ANALISIS ABRASI DAN AKRESI BERDASARKAN CITRA SATELIT DENGAN METODE *NEURAL NETWORK CLASSIFIER*

Received: 30 November 2024
Accepted: 31 Januari 2025
*Korespondensi:
hani.ramadhan@kkp.go.id

Hani Ramadhan*, Fegi Nurhabni, Novi Susetyo Adi, Santoso Budi Widiarto

Direktorat Jenderal Pengelolaan Kelautan dan Ruang Laut, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Republik Indonesia

Abstrak — Penelitian ini memaparkan hasil uji coba penggunaan *neural network classifier* pada citra satelit untuk menganalisis perubahan garis pantai sejak 1984 hingga 2021. Uji coba dilaksanakan di sekitar Pantai Penyu, Kecamatan Leupung, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. Telah dianalisis 331 citra dari satelit Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, Landsat 9, dan Sentinel-2. Dari hasil analisis diperoleh ekstraksi garis pantai dari seluruh citra, perubahan garis pantai secara bulanan, musiman, dan tren abrasi/akresi di setiap transek pengamatan perubahan garis pantai. Pengaruh tsunami 2004 terekam dalam citra menghasilkan abrasi hingga 50 m di lokasi kajian. Tren perubahan garis pantai pada transek-transek pengamatan sepangjang garis pantai pada domain kajian berkisar antara -3,23 m/tahun (abrasi) sampai 0,87 m/tahun (akresi).

Kata Kunci — Abrasi, Akresi, Coastsat, Klasifikasi Citra, *Neural Network Classifier*, Penginderaan Jauh, Pesisir

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Wilayah pesisir merupakan wilayah yang sangat dinamis yang banyak dipengaruhi oleh variasi tinggi muka laut, gelombang ekstrim, storm surges, dan aliran sungai yang saling berinteraksi dalam serangkaian proses fisis (Ranasinghe, 2016). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya intensifikasi energi gelombang rata-rata (Reguero dkk, 2019), peningkatan kejadian gelombang ekstrim (Mentaschi dkk, 2017), dan peningkatan kecepatan angin di wilayah pesisir (Young dan Ribal, 2019), yang secara keseluruhan berpotensi menimbulkan bencana pesisir di beberapa dekade yang akan datang (Li dkk, 2018). Dengan demikian, keberadaan sistem monitoring perubahan garis pantai sangat krusial bagi pembuat kebijakan dalam mengelola pengembangan wilayah pesisir (Barnard dkk, 2017; Harley dkk, 2017; Masselink dkk, 2016). Meski demikian, ketersediaan data pengukuran insitu masih sangat terbatas dan hanya tersedia pada beberapa stasiun pengamatan di seluruh dunia (Barnard dkk, 2015; Pianca dkk, 2015; Turner dkk, 2016). Data penginderaan jauh yang tersedia secara publik menyediakan

solusi yang murah untuk mendapatkan data observasi jangka panjang perubahan garis pantai pada skala global. *Google Earth Engine* (GEE) menyediakan fasilitas untuk mengakses arsip citra satelit yang memungkinkan kita untuk melakukan analisis perubahan garis pantai secara global hingga lebih dari tiga puluh tahun ke belakang (Gorelick dkk, 2017; Donchyts dkk, 2016; Li dkk, 2019; Luijendijk dkk, 2018 Mentaschi dkk, 2018).

Citra satelit telah digunakan pada banyak aplikasi penginderaan jauh, seperti analisis perubahan morfologi sungai (Monegaglia, 2018), delineasi jejak lahan basah (Quinn dan Epshtein, 2014), dan identifikasi tumpahan minyak (Keramitsoglou dkk, 2006). Citra satelit optik pun mulai digunakan untuk mendeteksi posisi garis pantai (García-Rubio dkk, 2015; Kuleli dkk, 2011; Liu dkk, 2017; Pardo-Pascual dkk, 2012) yang menjadi acuan bagi pengelola wilayah pesisir sebagai indikator bagaimana garis pantai berevolusi sepanjang waktu. Hagenaars dkk (2018) menggunakan citra komposit Landsat 5, Landsat 8 dan Sentinel-2 untuk memetakan posisi garis pantai dengan akurasi setengah dari ukuran piksel citranya (15 m untuk citra Landsat dan 5 m untuk citra Sentinel-2) sedangkan Pardo-Pascual dkk (2018) telah melakukan analisis pada level subpiksel dalam mendeteksi posisi garis pantai dan menghasilkan akurasi hingga 10 m atau kurang menggunakan citra Landsat 7, Landsat 8 dan Sentinel-2. Vos dkk (2019) telah mengembangkan CoastSat, sebuah aplikasi open source berbasis Python untuk mengekstrak garis pantai dari citra satelit yang tersedia secara publik yang diarsipkan oleh *Google Earth Engine* dengan akurasi sekitar 10 m. Pada penelitian ini, akan dicoba penggunaan CoastSat untuk menganalisis perubahan garis pantai di wilayah Indonesia. Analisis ini dibutuhkan sebagai bahan penyusunan informasi geospasial abrasi dan akresi di wilayah Indonesia.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai di wilayah pesisir Indonesia menggunakan aplikasi CoastSat berbasis citra satelit. Hasil analisis mencakup identifikasi abrasi dan akresi, serta tren perubahan garis pantai dari tahun ke tahun untuk mendukung pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

Manfaat

Penelitian ini memberikan manfaat praktis sebagai referensi bagi pembuat kebijakan dalam mengelola risiko abrasi dan akresi di wilayah pesisir. Selain itu, hasil

penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem pemantauan garis pantai berbasis data penginderaan jauh di Indonesia.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Periode pengambilan citra dimulai sejak 1 Januari 1984 s.d. 1 Januari 2022. Lokasi penelitian dilakukan di sekitar Pantai Penyu, Kecamatan Leupung, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh dengan koordinat seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat area kajian

No	Bujur	Lintang
1	95.2220745191984° BT	5.359106038845560° LU
2	95.2220745191984° BT	5.435821165605520° LU
3	95.2639191337948° BT	5.435821165605520° LU
4	95.2639191337948° BT	5.359106038845560° LU

Alat dan Bahan

Pemrosesan citra dilaksanakan menggunakan laptop dengan prosesor Intel® Core ™ i5-1035G1 (8 CPUs) 1,2 GHz dengan RAM 8 GB. Instalasi CoastSat dengan menggunakan Anaconda dengan Python versi 3.12. Input file untuk menjalankan CoastSat antara lain koordinat area kajian (format KML), referensi garis pantai (format GeoJSON), dan transek pengamatan dengan arah normal terhadap garis pantai (format GeoJSON) dibuat dengan menggunakan *software* QGIS. Citra satelit yang digunakan merupakan citra reflektansi TOA (*Top-of-Atmosphere*) dari satelit Landsat 5 (TM), Landsat 7 (EMT+), Landsat 8 (OLI) Tier 1 collection dan Sentinel-2 (MSI) Level-1C pada band tiga sinar tampak (R, G, B), band inframerah dekat (NIR), dan band inframerah gelombang pendek (SWIR1) yang diperoleh melalui GEE API (*Application Programming Interface*).

Pre-Processing

Sebelum dilakukan deteksi garis pantai, citra TOA terlebih dahulu dilakukan analisis tutupan awan, penajaman citra pankromatik, dan *down-sampling*. Analisis tutupan awan dilakukan untuk menentukan apakah citra yang diperoleh melewati

ambang batas tutupan awan yang ditentukan atau tidak. Jika melebihi ambang batas, maka citra tersebut tidak digunakan dalam analisis deteksi garis pantai. Pada penelitian ini, ambang batas tutupan awan yang digunakan adalah 0,1. Analisis penajaman citra pankromatik dilakukan pada citra Landsat 7 dan Landsat 8. Resolusi spektrum elektromagnetik (R, G, B, NIR, dan SWIR1) kedua citra yang semula 30 m, dipertajam menjadi 15 m sesuai dengan resolusi *band* pankromatik dengan menerapkan metode fusi berdasarkan *principal component analysis* (Tu dkk, 2001). Meskipun Landsat 5 tidak memiliki band pankromatik, resolusi ditingkatkan (*down sampling*) dari 30 m menjadi 15 m dengan metode interpolasi bilinear. Pada citra Sentinel-2, *band* SWIR1 resolusinya ditingkatkan dari 20 m menjadi 10 m dengan metode interpolasi bilinear, sehingga seluruh band Sentinel-2 (R ,G, B, SWIR1) memiliki resolusi 10 m. **Error! Reference source not found.** menunjukkan ringkasan citra satelit yang dapat diakses dengan menggunakan CoastSat (Vos dkk, 2019).

Tabel 2. Ringkasan citra satelit yang dapat diakses dengan menggunakan CoastSat.

Satelit	GEE Collection	Cakupan Waktu	Periode	Resolusi
Landsat 5 (TM)	LANDSAT/LT05/ C01/T1_TOA	1984–2013	16 hari	30 m pada band R, G, B, NIR, SWIR1
Landsat 7 (ETM+)	LANDSAT/LE07/ C01/T1_RT_TOA	1999-sekarang	16 hari	30 m pada band R, G, B, NIR, SWIR1 bands dan 15 m pada band pankromatik
Landsat 8 (OLI)	LANDSAT/LC08/ C01/T1_RT_TOA	2013-sekarang	16 hari	30 m pada band R, G, B, NIR, SWIR1 bands dan 15 m pada band pankromatik
Sentinel-2 (MSI)	COPERNICUS/S2	2015-sekarang	5 hari	10 m pada band R, G, B, NIR dan 20 m pada band SWIR1

Deteksi Garis Pantai

Garis pantai didefinisikan sebagai garis batas antara daratan dan lautan. CoastSat mendeteksi garis pantai melalui dua tahapan: 1. Klasifikasi citra menjadi empat kelas (air, riak, pasir, dan fitur daratan lainnya), dan 2. Segmentasi batas subpiksel. Klasifikasi citra menjadi empat kelas dilakukan dengan metode *Neural Network* (Civco, 1993). Empat kelas yang dihasilkan kemudian diklasifikasi menjadi dua kelas saja yaitu darat dan laut.

Kelas darat mencakup kelas pasir dan kelas fitur daratan lainnya, sedangkan kelas laut mencakup kelas air dan riak. Garis batas antara kelas laut dan darat diekstrak dengan metode segmentasi batas subpiksel dengan menggunakan parameter Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). Nilai MNDWI batas darat/laut dihitung dengan menggunakan algoritma Otsu (Otsu, 1979). MNDWI dihitung sebagai berikut:

$$MNDWI = \frac{SWIR1-G}{SWIR1+G}$$

MNDWI = *Modified Normalized Difference Water Index*
SWIR1 = intesitas piksel pada *band* SWIR1
G = intensitas piksel pada *band* G

Pendeteksian garis pantai dengan CoastSat dijalankan dengan mode parameterisasi tanpa kontrol manual. Eksekusi program tanpa interaksi pengguna memungkinkan analisis dilakukan secara batch process untuk seluruh wilayah Indonesia. Parameter yang digunakan dijelaskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Parameter deteksi garis pantai.

Parameter	Kisaran Nilai	Nilai yang Digunakan	Keterangan
Cloud_thresh		0,1	Maksimum tutupan awan yang diizinkan
Dist_clouds		300	Jarak di sekitar awan yang tidak boleh dipetakan sebagai garis pantai (m)
Min_beach_area		1000	Area terkecil bagi suatu objek untuk dianggap sebagai pantai (m^2)
Min_length_sl		500	Panjang minimum garis pantai yang dianggap valid sebagai garis pantai (m)

Analisis Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai dievaluasi secara time series pada transek-transek pengamatan yang normal terhadap garis pantai referensi. Panjang transek 600 m, 300 m ke arah laut dan 300 m ke arah darat dari garis pantai referensi. Jarak antar transek berkisar 600 m. Perubahan garis pantai kemudian dirata-ratakan per bulan dan per musim untuk mengetahui pola perubahan garis pantai bulanan dan musiman.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

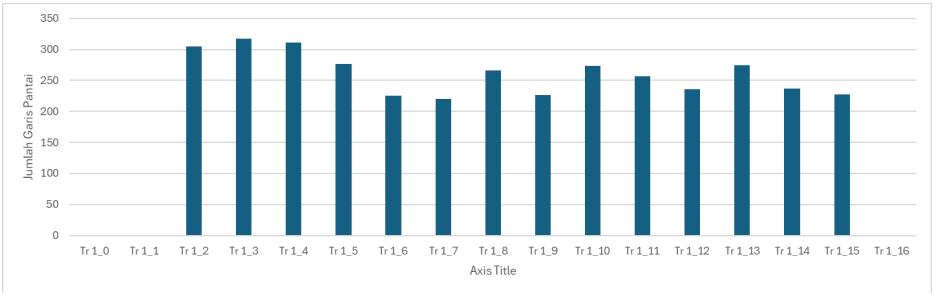
Citra pada bulan pertengahan (Maret 2009) menunjukkan program telah cukup berhasil menghasilkan garis pantai Gambar 1. Sebanyak 331 citra telah dianalisis pada kajian ini. Analisis perubahan garis pantai secara time series dilakukan pada 17 transek menghasilkan data time series perubahan garis pantai dengan rincian jumlah garis pantai terdeteksi ditunjukkan dalam Gambar 2. Semakin banyak jumlah garis pantai yang terekstraksi, menunjukkan pada transek tersebut program dapat dengan baik mengidentifikasi garis pantai dengan parameter yang diberikan. Transek 1_2 dan transek 1_3 merupakan transek dengan garis pantai terekstraksi terbanyak berturut-turt 305 dan 317 garis pantai terdeteksi. *Time series* perubahan garis pada transek Tr 1_2 ditunjukkan oleh Gambar 3. Terdapat abrasi sekitar 57 m pada citra Landsat 5 tanggal 21 Desember 2004 (C1) dan 6 Januari 2005 (C2) yang bertepatan dengan kejadian tsunami tanggal 26 Desember 2004. Perubahan penampakan lokasi kajian pun terlihat jelas pada Gambar 4.

Hasil deteksi garis pantai pada dua waktu (21 Desember 2004 dan 6 Januari 2005) ditunjukkan oleh Gambar 5. Terlihat pada gambar tersebut, di wilayah tengah (transek Tr 1_4 sampai Tr 1_12) garis pantai terputus atau hanya ada garis pantai yang terkestraksi dari salah satu citra, baik C1 maupun C2 saja. Hal ini dimungkinkan akibat adanya genangan air karena citra C1 dan C2 diambil di musim hujan. Perubahan garis pantai bulanan (Gambar 7) dan musiman (Gambar 8) dilakukan pada Tr 1_2, Tr 1_3, Tr 1_13, dan Tr 1_14. Jejak tsunami 2004 pun masih terlihat pada plot bulanan dan musiman, memperlihatkan pergerakan batas garis pantai ke arah darat sejauh ~50 m. Pola abrasi dan akresi belum terlihat jelas baik secara bulanan maupun musiman. Meski demikian, tren abrasi maupun akresi dapat dihitung dan tersaji dalam Tabel 4. Hampir seluruh transek mengalami tren abrasi dari -0,93 sampai -3,23 m/tahun kecuali pada transek Tr 1_9, Tr 1_10, dan Tr 1_11 yang menunjukkan tren akresi lemah (di bawah 0,9 m/tahun). Pada ketiga transek tersebut, deteksi garis pantai kurang akurat akibat adanya genangan air di belakang garis pantai sehingga membutuhkan penyesuaian parameter deteksi, khususnya pada parameter Min_beach_area dan Min_length_sl.

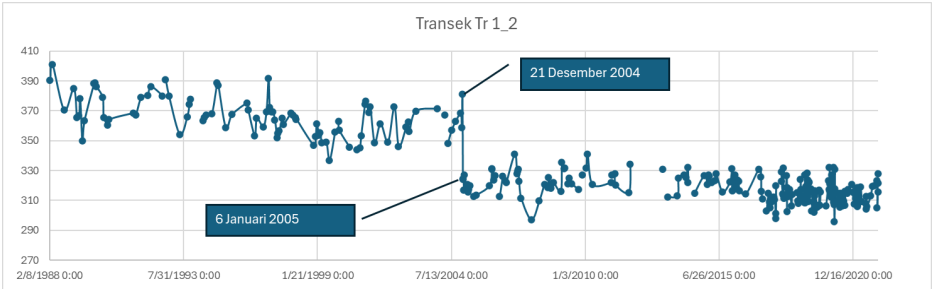
email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu



Gambar 1. Jumlah garis pantai terdeteksi pada setiap transek.

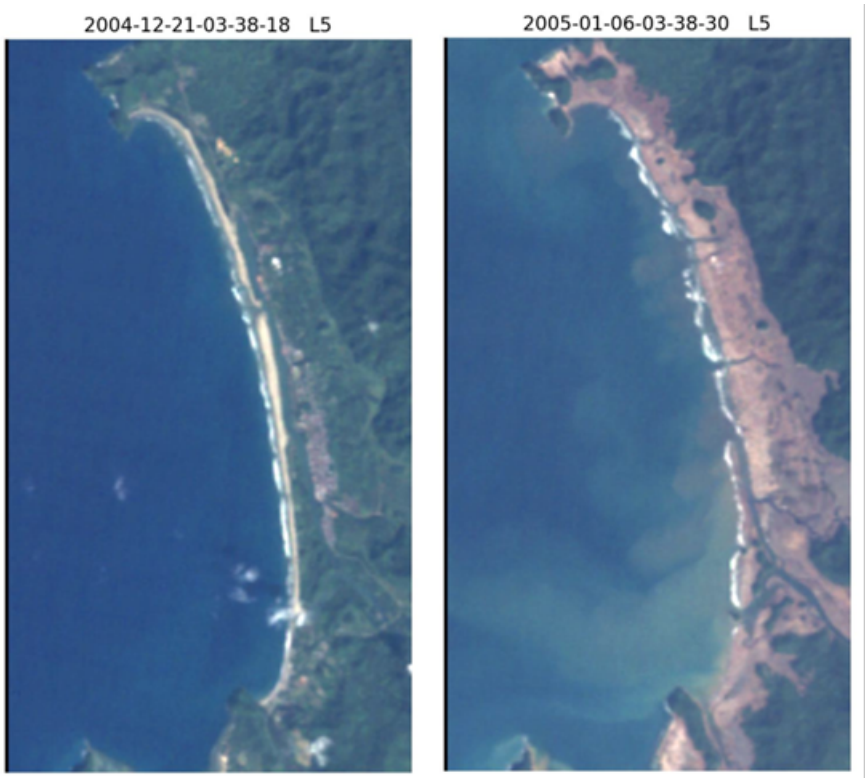


Gambar 2. Jumlah garis pantai terdeteksi pada setiap transek.



Gambar 3. *Time series* perubahan garis pantai pada transek Tr 1_2 dengan 305 garis pantai terekstraksi.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu



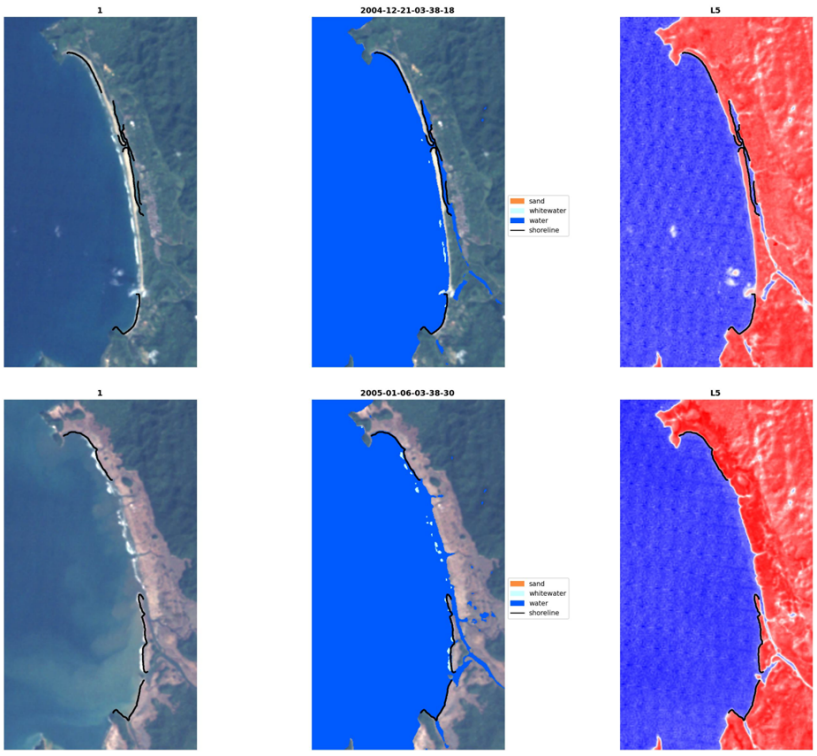
Gambar 4. Hasil *pre-processing* citra pada akhir Desember 2004 dan awal Januari 2005 pada Landsat 5.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu

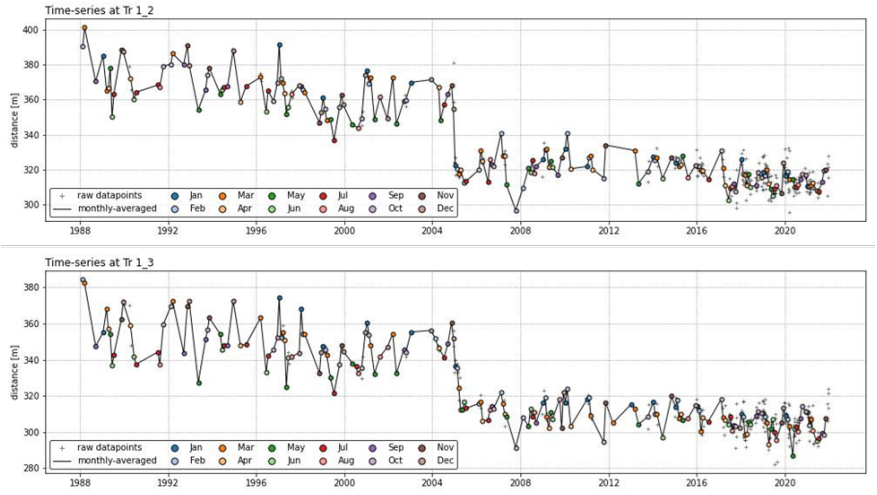


Gambar 5. Hasil deteksi garis pantai pada dua citra: 1. Citra pada 21 Desember 2004 (biru) dan 2. Citra pada 6 Januari 2005 (merah) dari Landsat 5

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu

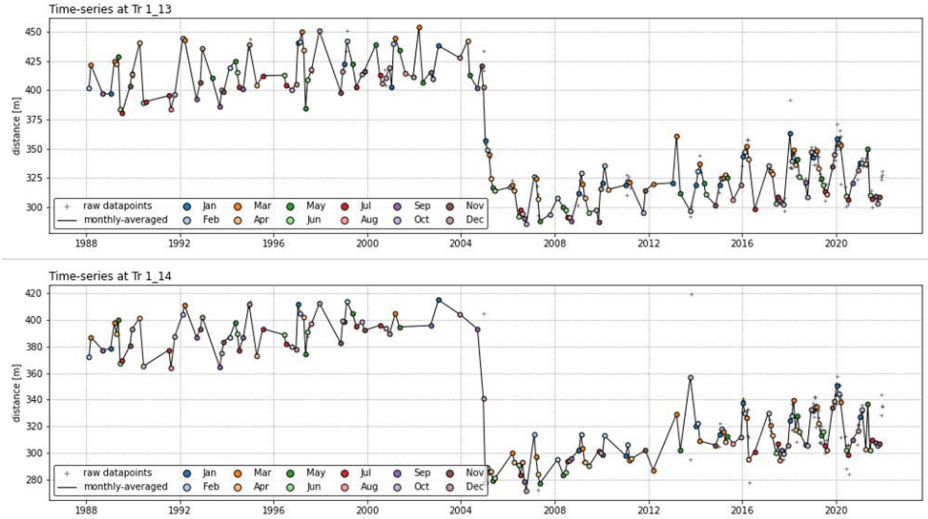


Gambar 6. Hasil klasifikasi dan deteksi garis pantai pada citra C1 (atas) dan C2 (bawah).

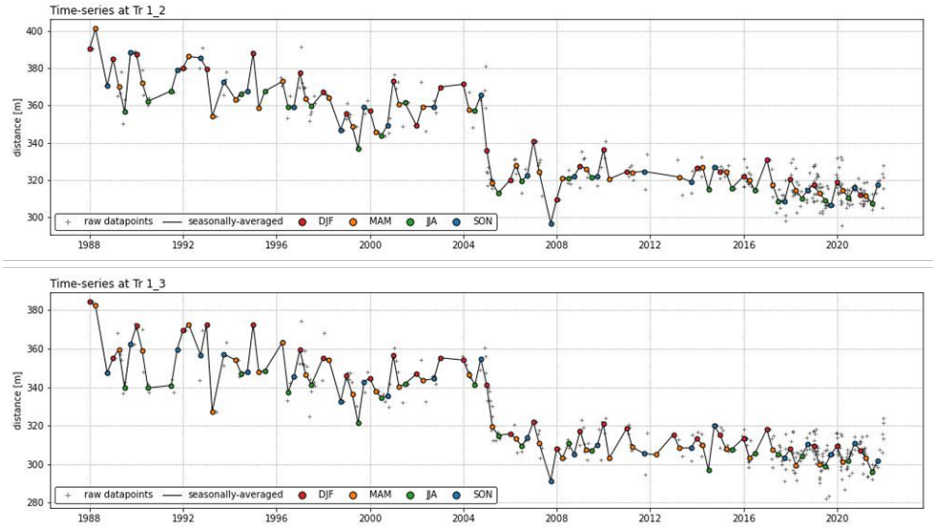


Gambar 7. Rataan bulanan perubahan posisi garis pantai pada transek Tr 1_2 dan Tr 1_3.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu

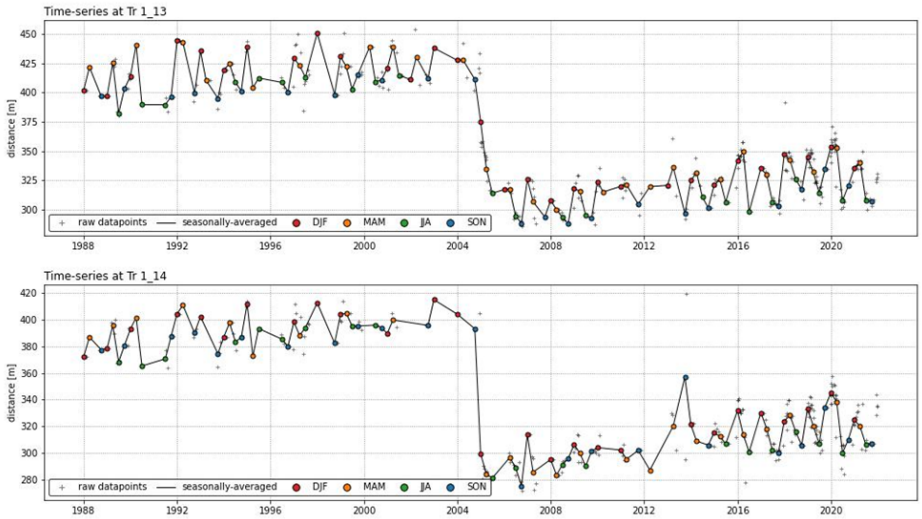


Gambar 8. Rataan bulanan perubahan posisi garis pantai pada transek Tr 1_13 dan Tr 1_14.



Gambar 9. Rataan musiman perubahan posisi garis pantai pada transek Tr 1_2 dan Tr 1_3.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu



Gambar 10. Rataan musiman perubahan posisi garis pantai pada transek Tr 1_13 dan Tr 1_14

Tabel 1. Tren abrasi (-) dan akresi (+) pada setiap transek.

Transek	Tren (m/tahun)	Transek	Tren (m/tahun)
Tr 1_2	-2,12	Tr 1_9	0,43
Tr 1_3	-1,87	Tr 1_10	0,15
Tr 1_4	-0,93	Tr 1_11	0,87
Tr 1_5	-2,96	Tr 1_12	-2,07
Tr 1_6	-2,68	Tr 1_13	-3,23
Tr 1_7	-2,83	Tr 1_14	-2,40
Tr 1_8	-1,25	Tr 1_15	-1,45

KESIMPULAN

Implementasi CoastSat dengan parameterisasi tanpa kontrol pengguna telah berhasil dilakukan. Hal ini menjadi dasar untuk penyediaan data abrasi / akresi untuk seluruh wilayah Indonesia. Ekstraksi garis pantai masih dapat ditingkatkan lagi akurasinya dengan menerapkan koreksi pasang surut. Citra yang tersedia secara publik yaitu Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 dan Sentinel-2 merupakan sumber data yang tersedia untuk menyediakan data dan informasi abrasi / akresi di wilayah Indonesia.

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktur Pendayagunaan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, Bapak Muhammad Yusuf, S.Hut., M.Si yang telah mendukung dan mengarahkan terimplementasinya CoastSat untuk analisis abrasi / akresi di wilayah Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Barnard, P., Hoover, D., Hubbard, D., Snyder, A., Ludka, B., Allan, J., . . . Serafin, K. (2017). Extreme oceanographic forcing and coastal response due to the 2015-2016 El Nino. *Nat. Commun., 8*.

Barnard, P., Short, A., Harley, M., Splinter, K., Vitousek, S., Turner, I., . . . Heathfield, D. (2015). Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Ni~no/Southern oscillation. *Nat. Geosci., 8*, 801–807. https://doi.org/10.1038/nge02539

Civco, D. (1993). Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. *Int. J. Geogr. Inf. Syst., 7*, 173–186. https://doi.org/10.1080/02693799308901949

Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J., & Van De Giesen, N. (2016). Earth's surface water change over the past 30 years. *Nat. Clim. Chang., 6*, 810–813. https://doi.org/10.1038/nclimate3111

García-Rubio, G., Huntley, D., & Russell, P. (2015). Evaluating shoreline identification using optical satellite images. *Mar. Geol., 359*, 96–105. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.11.002

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ., 202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hagenaars, G., de Vries, S., Luijendijk, A., de Boer, W., & Reniers, A. (2018). On the accuracy of automated shoreline detection derived from satellite imagery: a case study of the sand motor mega-scale nourishment. *Coast. Eng., 133*, 113–125. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.12.011

Harley, M., Turner, I., Kinsela, M., Middleton, J., Mumford, P., Splinter, K., . . . Short, A. (2017). Extreme coastal erosion enhanced by anomalous extratropical storm wave direction. *Sci. Rep.* https://doi.org/10.1038/s41598-017-05792-1

Keramitsoglou, I., Cartalis, C., & Kiranoudis, C. (2006). Automatic identification of oil spills on satellite images. *Environ. Model. Softw, 21*, 640–652. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.11.010

Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Eng., 38*, 1141–1149. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.006

Li, H., Wan, W., Fang, Y., Zhu, S., Chen, X., Liu, B., & Yang, H. (2019). A Google Earth engine-enabled software for efficiently generating high-quality user-ready landsat mosaic images. *Environ. Model. Softw., 112*, 16–22.

Li, N., Yamazaki, Y., Roeber, V., Cheung, K., & Chock, G. (2018). Probabilistic mapping of storm-induced coastal inundation for climate change adaptation. *Coast. Eng., 133*, 126–141.

Liu, Q., Trinder, J., & Turner, I. (2017). Automatic super-resolution shoreline change monitoring using Landsat archival data: a case study at Narrabeen–Collaroy Beach, Australia. *J. Appl. Remote Sens., 11*. https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.016036

Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The state of the world's beaches. *Sci. Rep.*, 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6

Masselink, G., Castelle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., & Floc, F. (2016). Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophys. Res. Lett.*, 2135–2143.

Mentaschi, L., Vousdoukas, M., Pekel, J., Voukouvalas, E., & Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Sci. Rep., 8*. https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w

Mentaschi, L., Vousdoukas, M., Voukouvalas, E., Dosio, A., & Feyen, L. (2017). Global changes of extreme coastal wave energy fluxes triggered by intensified teleconnection patterns. *Geophys. Res. Lett., 44*, 416–2426. https://doi.org/10.1002/2016GL072488

Monegaglia, F., Zolezzi, G., Güneralp, I., Henshaw, A., & Tubino, M. (2018). Automated extraction of meandering river morphodynamics from multitemporal remotely sensed data. *Environ. Model. Softw., 105*, 171–186. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.028

Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern, 20*, 62-66. https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076

Pardo-Pascual, J., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L., & Palomar-Vazquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETMþ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sens. Environ., 123*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.024

Pardo-Pascual, J., Sanchez-García, E., Almonacid-Caballer, J., Palomar-Vazquez, J., de los Santos, E., Fernandez-Sarría, A., & Balaguer-Beser, A. (2018). Assessing the accuracy of automatically extracted shorelines on microtidal beaches from landsat 7, landsat 8 and sentinel-2 imagery. *Remote Sens., 10*. https://doi.org/10.3390/rs10020326

Pianca, C., Holman, R., & Siegle, E. (2015). Shoreline variability from days to decades: results of long-term video imaging. *J. Geophys. Res. Ocean.*, 1–17. https://doi.org/10.1002/2014JC010320

Quinn, N., & Epshtein, O. (2014). Seasonally-managed wetland footprint delineation using landsat ETMþ satellite imagery. *Environ. Model. Softw.*, *54*, 9–23. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.012

Ranasinghe, R. (2016). Assessing climate change impacts on open sandy coasts: a review. *Earth Sci. Rev.* https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.011

Reguero, B., Losada, I., & Mendez, F. (2019). A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. *Nat. Commun.*, *10*, 1–14. https://doi.org/10.1038/s41467-018-08066-0

Tu, T., Su, S.-C., Shyu, H., & Huang, P. (2001). A new look at IHS-like image fusion methods. *Inf. Fusion, 2*, 177–186. https://doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00036-7

Turner, I., Harley, M., Short, A., Simmons, J., Bracs, M., Phillips, M., & Splinter, K. (2016). A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. *Sci. data*. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.24

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software, 122*.

Young, I., & Ribal, A. (2019). Multiplatform evaluation of global trends in wind speed and wave height. *Science, 364*(6440), 548-552. https://doi.org/10.1126/science.aav9527

email: semnas.ikl@gmail.com
web: https://agriculture.unib.ac.id/bms
Program Studi Kelautan
Fakultas Pertanian
Universitas Bengkulu