan (*google earth engine*). Algoritma yang digunakan adalah *random forest* (RF).

BAHAN DAN METODE

Wilayah Studi

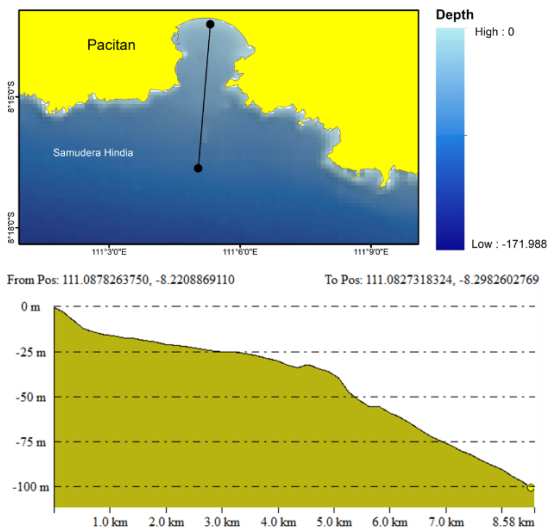
Teluk Pacitan merupakan sebuah wilayah yang secara administratif masuk ke dalam wilayah Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Pacitan (Gambar 1). Teluk Pacitan secara langsung berbatasan dengan Samudera Hindia di Selatan. Pada sisi perairan, kondisi topografi Teluk Pacitan cenderung landai (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi Kajian.

Sumber: Hasil pengolahan data RBI Skala 1:25.000 dan BATNAS (Batimetri Nasional)

Melalui sudut pandang geomorfologi, wilayah pesisir Pacitan memiliki ciri fisik berupa rangkaian gunung-gunung kapur di bagian selatan yang menghadap Samudera Hindia dan membentang dari Gunungkidul hingga Trenggalek. Dalam hal topografi, Pacitan didominasi oleh perbukitan dengan lereng yang curam, melebihi 15%, yang berdampak pada distribusi penduduk yang tidak merata (Wibowo *et al.*, 2017).



Gambar 2. Profil melintang topografi perairan Teluk Pacitan.

Sumber: Hasil pengolahan data RBI Skala 1:25.000 dan BATNAS (Batimetri Nasional)

Teluk Pacitan memiliki keberadaan pohon cemara pantai (*Casuarina equisetifolia*) yang tumbuh dengan subur membentuk hutan hijau di sepanjang garis pantai yang langsung menghadap ke laut. Meskipun tidak berdekatan dengan muara sungai, ekosistem mangrove yang ada memiliki potensi sebagai jalur hijau yang berfungsi secara lingkungan, dengan syarat upaya yang tepat dilakukan untuk pelestariannya, perlindungannya, dan pengembangannya. Tujuannya adalah menciptakan perlindungan alami melalui vegetasi yang dapat mengurangi dampak tsunami (Khakhim *et al.*, 2021).

Sumber Data Penelitian dan Kondisi Mangrove Terkini

Citra satelit Sentinel-2 MSI Level-2A yang digunakan dalam penelitian ini memiliki resolusi spasial dan spektral yang dapat dilihat pada tabel 1. Citra yang digunakan merupakan produk yang dikeluarkan oleh *European Space*

Agency (ESA) yang di dalamnya terdiri dari citra multispektral yang telah dilakukan tahap pra-pemrosesan. Sensor tersebut merekam informasi permukaan bumi dalam 13 pita spektral dari pita dengan panjang gelombang tampak hingga inframerah gelombang pendek (SWIR), dengan resolusi spasial yang berbeda antara 10 m dan 60 m (Ghorbanian *et al.*, 2021). Citra yang digunakan dilakukan proses penyaringan tanggal perekaman yaitu pada tanggal 01-06-2016 sampai dengan 30-06-2016 untuk tahun pemrosesan 2016, dan tanggal perekaman 01-06-2022 sampai dengan 30-06-2022.

Tabel 1. Spesifikasi citra Sentinel-2 MSI Level 2A

Resolusi Spasial (meter)	Resolusi Spektral (nm)
10	Biru (~490 nm), Hijau (~560 nm), Merah (~665 nm), NIR (~842)
20	<i>Vegetation Red Edge</i> (~705 nm, ~740 nm, ~783nm, ~865 nm), and SWIR (~1610 nm and ~2190 nm)
60	Coastal Aerosol (~443 nm), Water Vapour (~940 nm), and Cirrus band (~1375 nm)

Sumber: (Suardana *et al.*, 2023)

Komputasi pada Google Earth Engine (GEE)

Pada dasarnya citra satelit Sentinel-2 termasuk citra *open source* yang dapat diakses secara publik, sehingga dapat diolah langsung di dalam lembar kerja *google earth engine* (GEE). GEE adalah platform cloud yang memungkinkan kemampuan komputasi berkinerja tinggi

untuk pemrosesan data geospasial. GEE menyediakan hosting untuk kumpulan gambar satelit berukuran petabyte, yang telah berhasil dimanfaatkan secara efisien dalam berbagai penelitian terkait ilmu bumi, seperti pemetaan tutupan lahan (Ghorbanian *et al.*, 2021; Pimple *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini algoritma yang digunakan adalah *random forest* (RF). *Random forest* (RF) terbukti menjadi algoritma yang efisien dalam studi pemetaan mangrove (Ghorbanian *et al.*, 2021). RF adalah algoritma pembelajaran mesin yang mampu meningkatkan akurasi dalam pengenalan pola. Algoritma *random forest* memiliki kemampuan untuk mengatasi data latih dalam jumlah besar secara lebih efisien, serta efektif dalam mengurangi kesalahan klasifikasi hutan mangrove dengan tingkat yang sangat baik (Purwanto *et al.*, 2023). Algoritma dijalankan dengan melatih pengklasifikasi dari *random forest* dengan 10 trees pada kode editor di GEE dengan 200 sampel.

Komputasi melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) menggunakan citra Sentinel 2A dilakukan untuk memperoleh tutupan mangrove dengan membagi sampel secara langsung menjadi mangrove dan non-mangrove (Gambar 3).



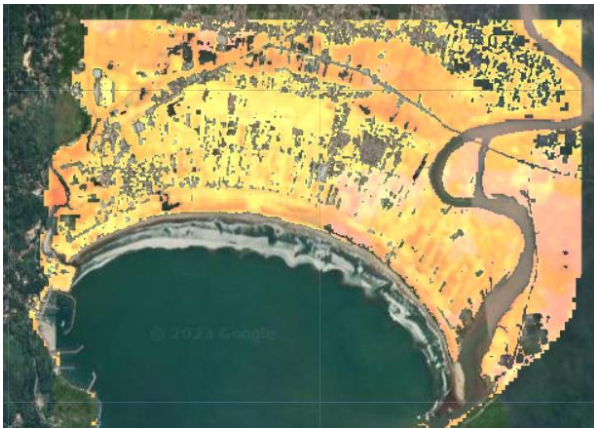
Gambar 3. Pengambilan sampel untuk mangrove (kiri), dan non-mangrove (kanan) sebagai input untuk algoritma *random forest*.

Kode program yang dibangun mempertimbangkan penggunaan pita QA untuk memperoleh citra yang jernih dari kontaminasi awan. Proses penyembunyian awan menggunakan saluran Penilaian Kualitas (QA) dan fungsi peredam median yang tersedia di GEE. Penggunaan pita QA menghilangkan kontaminasi awan di setiap gambar, sedangkan fungsi median reducer digunakan untuk memilih nilai piksel rata-rata dari seluruh tumpukan citra satelit yang digunakan (Suardana *et al.*, 2023). Kemudian proses *masking* terhadap lokasi kajian dilakukan dengan melibatkan tiga parameter yaitu, data ketinggian yaitu *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI).

Asumsi dasar yang diterapkan adalah bahwa mangrove umumnya berkembang di wilayah pesisir yang memiliki ketinggian rendah, maka wilayah kajian yang dipertimbangkan adalah di bawah 30 meter di atas permukaan laut, dengan nilai NDVI 0,25 dan MNDWI -0,5 untuk mampu merepresentasikan vegetasi (Suardana *et al.*, 2023). Penelitian ini melibatkan beberapa indeks vegetasi diantaranya adalah NDVI, MNDWI, *Normalized Difference Mangrove Index* (NDMI), *Simple Ratio* (SR), dan *Green Chlorophyll Vegetation Index* (GCVI). Proses *masking* dilakukan pada data citra Sentinel-2A tahun 2016 (Gambar 4) dan

data citra Sentinel-2A tahun 2022 (Gambar 5).

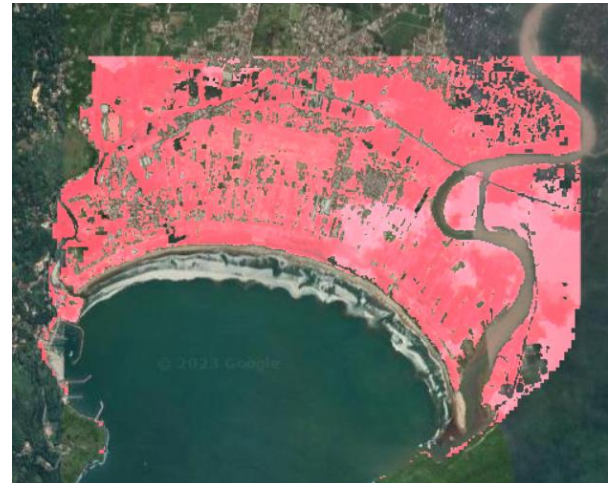
Pada penelitian *ini* algoritma *random forest* (RF) dijalankan dengan melakukan klasifikasi terhadap sampel mangrove dan non-mangrove yang sebelumnya telah disiapkan dan diinterpretasi secara visual dengan bantuan *false color composite* (FCC). Kombinasi pita yang digunakan adalah NIR-SWIR-Red. Kombinasi pita tersebut digunakan untuk mempermudah melakukan identifikasi lokasi sampel mangrove.



Gambar 4. Tampilan komposit citra Sentinel-2 tahun perekaman 2022 dengan kombinasi NIR – SWIR - Merah.

Sumber: Sentinel-2A yang diolah melalui GEE

Berdasarkan algoritma *random forest* yang digunakan, penelitian ini menggunakan 100 *decision trees* dan 5 *variable split*, yang didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Suardana *et al.*, (2023) yang menyebutkan bahwa 100 *trees* mampu menghasilkan performa yang baik dalam model yang dijalankan melalui algoritma *random forest*, terutama data dengan kompleksitas rendah dan berjumlah sedikit.



Gambar 5. Tampilan komposit citra Sentinel-2 tahun perekaman 2016 dengan kombinasi NIR – Merah - Hijau.

Sumber: Sentinel-2A yang diolah melalui GEE

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil identifikasi dan survei di lapangan, ditemukan mangrove dengan spesies yang homogen, baik yang berada di muara Sungai Teleng, maupun Muara Sungai Grindulu. Berdasarkan publikasi resmi dari Pemerintah Provinsi Jawa Timur (Sukandar *et al.*, 2017) setidaknya terdapat beberapa jenis mangrove yang ada di Teluk Pacitan, diantaranya adalah *Avicennia alba*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata* *Bruguiera parviflora*, dan *Sonneratia alba*. Namun, pada saat berlangsungnya kegiatan survei jenis mangrove yang umum dijumpai hanya *Rhizophora apiculata* (Gambar 6). Berdasarkan hasil kalkulasi pemetaan luasan tutupan mangrove di Teluk Pacitan, sampel yang digunakan untuk melakukan ekstraksi mangrove di tahun 2016 digunakan sampel sebanyak 1372 piksel yang terbagi menjadi 80% data sampel untuk *training* (sejumlah 1098 sampel piksel) dan 20% untuk

testing (sejumlah 274 sampel piksel). *Validation overall accuracy* yang diperoleh cukup baik mencapai nilai 0,996 (dimana nilai maksimalnya adalah 1). Untuk proses ekstraksi tahun 2022 digunakan sampel sebanyak 1372 piksel yang terbagi menjadi 80% data sampel untuk *training* (sejumlah 1097 sampel piksel) dan 20% untuk *testing* (sejumlah 284 sampel piksel). *Validation overall accuracy* yang diperoleh cukup baik mencapai nilai 0,966.



Gambar 6. *Rhizophora apiculata* yang ditemui pada kegiatan survei lapangan.

Berdasarkan perhitungan luasan tutupan mangrove melalui GEE menggunakan komputasi awan, luasan yang diperoleh pada tahun 2016 di Teluk Pacitan mencapai 0,57 Hektar (Gambar 7).



Gambar 7. Tutupan mangrove 2016 yang berhasil diekstraksi menggunakan GEE melalui algoritma *random forest*.
Sumber: diolah menggunakan GEE

Di sisi lain, luasan tutupan mangrove yang berhasil di ekstraksi menggunakan GEE melalui algoritma *random forest* pada tahun 2022 adalah 2,2 hektar. Terdapat kenaikan luasan tutupan mangrove dari tahun 2016 sampai dengan 2022.



Gambar 8. Tutupan mangrove tahun 2022 yang berhasil diekstraksi menggunakan GEE melalui algoritma *random forest*.

Sumber: diolah menggunakan GEE

Hasil ekstraksi membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat apabila dibandingkan dengan pengolahan data secara konvensional. Penambahan luasan kawasan mangrove ini disebabkan oleh proses pertumbuhan secara alamiah. Selain itu terdapat juga peran penting masyarakat dan pemerintah dalam melakukan penjagaan terhadap kawasan mangrove tersebut.

KESIMPULAN

Pemetaan luasan tutupan areal mangrove di Teluk Pacitan dapat dilakukan dengan waktu yang relatif lebih singkat dari pemetaan yang bersifat konvensional. Luasan mangrove yang dapat diekstraksi adalah 0,57 Hektar di tahun 2016 dan meningkat menjadi 2,2 hektar di tahun 2022. Berdasarkan sampel yang digunakan, dipilih 80% dari total sampel digunakan untuk *training*, dan 20% untuk *testing*. Berdasarkan hasil perhitungan *Validation overall accuracy*, hasil ekstraksi tahun 2016 mencapai 0,996, dan pada tahun 2022 mencapai 0,966.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis adalah kontributor utama dalam artikel ilmiah ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada civitas fakultas geografi UGM, pemerintah kabupaten Pacitan dan rekan-rekan mahasiswa Magister Geografi UGM minat Khusus MPPDAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Altamirano, J. P., Primavera, J. H., Banaticla, M. R. N., & Kurokura, H. (2010). Practical techniques for mapping small patches of mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, 18(6), 707–715. <https://doi.org/10.1007/s11273-010-9190-2>
- Bryan-Brown, D. N., Connolly, R. M., Richards, D. R., Adame, F., Friess, D. A., & Brown, C. J. (2020). Global trends in mangrove forest fragmentation. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63880-1>
- Choirunnisa, L. A. D., & Gravitiani, E. (2022). Aplikasi Benefit Transfer Pada Pengelolaan Ekosistem Mangrove Pesisir Kabupaten Pacitan Berdasarkan Pendekatan Circular Economy. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 12(1), 65. <https://doi.org/10.15578/jksekp.v12i1.10048>
- Cissell, J. R., & Steinberg, M. K. (2019). Mapping forty years of mangrove cover trends and their implications for flats fisheries in Ciénaga de Zapata, Cuba. *Environmental Biology of Fishes*, 102(2), 417–427. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0809-0>

- D'Iorio, M., Jupiter, S. D., Cochran, S. A., & Potts, D. C. (2007). Optimizing remote sensing and GIS tools for mapping and managing the distribution of an invasive mangrove (*Rhizophora mangle*) on South Molokai, Hawaii. *Marine Geodesy*, 30(1–2), 125–144. <https://doi.org/10.1080/01490410701296663>
- Foster-Smith, R. L., & Sotheran, I. S. (2003). Mapping marine benthic biotopes using acoustic ground discrimination systems. *International Journal of Remote Sensing*, 24(13), 2761–2784. <https://doi.org/10.1080/0143116031000066323>
- Ghorbanian, A., Zaghian, S., Asiyabi, R. M., Amani, M., Mohammadzadeh, A., & Jamali, S. (2021). Mangrove ecosystem mapping using sentinel-1 and sentinel-2 satellite images and random forest algorithm in google earth engine. *Remote Sensing*, 13(13), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs13132565>
- Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Ellis, A. C. (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 935–956. <https://doi.org/10.1080/014311698215801>
- Jia, M., Wang, Z., Li, L., Song, K., Ren, C., Liu, B., & Mao, D. (2014). Mapping China's mangroves based on an object-oriented classification of Landsat imagery. *Wetlands*, 34(2), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0449-2>
- Kamal, M., Farda, N. M., Jamaluddin, I., Parela, A., Wikantika, K., Prasetyo, L. B., & Irawan, B. (2020). A preliminary study on machine learning and google earth engine for mangrove mapping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012038>
- Kamal, M., Jamaluddin, I., Parela, A., & Farda, N. M. (2020). Comparison of Google Earth Engine (GEE)-based machine learning classifiers for mangrove mapping. *40th Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2019: Progress of Remote Sensing Technology for Smart Future, October*.
- Kenduiywo, B. K., Mutua, F. N., Ngigi, T. G., & Waithaka, E. H. (2020). Mapping mangrove forest using Landsat 8 to support estimation of land-based emissions in Kenya. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3), 1619–1632. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00778-x>
- Khakhim, N., Lazuardi, W., Wicaksono, A., Pratama, D. N. D., & Musthofa, A. (2021). Priority areas for mangrove conservation to support disaster mitigation efforts in

- pacitan bay. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 11(5), 593–603. <https://doi.org/10.18280/IJSSE.110511>
- Koch, E. W., Barbier, E. B., Silliman, B. R., Reed, D. J., Perillo, G. M. E., Hacker, S. D., Granek, E. F., Primavera, J. H., Muthiga, N., Polasky, S., Halpern, B. S., Kennedy, C. J., Kappel, C. V., & Wolanski, E. (2009). Non-linearity in ecosystem services: Temporal and spatial variability in coastal protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 29–37. <https://doi.org/10.1890/080126>
- Lu, Y., & Wang, L. (2021). How to automate timely large-scale mangrove mapping with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 264(January), 112584. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112584>
- Parida, B. R., & Kumar, P. (2020). Mapping and dynamic analysis of mangrove forest during 2009–2019 using landsat–5 and sentinel–2 satellite data along Odisha Coast. *Tropical Ecology*, 61(4), 538–549. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00112-7>
- Pimple, U., Simonetti, D., Sitthi, A., Pungkul, S., Leadprathom, K., Skupek, H., Som-ard, J., Gond, V., & Towprayoon, S. (2018). Google Earth Engine Based Three Decadal Landsat Imagery Analysis for Mapping of Mangrove Forests and Its Surroundings in the Trat Province of Thailand. *Journal of Computer and Communications*, 06(01), 247–264. <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.61025>
- Prasetyo, I., Pranowo, W. S., Tobing, C. L., Kurniawan, A., & Puliwarna, T. (2021). ANALISIS MANGROVE DARI CITRA SATELIT SEBAGAI PERTAHANAN PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN CLOUD COMPUTING. *Jurnal Chart Datum*, 7(1), 47–62.
- Purwanto, A. D., Wikantika, K., Deliar, A., & Darmawan, S. (2023). Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sensing*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/rs15010016>
- 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 of the United States of America*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Roy, S., Mahapatra, M., & Chakraborty, A. (2019). Mapping and monitoring of mangrove along the Odisha coast based on remote sensing and GIS techniques. *Modeling*

- Earth Systems and Environment*, 5(1), 217–226.
<https://doi.org/10.1007/s40808-018-0529-7>
- Salghuna, N. N., & Pillutla, R. C. P. (2017). Mapping Mangrove Species Using Hyperspectral Data: A Case Study of Pichavaram Mangrove Ecosystem, Tamil Nadu. *Earth Systems and Environment*, 1(2), 1–12.
<https://doi.org/10.1007/s41748-017-0024-8>
- Sharifi, A., Felegari, S., & Tariq, A. (2022). Mangrove forests mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(20).
<https://doi.org/10.1007/s12517-022-10867-z>
- Simard, M., Fatoyinbo, L., Smetanka, C., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Thomas, N., & Van der Stocken, T. (2019). Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*, 12(1), 40–45.
<https://doi.org/10.1038/s41561-018-0279-1>
- Suardana, A. A. M. A. P., Anggraini, N., Nandika, M. R., Aziz, K., Asyaktur, A. R., Ulfa, A., Wijaya, A. D., Prasetio, W., Winarso, G., & Dewanti, R. (2023). Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Bena Bay of Bali Province, Indonesia. *Forest and Society*, 7(1), 116–134.
<https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062>
- Sukandar, Dewi, C. S. U., Haq, R. S. Q., Harsindhi, C. J., & Fatmawati, R. (2017). *Ekowisata pesisir dan laut jawa timur (pacitan, trenggalek dan tulungagung)*. Bidang Kelautan, Pesisir, dan Pengawasan DINAS KELAUTAN DAN PERIKANAN PROVINSI JAWA TIMUR.
- Thomas, N., Lucas, R., Itoh, T., Simard, M., Fatoyinbo, L., Bunting, P., & Rosenqvist, A. (2015). An approach to monitoring mangrove extents through time-series comparison of JERS-1 SAR and ALOS PALSAR data. *Wetlands Ecology and Management*, 23(1), 3–17.
<https://doi.org/10.1007/s11273-014-9370-6>
- Wibowo, T. W., Mardiatno, D., & Sunarto, S. (2017). Pemetaan Risiko Tsunami terhadap Bangunan secara Kuantitatif. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 68–78.
<https://doi.org/10.22146/mgi.28044>
- Yamamoto, Y. (2023). Living under ecosystem degradation: Evidence from the mangrove–fishery linkage in Indonesia. *Journal of Environmental Economics and Management*, 118(January), 102788.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023>

.102788

Yang, C., Yu, M., Hu, F., Jiang, Y., & Li, Y.
(2017). Utilizing Cloud Computing
to address big geospatial data
challenges. *Computers,
Environment and Urban Systems*,
61, 120–128.
[https://doi.org/10.1016/j.compenvu
rbsys.2016.10.010](https://doi.org/10.1016/j.compenvu
rbsys.2016.10.010)

