



Pemetaan batimetri perairan sekitar Pulau Barranglombo menggunakan citra Sentinel-2

Muhammad Anshar Amran^{1*}, Wasir Samad Daming¹

¹Departemen Ilmu Kelautan, Universitas Hasanuddin
Kampus Unhas Tamalanrea, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, Indonesia

*E-mail: muhammadansharamran@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi pemetaan kedalaman perairan (batimetri) telah berkembang pesat dari sisi piranti penduga kedalaman dan metode yang digunakan. Pemanfaatan penginderaan jauh satelit adalah salah satu metode pemetaan batimetri yang efektif dan efisien karena mampu mengkaji satu cakupan daerah yang luas dan sulit dijangkau, serta hasil berupa data digital yang mudah diakses oleh pengguna. Pemetaan batimetri dipengaruhi oleh jenis citra satelit yang dipakai, karena setiap jenis citra satelit memiliki kerincian yang berbeda dari segi resolusi spasial piksel maupun kepekaan sensor dalam pendekatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan data citra Sentinel-2 dalam pemetaan batimetri perairan dangkal dengan menerapkan algoritma Stumpf. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data citra Sentinel-2 dapat digunakan untuk pemetaan batimetri dengan ketelitian yang cukup baik yakni RMS-error mencapai 0,39 meter.

Kata kunci: batimetri, penginderaan jauh, algoritma Stumpf, Sentinel-2

ABSTRACT

Water depth mapping technology (bathymetry) has developed rapidly from the depth gauge and the methods. Using satellite remote sensing is one of the effective and efficient bathymetry mapping methods because it can assess a wide and difficult-to-reach area, and the results are in the form of digital data that is easily accessible to users. Bathymetric mapping is also influenced by the type of satellite imagery used because each type has different details in terms of pixel spatial resolution and sensor sensitivity. This study aimed to apply Sentinel-2 imagery in shallow water bathymetry mapping by applying the Stumpf algorithm. The results of this study indicated that Sentinel-2 imagery provided bathymetry mapping with good accuracy, namely the RMS-error of 0.39 meters.

Keywords: bathymetry, remote sensing, Stumpf algorithm, Sentinel-2

I. Pendahuluan

Batimetri adalah proses penggambaran dasar perairan meliputi pengukuran, pengolahan, dan visualisasinya (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005). Informasi tentang batimetri suatu perairan memberikan banyak manfaat diantaranya untuk kepentingan militer, navigasi serta perencanaan dan manajemen pesisir. Selain itu juga, batimetri

zona intertidal diperlukan untuk studi morfologi dasar laut, lingkungan, pengelolaan sumberdaya pesisir dan permodelan oseanografi.

Teknologi pemetaan batimetri belakangan ini mengalami perkembangan yang pesat dari sisi piranti penduga kedalaman hingga metode yang digunakan. Pemanfaatan penginderaan jauh satelit adalah salah satu dari cara pemetaan batimetri yang sedang berkembang pesat saat ini. Pemetaan dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dinilai efektif dan efisien dalam pemetaan batimetri karena mampu mengkaji satu cakupan daerah yang luas dan sulit dijangkau, serta hasil berupa data digital yang mudah diakses oleh pengguna (Parthish *et al.*, 2011). Teknologi ini juga mampu untuk mendapatkan informasi secara sinoptik tentang fenomena yang terjadi di lautan yang dinamis, serta mempunyai kemampuan memberikan informasi secara kontinu karena wahana satelit telah diprogram untuk melintasi daerah yang sama dalam periode waktu tertentu.

Berbagai penelitian telah dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan suatu metode pendugaan kedalaman menggunakan pendekatan algoritma agar mendekati kedalaman aslinya, seperti yang telah dilakukan Lyzenga (1978) dan Stumpf *et al.*, (2003). Disamping itu, pemetaan batimetri dipengaruhi pula oleh jenis citra satelit yang dipakai, karena setiap jenis citra satelit memiliki kerincian yang berbeda dari resolusi pixel maupun kekuatan sensor dalam pendektsian.

Stumpf *et al.*, (2003) mengembangkan sebuah model rasio yang membandingkan reflektansi air pada 2 band citra satelit yang berbeda. Stumpf berasumsi dengan menggunakan perbandingan 2 band akan mengurangi efek albedo perairan yang selama ini menjadi masalah dalam pemetaan batimetri ataupun habitat perairan. Algoritma Stumpf (2003) untuk estimasi kedalaman perairan telah dimodifikasi oleh Kerr (2010). Penelitian Madden (2011) yang menggunakan algoritma Stumpf dengan perbandingan *Green/Yellow* dan *Green/Red* pada Teluk Tampa, Meksiko, berhasil menyimpulkan bahwa perbandingan di atas merupakan perbandingan kanal yang paling mendekati dengan data kedalaman aktual hasil *ground check*.

Kedalaman perairan yang terukur, baik secara *in situ* maupun melalui citra satelit, diukur mulai dari dasar laut. Pengukuran kedalaman ini perlu dikoreksi terhadap pasang surut perairan. Nilai kedalaman dasar laut yang diukur umumnya nilai kedalaman sebenarnya dan dikoreksi dengan nilai tunggang pasang surut. Oleh karena itu penting untuk mencatat waktu pada saat pengukuran kedalaman agar datum yang diperoleh dapat dikoreksi dengan benar.

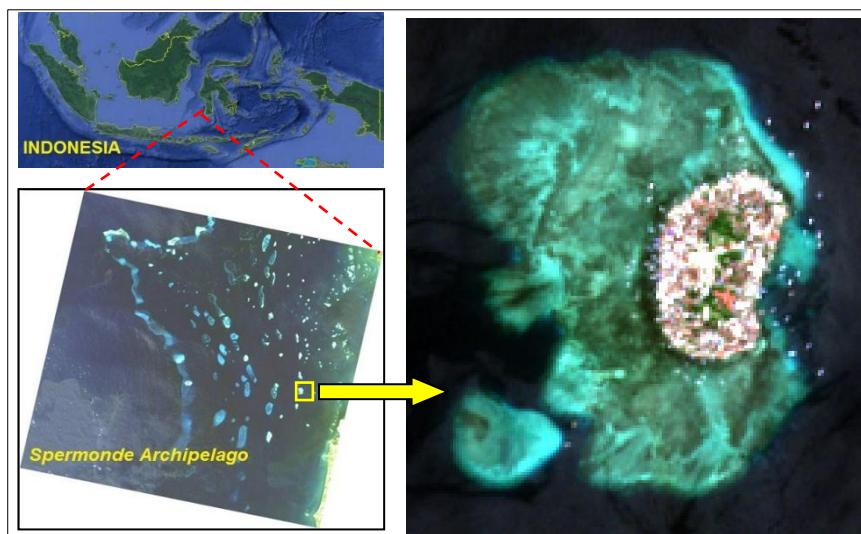
Perairan di sekitar Pulau Barranglopo belum terpetakan secara rinci. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk memperoleh peta batimetri dengan memanfaatkan data citra Sentinel-2 yang diolah berdasarkan algoritma *Stumpf*.

II. Metode penelitian

Dalam penelitian ini, data citra satelit yang digunakan adalah data citra Sentinel-2 level 2A, tanggal perekaman 22 Agustus 2023. Pengukuran kedalaman perairan menggunakan echosounder Garmin GPS MapSounder 420si. Wilayah kajian meliputi laut sekitar Pulau Barranglopo, Makassar. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki dasar perairan dengan berbagai jenis obyek serta kedalaman yang bervariasi.

Registrasi koordinat dilakukan untuk meletakkan posisi obyek di citra sesuai dengan prinsip-prinsip pemetaan sehingga setiap pixel pada citra berada pada koordinat yang sebenarnya (Richard, 2013; Amran, 2023; 2024). Registrasi pada penelitian ini

dilakukan dengan menggunakan metode transformasi koordinat orde satu. Penyesuaian proyeksi dilakukan sesuai dengan sistem proyeksi UTM, dengan menggunakan titik kontrol medan (GCP) yang koordinatnya ditentukan dari pengukuran di lapangan. Proses selanjutnya adalah interpolasi nilai spektral bagi masing-masing piksel. Interpolasi nilai piksel yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses resampling tetangga terdekat (*nearest neighbour resampling*).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Citra komposit berwarna yang dibuat dalam penelitian ini adalah citra komposit warna semu dengan kombinasi RGB432. Pada citra komposit tersebut dapat dikenali obyek dan cakupan wilayah penelitian sehingga dapat dilakukan pemotongan citra. Pemotongan citra dilakukan dengan tujuan agar analisis data terpusat pada obyek dan wilayah yang diteliti. *Land-masking* akan dilakukan untuk memisahkan liputan daratan dan laut, sehingga analisis citra dibatasi pada wilayah perairan laut saja (Amran, 2023; 2024).

Pemetaan batimetri dengan menggunakan data citra Sentinel-2 dilakukan dengan menggunakan algoritma Stumpf (2003) yang telah dimodifikasi (Kerr, 2010). Algoritma atau model estimasi kedalaman perairan yang digunakan adalah:

$$Z = \sum_{ij} b_{ij} Z_{ij} + b_0$$

$$Z_{ij} = \frac{\ln(\rho_i + e)}{\ln(\rho_j + e)}$$

dimana :

Z : kedalaman terestimasi

ρ_i dan ρ_j : nilai pantulan untuk band-i dan band-j

b_{ij} : koefisien regresi untuk Z

ij : nomor band



e : bilangan Euler (=2.71828182846)

Validasi dilakukan untuk mengetahui besarnya simpangan rata-rata nilai kedalaman perairan yang diperoleh dari transformasi citra Sentinel-2. Pengujian dilakukan dengan cara menghitung akar simpangan rata-rata kuadrat (*root mean square error, RMS-error*).

$$RMS - error = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Dimana :

X_{obs} : nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan (insitu)

X_{model} : nilai pada citra hasil transformasi

n : jumlah sampel data

Model yang akan dipilih adalah yang mempunyai nilai $RMSerror$ terkecil.

III. Hasil dan pembahasan

Wilayah penelitian ini mencakup wilayah perairan laut di sekitar Pulau Barrangloppo, Makassar. Wilayah tersebut berada pada jarak 10 km ke arah barat laut dari Kota Makassar. Kondisi lingkungan perairan di wilayah penelitian sangat menunjang bagi berkembangnya ekosistem padang lamun dan terumbu karang. Perairan laut di wilayah tersebut bersifat jernih dengan nilai kecerahan (*visibility*) dan kekeruhan (*turbidity*) yang relatif seragam.

Parameter kecerahan perairan tidak diukur pada wilayah intertidal karena pada wilayah tersebut menunjukkan perairan yang tembus pandang sampai dasar perairan. Sebagai data acuan kecerahan perairan adalah hasil pengukuran pada tahapan observasi awal yakni 16,6 – 17,3 meter. Pengukuran tersebut dilakukan di perairan laut dalam di sekitar wilayah penelitian.

Nilai kekeruhan perairan berada pada kisaran 0,0 – 4,5 NTU. Kisaran nilai tersebut menunjukkan bahwa perairan termasuk sangat jernih. Nilai kekeruhan yang lebih besar daripada 4,0 NTU terukur pada wilayah yang terdekat dengan garis pantai. Nilai kecerahan yang tinggi dan kekeruhan yang rendah memungkinkan cahaya matahari dapat menembus sampai ke dasar perairan. Salinitas perairan relatif stabil pada kisaran 34 – 35 ‰. Temperatur perairan berada pada kisaran 27 – 29 °C. Jenis sedimen dasar perairan di Pulau Barrangloppo bervariasi dari *fine sand* sampai *granule*. Kisaran pasang surut di perairan Pulau Barrangloppo terukur 160 cm.

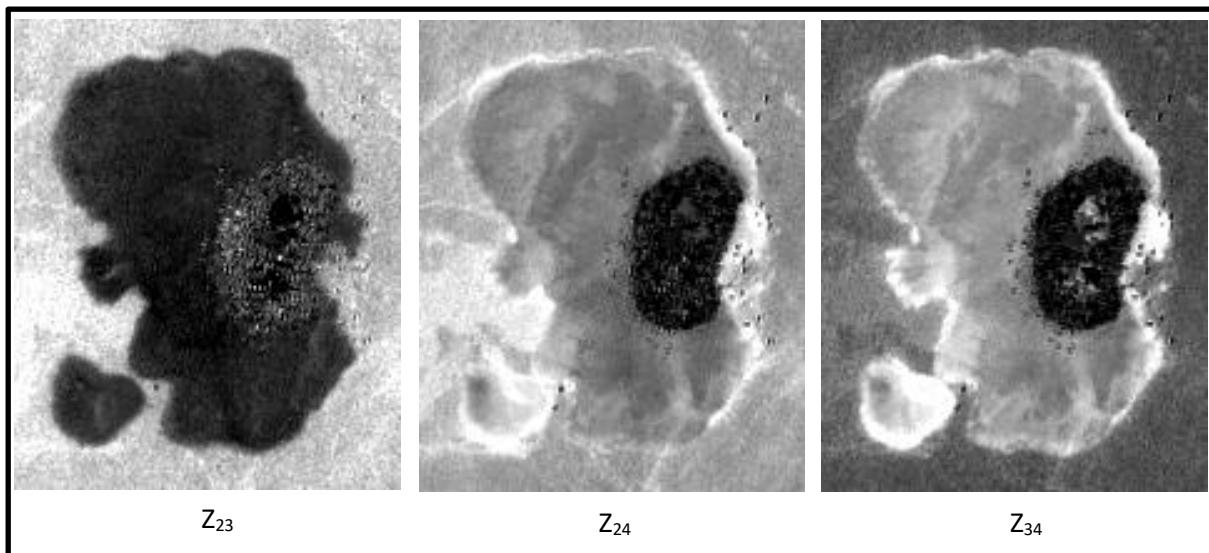
Pengolahan citra Sentinel-2 untuk pemetaan batimetri dilakukan dengan menggunakan metode Stumpf, yakni membangun persamaan regresi dari data lapangan dan data citra. Distribusi nilai pixel pada citra Z_{23} tidak berkaitan dengan sebaran jenis obyek di dasar perairan; sedangkan pada citra Z_{24} dan Z_{34} masih terlihat jejak sebaran jenis obyek (Gambar 2). Hal tersebut terdeteksi pula pada nilai koefisien korelasi antara kedalaman terukur (Z) dengan Z_{ij} adalah :

$$Z - Z_{23}, r = 0.988$$

$$Z - Z_{24}, r = 0.530$$

$$Z - Z_{34}, r = -0.403$$

Nilai koefisien korelasi terbesar dan mendekati 1 ditunjukkan oleh hubungan antara Z dengan Z_{23} . Hal ini berarti batimetri berkaitan erat dengan band-2 (biru) dan band-3 (hijau). Spektrum biru merupakan bagian cahaya yang mempunyai kemampuan terbesar menembus kolom air yang jernih, disusul oleh spektrum hijau.



Gambar 2. Citra Z_{ij}

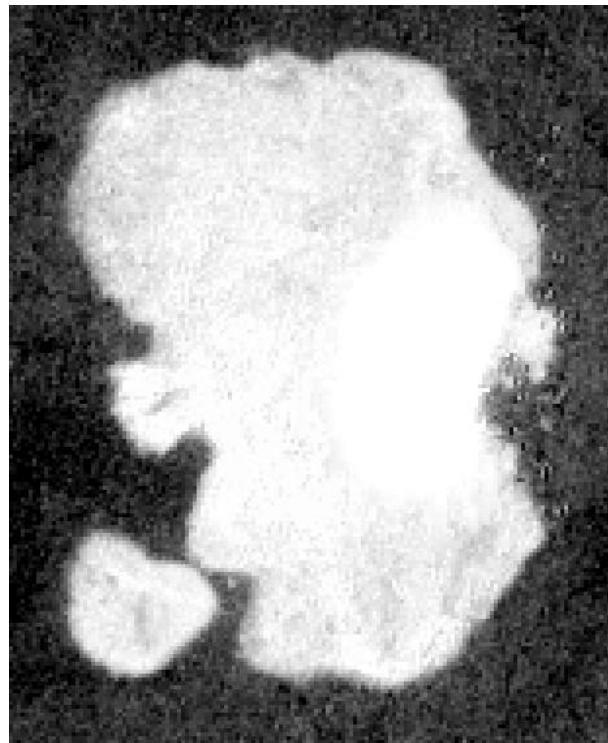
Penerapan metode Stumpf menghasilkan model-model regresi linier yang kemudian dihitung simpangan rata-ratanya (RMS-error).

$$\begin{aligned} \text{Model Z1 : } & Z = -400,796 + 434,371 Z_{23} - 233,527 Z_{24} + 208,687 Z_{34} \\ & R^2 = 0,995 \\ & \text{RMS-error} = 0,398 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Model Z2 : } & Z = -189,030 + 195,984 Z_{23} \\ & R^2 = 0,976 \\ & \text{RMS-error} = 0,884 \end{aligned}$$

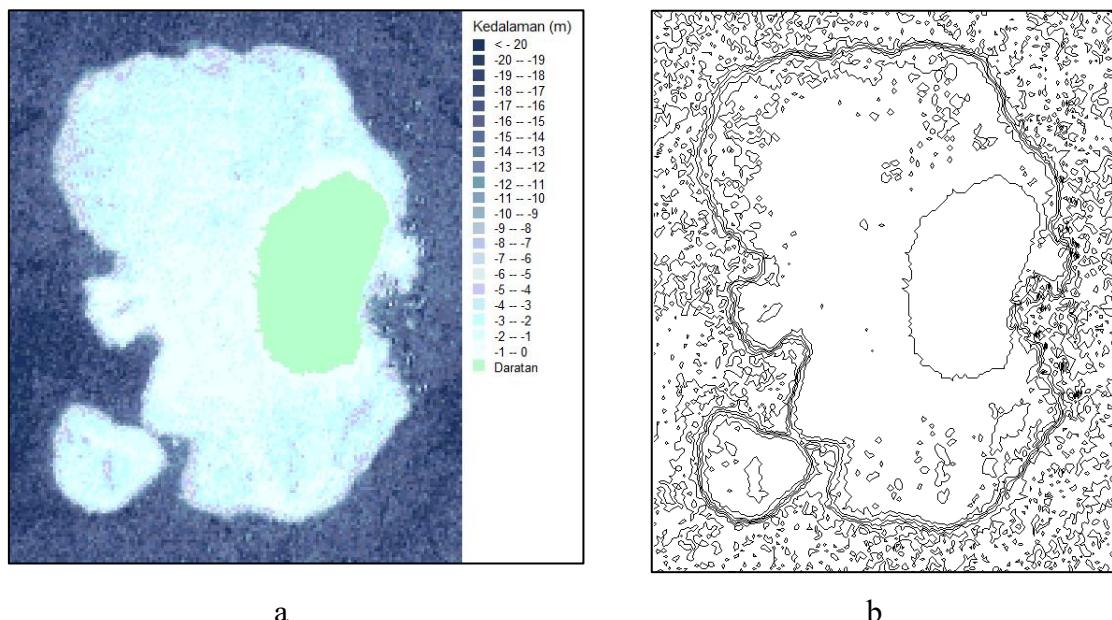
$$\begin{aligned} \text{Model Z3 : } & Z = -181,1 + 214,398 Z_{23} - 24,43 Z_{24} \\ & R^2 = 0,989 \\ & \text{RMS-error} = 0,599 \end{aligned}$$

Ketiga model yang diperoleh mempunyai nilai R^2 yang besar, mendekati 1, namun RMS-error yang saling berbeda. RMS-error ketiga model tersebut lebih kecil daripada kisaran pasang surut. Berdasarkan nilai R^2 dan RMSerror pada masing-masing model maka dipilih model Z1 untuk menggambarkan batimetri karena mempunyai nilai R^2 terbesar dan RMS-error terkecil. Nilai R^2 yang besar dan RMS-error kecil menunjukkan bahwa model Z1 dapat menghasilkan peta batimetri dengan ketelitian yang tinggi. Model Z1 melibatkan ketiga band (biru, hijau dan merah) yang dapat menembus kolom air secara bersama-sama. Penerapan model Z1 menghasilkan citra batimetri (Gambar 3) dimana nilai setiap pixelnya adalah nilai kedalaman perairan terhadap muka laut rata-rata (*mean sea level*, MSL).



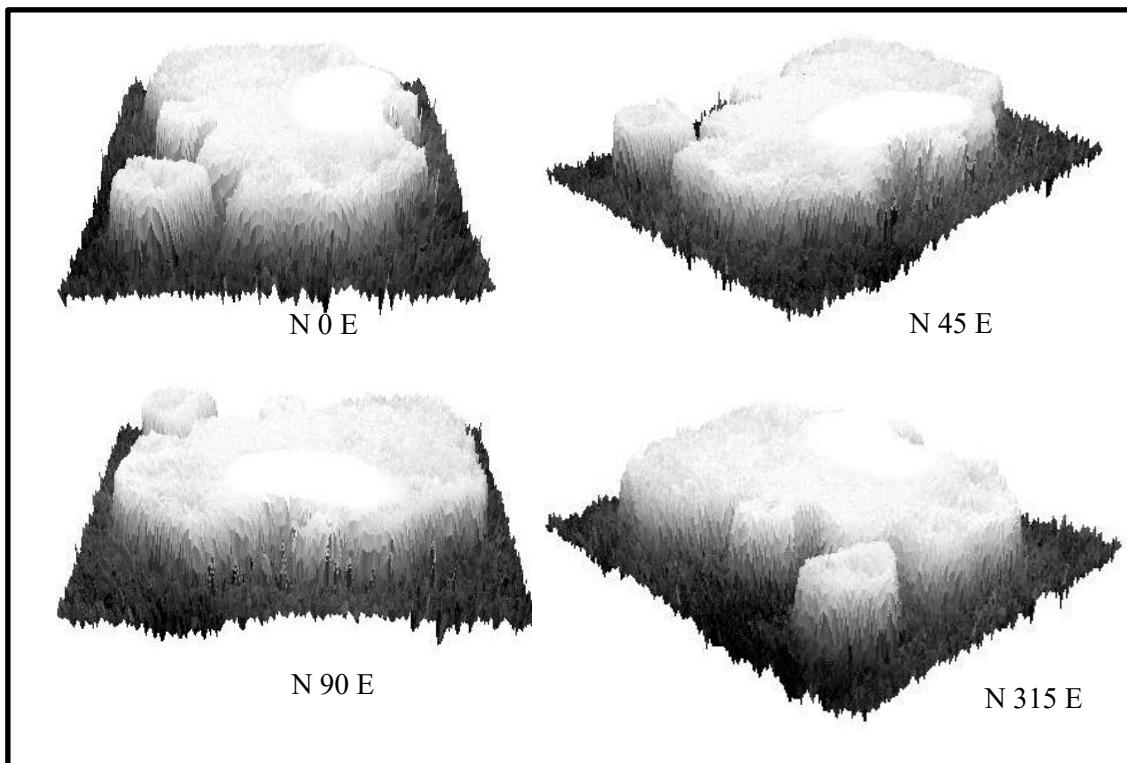
Gambar 3. Citra batimetri perairan Pulau Barranglombo.

Citra batimetri tersebut dapat ditampilkan sebagai peta vektor kontur ataupun peta raster (Gambar 4).



Gambar 4. Peta Batimetri Pulau Barranglombo
a. Peta raster; b. Peta vektor.

Selain itu, peta raser dapat pula ditampilkan secara 3-dimensi (Gambar 5) dari berbagai arah sudut pandang (*north -sudut- east*, N sudut E). Tampilan batimetri 3-dimensi menggambarkan morfologi dasar perairan Pulau Barranglombo.



Gambar 5. Tampilan 3D batimetri Pulau Barranglombo.

Peta batimetri yang dihasilkan menunjukkan bahwa penerapan algoritma Stumpf pada data citra Sentinel-2 cukup efektif untuk mengestimasi kedalaman perairan yang jernih sampai pada kedalaman sekitar 20 meter. Tampilan 3-dimensi dari batimetri Pulau Barranglombo menggambarkan bahwa di bagian Barat dan Selatan terdapat rataan selebar 300 – 700 meter, sedangkan pada bagian Utara dan Timur terdapat rataan yang sempit. Perubahan kedalaman yang drastis pada bagian *reef-slope* dimulai pada kedalaman 5 meter. Tampilan 3-dimensi juga menunjukkan adanya celah sempit yang dalam yang memisahkan *patch-reef* di bagian Barat Daya.

IV. Kesimpulan

- Penerapan algoritma Stumpf pada citra Sentinel-2 dapat menghasilkan peta batimetri dengan ketelitian yang tinggi.
- Nilai koefisien korelasi terbesar dan mendekati 1 ditunjukkan oleh hubungan antara Z dengan Z_{23} (kombinasi antara band-2 dan band-3). Hal ini berarti batimetri berkaitan erat dengan band-2 (biru) dan band-3 (hijau).
- Algoritma Stumpf pada citra Sentinel-2 dapat mengestimasi kedalaman perairan yang jernih sampai pada kedalaman sekitar 20 meter dengan melibatkan ketiga band (biru, hijau dan merah) yang dapat menembus kolom air secara bersama-sama.



Daftar Pustaka

- Amran, M.A., 2023, *Dasar-dasar Penginderaan Jauh Satelit*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- Amran, M.A., 2024, *Pengolahan Citra Landsat-9 untuk Perairan Laut*, Nas Media Pustaka, Makassar.
- Kerr, J.M., 2010, *Worldview-02 offers new capabilities for the monitoring of threatened coral reefs*, Nova Southeastern University – National Coral Reef Institute.
- Lyzenga D.R. 1978. Passive Remote Sensing Technique for Mapping Water depth and Bottom Features. *Applied Optics* 17:379-383.
- Lyzenga, D.R., 1981, *Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation Parameter in Shallow Water using Aircraft and Landsat Data*, International Journal of Remote Sensing, 2, 71 – 82.
- Madden CK. 2011. Contributions to remote sensing of shallow water depth with the Worldview-2 yellow band [thesis]. California : Naval Postgraduate School.
- Partish D, Gopinath G, Ramakrishnan SS. 2011. *Coastal bathymetry by coastal blue*. Institute of Remote Sensing, Anna University.
- Poerbandono dan Djunarsjah, 2005. *Survei Hidrografi*. Refika Aditama. Bandung.
- Richards JA. 2013. *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*. 5th edition, New York: Springer-Verlag.
- Stumpf RP, Holderied K, Sinclair., 2003, Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography* 48(1, part 2):547-556.