

Perbandingan Nilai Kedalaman Relatif Sungai Brantas Kabupaten Jombang dengan Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel-2 dan *Digital Elevation Model* (DEM)

Niswah Selmi Kaffa¹, Muchammad Masykur², dan Yoga Kencana Nugraha¹

¹Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

²KJSB Muchammad Masykur dan Rekan, Kota Sidoarjo, Indonesia

selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id, mmasykur@gmail.com, yoga.kencana@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Kedalaman relatif perairan dangkal dapat diperoleh melalui *Digital Elevation Model* (DEM). Seiring berkembangnya sains, banyak metode dikembangkan untuk memperoleh nilai kedalaman relatif salah satunya dengan mengolah citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Penulis bertujuan untuk membandingkan nilai kedalaman relatif yang didapatkan dari pengolahan citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan kedalaman relatif yang didapatkan melalui DEM. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah citra Sentinel-2 level 1C yang telah ter orthorektifikasi diunduh dari laman *Earth Explorer* dan DEM yang diunduh dari laman Tanah Air. Citra Sentinel-2 kemudian dikoreksi secara atmosferik dan radiometrik untuk mendapatkan nilai radiannya yang kemudian diolah dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel disebar dengan interval 25 meter sepanjang sungai Brantas Kabupaten Jombang. Penelitian ini hanya membandingkan perhitungan secara komputasi sehingga tidak dilakukan validasi lapangan. Hasil dari pengolahan citra Sentinel-2 dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* memberikan rata-rata kedalaman relatif sebesar 16,35m dan rata-rata kedalaman relatif DEM yaitu sebesar 17,98m. Hasil perhitungan statistik menunjukkan nilai koefisien determinasi kedalaman relatif citra Sentinel-2 yang diolah menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan DEM adalah sebesar 6,52%. Korelasi yang rendah tersebut diakibatkan tingginya kandungan sedimen dalam kolom air Sungai Brantas sehingga menimbulkan bias pada citra.

Kata kunci: *digital elevation model*, kedalaman relatif, sentinel 2A, *Van Hengel and Spitzer*

Abstract

Shallow water relative depth can be gained from the Digital Elevation Model (DEM). As science develops, methods are developed to gain the relative depth one is by processing the Sentinel-2 image using Van Hengel and Spitzer algorithm. The authors aim to compare the relative depth gained from the Sentinel-2 image using the Van Hengel and Spitzer algorithm to the relative depth gained from DEM. The data needed are orthorectified Sentinel-2 level 1C images downloaded from the Earth Explorer page and DEM downloaded from the Tanah Air page. Sentinel-2 image is then corrected atmospherically and radiometrically to get its radian value then processed using the Van Hengel and Spitzer algorithm. The sample points are spread at 25 meters intervals along the Jombang regency Brantas River. This study only compares the computational calculation therefore no field validation is carried out. Sentinel-2 Van Hengel and Spitzer provides an average relative depth of 16.35 m and DEM provides an average relative depth of 17.98 m with the determination coefficient (correlation value) of the two data is 6.52%. The low correlation is due to the high sediment content in the water column of Brantas River, causing the bias in the image.

Keywords: *digital elevation model*, relative depth, sentinel 2A, *Van Hengel and Spitzer*

1. Pendahuluan

Wilayah Sungai Brantas adalah Wilayah Sungai terbesar kedua di Pulau Jawa setelah Bengawan Solo. Sungai Brantas terletak di Provinsi Jawa Timur pada 112°03'45" dan 112°27'21" BT dan antara 07°20'37" dan 07°45'45" LS (Bappeda Kabupaten Jombang, 2013). Sungai Brantas mempunyai panjang kurang lebih 320 km dan *catchment area* kurang lebih 14.103 km² (Erlina, 2018). Wilayah Kabupaten Jombang merupakan daerah hilir dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. Selain itu Kabupaten Jombang juga dilalui oleh dua anak Sungai Brantas yaitu Sungai Konto dan Sungai Gunting (Bappeda Kabupaten Jombang, 2013).

Info Makalah:

Dikirim : 08-20-22;
Revisi 1 : 12-05-22;
Revisi 2 : 12-27-22;
Revisi 2 : 01-12-23;
Diterima : 01-16-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 857-4981-6147
e-mail : selmi.kaffa@lecture.unjani.ac.id

Dewasa ini, DAS tersebut dihadapkan pada masalah kerusakan lingkungan. Salah satu kerusakan yang jelas terlihat pada Sungai Brantas di Kabupaten Jombang ini adalah penurunan dasar sungai. Penurunan ini berdampak pada pergerakan tanah tanggul penampang sungai dan kerusakan infrastruktur bangunan sipil yang ada. Maraknya eksploitasi pasir secara liar menggunakan mesin merupakan penyebab utama fenomena tersebut (Yunas, 2015). Hal tersebut melatarbelakangi penulis untuk mengkaji perubahan temporal dasar sungai Brantas akibat dari

eksploitasi lingkungan. Beberapa metode yang memungkinkan untuk dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran langsung atau penginderaan jauh. Tidak adanya data pengukuran langsung dari waktu ke waktu serta mahal biaya akuisisi data *in situ*, mendorong penulis untuk memilih metode penginderaan jauh.

Akuisisi data *in situ* pada umumnya menggunakan metode *echo sounding*, *Lidar* dan *Radar Bathymetry*. Setiap metode dapat memberikan hasil yang beragam tergantung pada tingkat presisi yang dihasilkan. Contohnya *Airborne bathymetric LiDAR* memiliki resolusi spasial δ 1 meter dan resolusi vertikal δ 15 cm (Geyman, 2019). Namun, metode tersebut relatif mahal untuk sekali pengukuran (Setiawan, dkk; 2016). Hal tersebut membuat pendeteksian kedalaman perairan menggunakan penginderaan jauh menjadi metode yang menarik untuk menghasilkan estimasi data kedalaman perairan dengan biaya yang relatif lebih murah (Mateo-Perez, 2020). *Satellite derived bathymetry* (SDB) telah dipertimbangkan secara luas sebagai metode yang handal dan murah untuk mengestimasi perairan dangkal (Dewi dkk, 2021).

Salah satu cara mengetahui elevasi muka bumi dengan metode penginderaan jauh adalah dengan pengolahan *Digital Elevation Model*. *Digital Elevation Model* (DEM) adalah salah satu data set spasial yang penting dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). DEM didefinisikan sebagai himpunan *digital number* baik beraturan maupun tidak beraturan yang mewakili ketinggian suatu tempat yang sedang didefinisikan (Zhou, 2017). DEM adalah gambaran “nyata” permukaan tanah, yang mana bebas dari pohon, bangunan dan segala hal yang ada di muka tanah. DEM dapat dijadikan data dasar dalam pembuatan kontur. Kontur dan pola aliran ini dapat digunakan untuk memisahkan antara berbagai topografi muka tanah dalam *poligon* tidak beraturan yang lebih jauh dapat digunakan untuk analisis dan pemodelan hidrologi (Zhou, 2017). Fitur morfologi permukaan tanah dapat diekstrak dari DEM. Fitur morfologi ini juga dapat diproses kembali menggunakan algoritma *water-path* untuk memprediksi elemen hidrologi. Dalam fitur hidrologi, DEM memungkinkan untuk diketahuinya titik perpotongan aliran sungai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Taufik dkk (2015), DEM SRTM dengan resolusi 30 meter mampu memprediksi figur, kelerengan dan densitas badan air. Paul dkk (2019) juga menggunakan DEM SRTM dengan resolusi 1 *arc-second* atau 30 meter dan *ASTER Digital Elevation Model* dari *United States Geological Survey* untuk mengukur perubahan elevasi pada dasar sungai Jayanti, Bengal Barat, India. Chikodzi dkk (2016) menggunakan DEM SRTM untuk mengukur altitude sungai di Zimbabwe sebagai dasar analisis keberadaan air tanah. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa elevasi dasar sungai dapat diperoleh melalui DEM dengan resolusi 1 *arc-second*. Namun, salah satu kelemahan DEM adalah resolusi temporalnya yang terbatas sehingga tidak dapat digunakan untuk melakukan analisis perubahan morfologi Sungai Brantas dari waktu ke waktu.

Salah satu citra yang dapat digunakan dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal adalah citra Sentinel. Misi sentinel merupakan pengabdian GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) dalam melakukan observasi muka Bumi. Misi Sentinel-2 menyediakan data citra optis *multispectral* resolusi tinggi. Misi Sentinel-2 menawarkan kombinasi cakupan global yang sistematis yang belum tersedia pada pendahulunya. Sentinel-2 memiliki resolusi temporal 5 hari (melakukan perekaman kembali pada tempat yang sama dalam interval 5 hari) (Drusch dkk, 2012). Satelit Sentinel 2A dan 2B diluncurkan pada 23 Juni 2015 dan Maret 2017. Sentinel-2 mengumpulkan data ketika mengorbit pada petak-petak lahan yang telah ditentukan. Data ini kemudian di interpolasi pada *military grid reference system* (MGRS) sehingga dapat diakses oleh publik. Citra Sentinel-2 dilengkapi dengan *single multispectral instrument* (MSI) yang memiliki tiga belas band spektral. Band-band tersebut memiliki resolusi spasial antara 10 hingga 60 meter. Resolusi spasial untuk B2, B3, B4, dan B8 adalah 10 meter, sedangkan untuk B5, B6, B7, B8A, B11 dan B12 adalah 20 meter. Sisanya memiliki resolusi spasial 60 meter (Mateo-Perez dkk, 2020). Sentinel-2 level 1C merupakan citra yang telah ter orthorektifikasi secara geometrik. *Pixel* yang disediakan merupakan *Top-of-Atmosphere* (TOA) (*The European Space Agency*, 2022).

Tabel 1. Band pada Sentinel-2.

Band	Wilayah Spektral	Resolusi [m]	Panjang Gelombang [nm]
B1	<i>Coastal aerosol</i>	60	443
B2	<i>Blue</i>	10	490
B3	<i>Green</i>	10	560
B4	<i>Red</i>	10	665
B5	<i>Vegetation red edge</i>	20	705
B6	<i>Vegetation red edge</i>	20	740
B7	<i>Vegetation red edge</i>	20	783
B8	NIR	10	842
B8A	<i>Narrow NIR</i>	20	865
B9	<i>Red Edge</i>	60	940
B10	<i>Water vapor</i>	60	1375
B11	<i>SWIR-Cirrus</i>	20	1610
B12	<i>SWIR</i>	20	2190

Mateo-Perez dkk (2020) menggunakan citra optis ESA Sentinel-2 untuk membuat pemetaan batimetri menggunakan *support vector machine* (SVM), sebuah teknik *machine learning*. Satelit Sentinel-2 dapat diunduh secara gratis dengan resolusi spasial 10 hingga 60 meter dengan resolusi temporal lima hari. Sentinel-2 memiliki enam band untuk *land monitoring* yang serupa dengan Landsat-8. Casal dkk (2018) melakukan estimasi kedalaman perairan menggunakan Citra Sentinel-2 berdasarkan metode model band linear dan rasio model band log-transformasi. Model linear band ini menunjukkan hasil yang lebih sesuai dibandingkan rasio model band log-transformasi dengan koefisien determinasi sebesar 0,83 – 0,88 pada kedalaman 0 – 10 m. Salah satu metode untuk mengekstraksi data batimetri melalui penginderaan jauh adalah melalui transformasi ritasi yang dikembangkan oleh Hengel dan Spitzer (Setiawan, 2016). Jaelani dkk (2019) menggunakan citra optik Landsat 8 dan Sentinel 2 dalam penentuan kedalaman perairan dangkal (kurang dari 80 meter). Citra optik tersebut diolah menggunakan algoritma Van Hengel and Spitzer untuk mendapat nilai kedalaman relatif perairan dangkal. Dewi dkk (2021) menggunakan band *blue*, *green*, *red* dan *near infrared* dari citra *Worldview 2*, Sentinel 2A dan Landsat 8 untuk mengestimasi kedalaman perairan pada Barat Daya Pulau Morotai, Indonesia. Citra Sentinel sendiri memiliki resolusi temporal dan spektral yang lebih baik dari DEM yaitu resolusi temporal 5 hari dan resolusi spektral 10 meter, 20 meter dan 60 meter (Oktaviani dkk, 2017). Semua algoritma untuk mengestimasi nilai kedalaman perairan pada dasarnya menggunakan prinsip fisika sederhana pelemahan gelombang cahaya di dalam air. Secara garis besar, algoritma batimetri dapat dikelompokkan menjadi dua kategori: metode empiris yang menggunakan pengamatan langsung kedalaman air di daerah studi untuk mengkalibrasi hubungan reflektansi kedalaman perairan dan algoritma inversi berbasis fisika yang menggunakan model transfer radiasi untuk mendapatkan kedalaman air tanpa data kalibrasi *in situ*. Keunggulan dari metode berbasis fisika, algoritma inversi berdasarkan spektral *unmixing*, adalah kedalaman air dan reflektansi dasar laut dapat diestimasi secara bersamaan untuk menghasilkan data untuk variasi tipe bawah (Geyman, 2019).

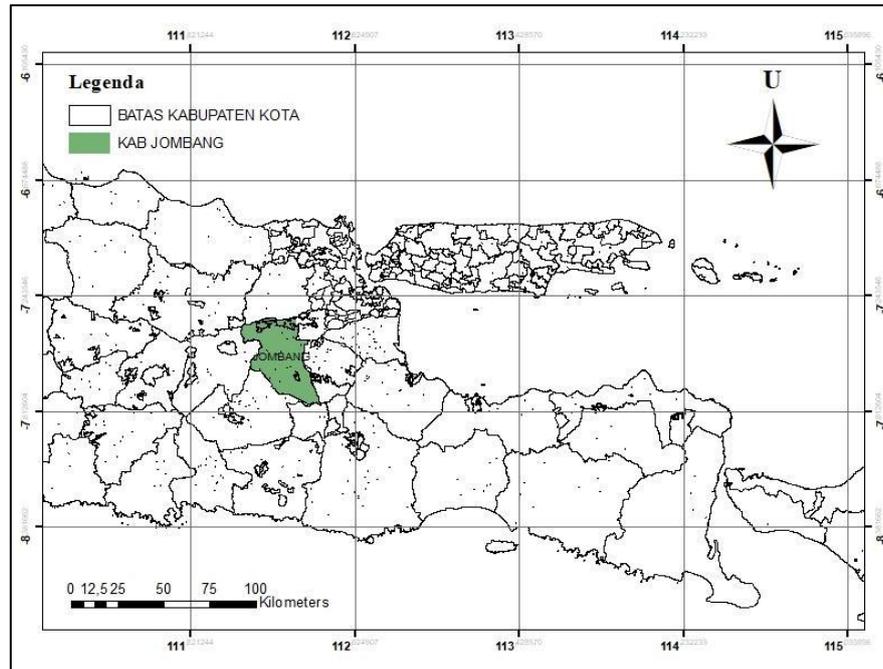
Kurangnya data *ground truth* untuk validasi seringkali menjadi tantangan utama dalam mengestimasi kedalaman perairan dangkal melalui penginderaan jauh (Geyman, 2019). Memetakan perairan dangkal dengan sonar, lidar memerlukan biaya yang mahal dan hanya bisa mencakup wilayah yang terbatas. Penggunaan penginderaan jauh baik pasif maupun aktif dapat dijadikan solusi untuk pemetaan batimetri. Pendekatan *spectral library* citra optis tidak memerlukan pengumpulan data *in situ* dalam pengolahan datanya sehingga estimasi dapat dilakukan tanpa menggunakan data *in situ* (Gholamalifard dkk, 2013). Xia dkk (2019) juga melakukan pengukuran batimetri menggunakan citra *multispectral* 4 band tanpa melakukan pengukuran *in situ*. Hal tersebut dilakukan karena sulit dan mahalnya memperoleh data *in situ*.

Berdasarkan kajian literatur yang dilakukan, estimasi data perairan dapat dilakukan melalui penginderaan jauh dengan pengolahan berdasarkan algoritma tertentu. Validasi data *in situ* yang mahal dan sulit menjadi tantangan pada metode penginderaan jauh. Sejauh ini, belum terdapat penelitian yang menggunakan DEM sebagai validator. Oleh karena itu, penulis ingin membuktikan apakah citra Sentinel 2A level 1C yang diolah menggunakan algoritma Van Hengel and Spitzer mampu mengestimasi dasar Sungai Brantas di Kabupaten Jombang. Hasil yang diperoleh akan divalidasi dengan data *Digital Elevation Model* (DEM). Apabila luaran yang dihasilkan memiliki korelasi yang tinggi dengan data DEM, maka kedepannya dapat dilakukan analisis perubahan morfologi dasar Sungai Brantas Kabupaten Jombang dari waktu ke waktu menggunakan citra Sentinel 2A.

2. Metode

Area studi pada penelitian ini adalah di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Kabupaten Jombang berada pada koridor bagian tengah wilayah Provinsi Jawa Timur, berada pada posisi silang yaitu pada jalur Surabaya-Madiun dan Malang-Babat. Adapun batas-batas administrasi Kabupaten Jombang adalah sebagai berikut (Bappeda kabupaten Jombang, 2013):

- Sebelah Utara : Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bojonegoro
- Sebelah Timur : Kabupaten Mojokerto
- Sebelah Selatan : Kabupaten Kediri dan Kabupaten Malang
- Sebelah Barat : Kabupaten Nganjuk



Gambar 1. Wilayah Studi.

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel 2A level 1C yang diunduh melalui laman *United States Geological Survey* (USGS). Citra ini digunakan untuk mengestimasi kedalaman sungai Brantas yang melalui Kabupaten Jombang. Citra Sentinel 2A yang dipakai dalam penelitian ini diakuisisi pada 27 Juni 2021. Citra Sentinel 2A level 1C telah terkoreksi geometrik dengan piksel radiometrik yang terletak pada *Top-of-Atmosphere*, sehingga hanya diperlukan koreksi radiometrik serta atmosferik pada *software open source QGIS Desktop 3.24.2* menggunakan *Semi-Automatic Classification Plugin*. Luaran dari proses ini adalah nilai reflektan dari masing-masing piksel citra. Nilai reflektan inilah yang akan digunakan sebagai masukan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel kemudian disebar dengan interval 25 meter sepanjang sungai Brantas Kabupaten Jombang lalu dilakukan *extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Values* pada *software QGIS* untuk mendapatkan nilai reflektan pada titik-titik sampel yang telah ditentukan. Nilai yang telah terekstraksi dari citra kemudian dilakukan perhitungan dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* untuk memperoleh nilai kedalaman relatifnya. *Van Hengel and Spitzer* (1991) sendiri memperkenalkan sebuah algoritma untuk menghasilkan informasi batimetri menggunakan data citra satelit optik dengan menggunakan matriks transformasi rotasi. Luaran dari proses tersebut kemudian dihitung nilai korelasinya dengan data *Digital Elevation Model* (DEM).

Studi literatur dilakukan untuk mencari penelitian terdahulu yang relevan. Setelah itu dilakukan pengumpulan data *open source* meliputi *Digital Elevation Model* (DEM) yang diunduh dari laman Tanah Air dan Citra Sentinel 2A yang diunduh melalui laman *United States Geological Survey* (USGS) *Earth Explorer*. Citra Sentinel 2 kemudian dilakukan kalibrasi radiometrik dan atmosferik menggunakan aplikasi QGIS 3.24.2. Hasil dari koreksi Citra Sentinel 2 merupakan data reflektan yang menjadi masukan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Algoritma ini mampu mentransformasi data citra satelit menjadi data kedalaman relatif perairan dangkal (Jaelani dkk, 2019). Pada tahap ini band merah, hijau dan biru menjadi masukan algoritma *Van Hengel and Spitzer* sebagai berikut:

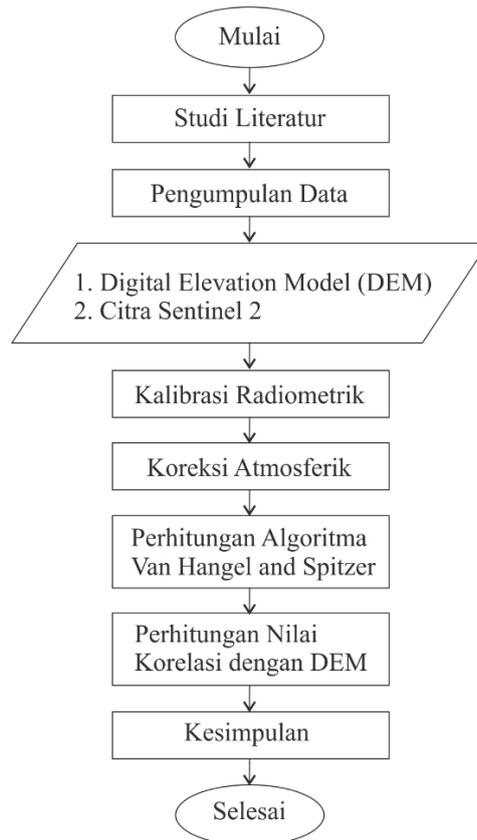
$$r = \text{Arctan} (Ur + \sqrt{Ur^2 + 1}) \quad (1)$$

$$s = \text{Arctan} (Us + \sqrt{Us^2 + 1}) \quad (2)$$

$$Ur = \frac{(\text{Var } X3 + \text{Var } X2)}{(2 \text{Cov } X2X3)} \quad (3)$$

$$Us = \frac{\text{Var } X4 + \text{Var } X2}{2 \text{Cov } X2X4} \quad (4)$$

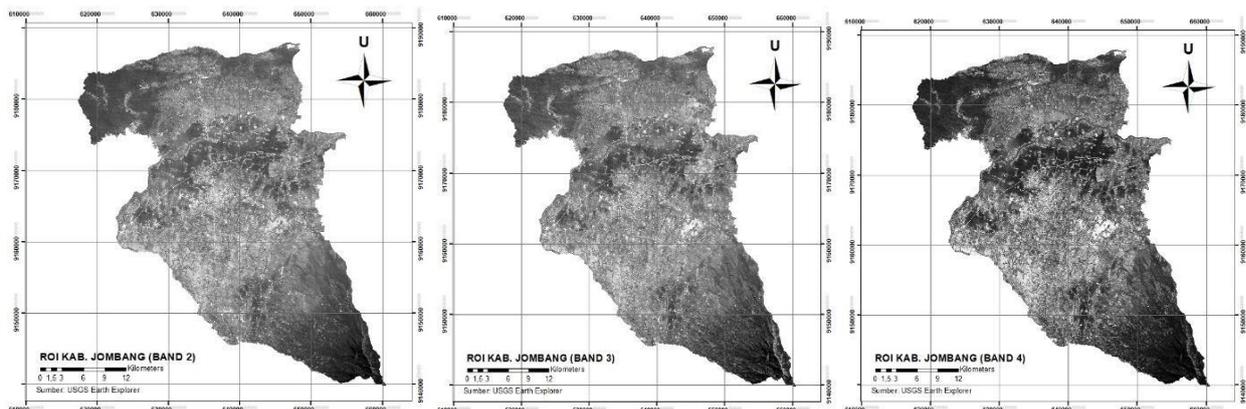
$$Y = [\cos(r) \cdot \sin(s) \cdot X2] + [\sin(r) \cdot \cos(s) \cdot X3] + [\sin(s) \cdot X4] \quad (5)$$



Gambar 2. Flowchart.

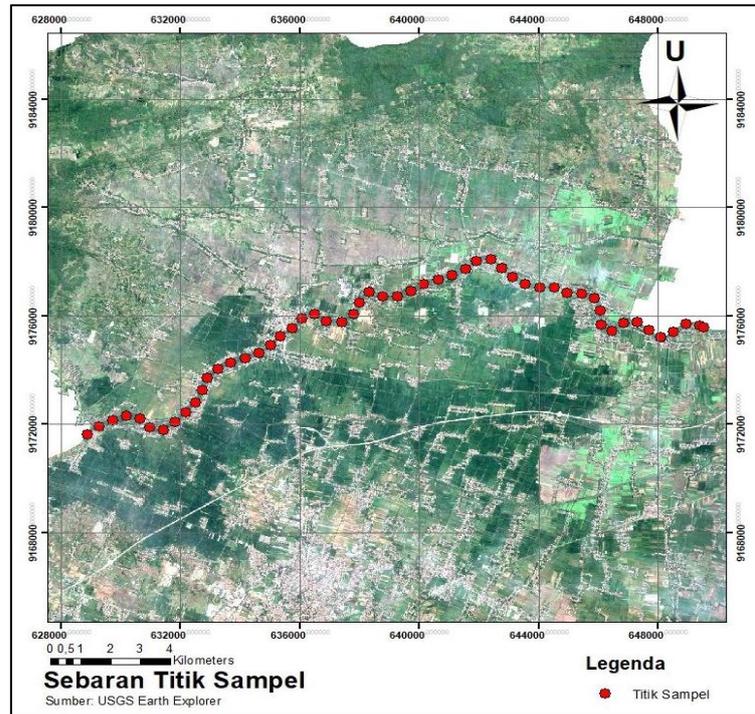
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan kalibrasi radiometrik dan atmosferik menggunakan *software* QGIS Desktop 3.24.2 menggunakan *Semi-Automatic Classification Plugin* maka didapatkan model reflektan dari masing-masing band 2, 3 dan 4 (Gambar 3).



Gambar 3. Reflektan Band 2, 3, dan 4.

Nilai reflektan ini nantinya menjadi masukkan dalam algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Titik sampel disebar sepanjang Sungai Brantas yang melalui Kabupaten Jombang dengan interval 25 meter. Titik sampel ini ditentukan melalui analisis spasial pada DAS Brantas. Titik sampel disusun dari Barat ke Timur seperti Gambar 4 berikut



Gambar 4. Sebaran Titik Sampel.

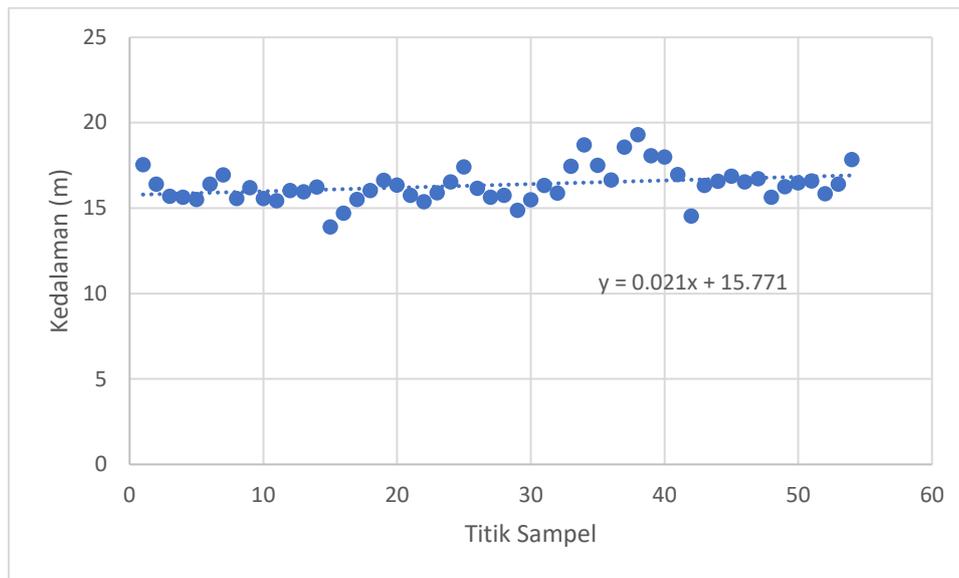
Nilai reflektan dari masing-masing band kemudian dilakukan *extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Value* pada QGIS. Nilai reflektan ini kemudian dihitung dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan hasil akhir seperti dijabarkan pada kolom Sentinel-2 di Tabel 2. *Extract value to point* menggunakan *toolbox Sample Raster Value* pada QGIS juga dilakukan pada DEM. Koordinat dan jumlah titik sampel pada penelitian ini merupakan variabel kontrol. Hasil dari ekstraksi nilai DEM dapat dilihat di Tabel 2 pada kolom DEM.

Tabel 2. Hasil Pengukuran.

Sentinel-2 (m)	DEM (m)
17,54	29
16,4	29
15,68	29
15,64	28
15,5	26
16,39	24
16,94	24
15,56	23
16,19	23
15,55	23
15,43	23
16,02	22
15,95	19
16,23	18
13,9	25
14,7	18
15,51	18
16,03	18
16,62	18
16,34	18
15,75	17
15,37	18
15,89	18
16,53	18
17,41	17
16,15	16
15,63	16

Sentinel-2 (m)	DEM (m)
15,75	16
14,87	16
15,49	16
16,33	16
15,88	16
17,45	15
18,7	15
17,5	15
16,64	15
18,57	16
19,29	16
18,06	16
17,99	15
16,96	15
14,53	15
16,33	14
16,57	14
16,86	14
16,52	14
16,71	14
15,64	14
16,25	14
16,48	13
16,58	13
15,83	12
16,39	13
17,84	14

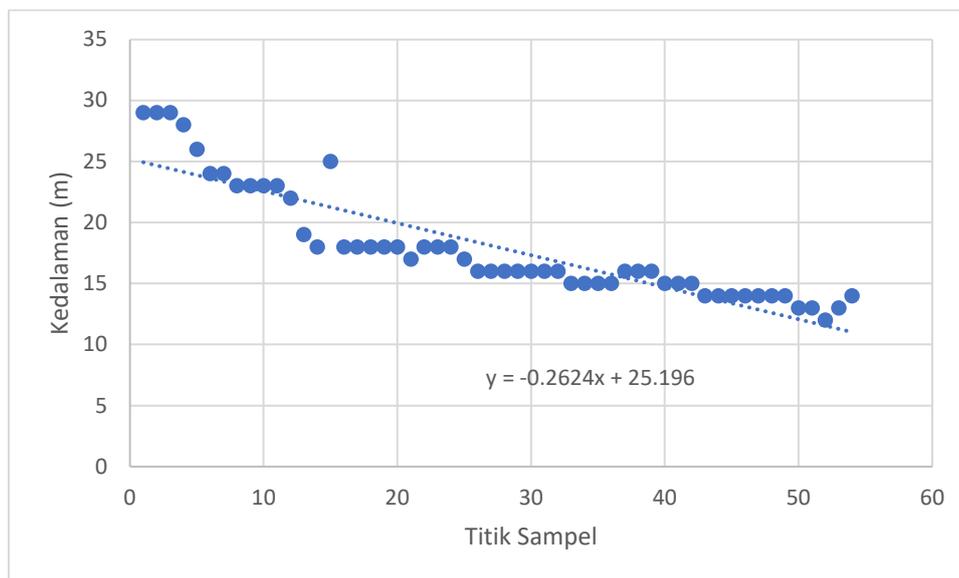
Hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* pada Tabel 2 kemudian dimodelkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Luaran Perhitungan Algoritma *Van Hengel and Spitzer*.

Berdasarkan Gambar 5 didapatkan persamaan $Y = 0,021x + 15,771$. Garis imajiner pada Gambar 5 menunjukkan adanya kenaikan elevasi dari Barat ke Timur. Garis imajiner tersebut bertolak belakang dengan aliran Sungai Brantas yang mengalir dari Barat ke Timur. Titik elevasi juga dinilai kurang konstan dan memiliki banyak nilai pencilan. Nilai rata-rata kedalaman Sungai Brantas Kabupaten Jombang yang diperoleh melalui algoritma *Van Hengel and Spitzer* adalah 16,35 meter.

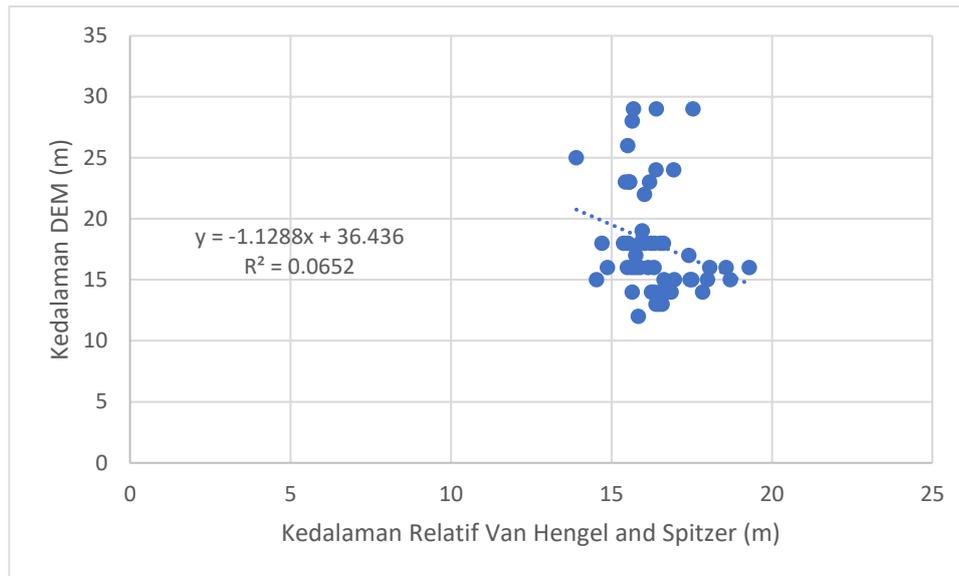
Dengan koordinat titik sampel yang sama, data elevasi juga diekstrak dari *Digital Elevation Model* (DEM) dengan hasil seperti yang ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Nilai Elevasi dari DEM.

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan persamaan $Y = -0,2624x + 25,196$. Garis imajiner pada Gambar 5 menunjukkan adanya penurunan elevasi dari Barat ke Timur. Garis imajiner tersebut sejalan dengan aliran air Sungai Brantas Kabupaten Jombang yaitu dari Barat ke Timur. Titik elevasi juga dinilai konstan dengan hanya satu nilai pencilan. Nilai rata-rata kedalaman Sungai Brantas Kabupaten Jombang berdasarkan data DEM adalah 17,98 meter.

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 maka dapat dihitung nilai korelasi antara kedua data. Hubungan antara dua data tersebut dapat dilihat di Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Nilai Kedalaman Hasil *Van Hengel and Spitzer* dan DEM.

Berdasarkan Gambar 7 didapatkan persamaan $Y = -1,1288x + 36,436$ dan R^2 sebesar 0,0652. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua data memiliki hubungan yang sangat lemah. Hal tersebut dapat dilihat dari perbedaan arah gradien garis imajiner Gambar 5 dan Gambar 6 yang menunjukkan arah berlawanan. Data yang didapatkan dari DEM terlihat lebih konstan dan logis apabila dibandingkan dengan hasil algoritma *Van Hengel and Spitzer*. Pada bagian paling Barat berdasarkan perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* menunjukkan elevasi 17,54 meter sedangkan pada data DEM menunjukkan elevasi 29 meter. Pada bagian paling Timur berdasarkan perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* menunjukkan elevasi 17,84 meter sedangkan pada data DEM menunjukkan elevasi 14 meter. Walaupun selisih rata-rata kedalaman antara kedua data adalah 1,63 meter, namun berdasarkan koefisien determinasi yang diperoleh serta analisis data dapat disimpulkan hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* citra Sentinel 2 belum dapat mendekati data *Digital Elevation Model* (DEM). Korelasi yang rendah tersebut diduga karena kandungan sedimen dalam aliran sungai Brantas yang cukup tinggi mengakibatkan gelombang elektromagnetik citra satelit Sentinel-2A tidak dapat menembus kolom perairan sehingga menyebabkan bias. Hal tersebut sejalan dengan Dimara dkk (2020) dan Casal dkk (2018) yang menyatakan bahwa kemampuan penetrasi gelombang elektromagnetik citra di kolom air dipengaruhi oleh karakteristik perairan tersebut. Metode ini efektif diterapkan di air yang jernih dan semakin menurun seiring meningkatnya kekeruhan perairan.

Berdasarkan analisa yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa perhitungan nilai reflektan citra Sentinel-2 dengan algoritma *Van Hengel and Spitzer* belum dapat mengestimasi kedalaman perairan dangkal dengan baik. Hal ini dilihat dari korelasinya yang rendah terhadap data DEM dan hasil pemodelan yang tidak sesuai dengan keadaan lapangan.

Kesimpulan

Nilai kedalaman relatif yang didapatkan dari metode pengolahan citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan kedalaman relatif yang didapat melalui DEM menunjukkan korelasi yang lemah yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0652 atau 6,52%. Hasil analisis juga menunjukkan ketimpangan antara luaran hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* dengan DEM. Sehingga, dapat disimpulkan hasil perhitungan algoritma *Van Hengel and Spitzer* Citra Sentinel 2 belum mendekati data *Digital Elevation Model* (DEM). Korelasi yang rendah tersebut diduga karena kandungan sedimen yang tinggi dalam aliran sungai Brantas mengakibatkan gelombang elektromagnetik citra satelit Sentinel-2A tidak dapat menembus kolom perairan sehingga menyebabkan bias.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada KJSB Muchammad Masykur dan rekan atas bantuan data serta pemikiran dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Notasi

- X2 = Reflektan band 2
- X3 = Reflektan band 3
- X4 = Reflektan band 4
- Var X2 = Varians reflektan band 2

Var X3 = Varians reflektan band 3
Var X4 = Varians reflektan band 4
Cov X2X3 = Kovarian reflektan band 2 dan 3
Cov X2X4 = Kovarians band 2 dan 4
r = Parameter sudut rotasi
s = Parameter sudut rotasi
Y = Nilai kedalaman relatif

Daftar Pustaka

- Casal, G., dkk. (2018). "Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data." *International Journal of Remote Sensing* 40(8): 2855-2879.
- Casal, G., dkk. (2020). "Satellite-derived bathymetry in optically complex waters using a model inversion approach and Sentinel-2 data." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 241.
- Chikodzi, D. and G. Mutowo (2016). "Using River Altitude Determined from a SRTM DEM to Estimate Groundwater Levels of the Tokwe and Mutirikwi Watersheds in Zimbabwe." *Journal of Geographic Information System* 08(01): 65-72.
- Dewi, R. S., dkk. (2021). "Assessing the Accuracy of Shallow Water Depth Estimation by Using Multispectral Satellite Images." *Geographia Technica*(Special Issue): 180-197.
- Dimara, A., dkk. (2020). "Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-2A Untuk Pemetaan Habitat Dasar Perairan Dangkal (Studi Kasus: Teluk Humbolt, Kota Jayapura)." *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua* 3: 25-31.
- Drusch, M., dkk. (2012). "Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services." 120: 25-36.
- Erlina, E. J. J. T. S. (2018). "Analisis Banjir dan Sedimentasi Wilayah Sungai Brantas (Tinjauan Terhadap Metode Pengendalian)." 13(1): 1-14.
- Geyman, E. C., dkk. (2019). "A simple method for extracting water depth from multispectral satellite imagery in regions of variable bottom type." 6(3): 527-537.
- Gholamalifard, M., dkk. (2013). "Remotely sensed empirical modeling of bathymetry in the Southeastern Caspian Sea." 5(6): 2746-2762.
- Jaelani, L. and M. Bobsaid (2019). Bathymetric mapping of shallow water using Landsat 8 and Sentinel 2A Satellite Data. Case Study: East Madura's Waters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing.
- Mateo-Pérez, V., dkk. (2020). "Port bathymetry mapping using support vector machine technique and sentinel-2 satellite imagery." 12(13): 2069.
- Oktaviani, N. and H. A. J. O. Kusuma, XLII (2017). "Pengenalan Citra Satelit Sentinel-2 Untuk Pemetaan Kelautan." 3: 40-55.
- Paul, A., dkk. (2019). "Changes in river bed terrain and its impact on flood propagation—a case study of River Jayanti, West Bengal, India." 10(1): 1928-1947.
- Setiawan, K. T., dkk. (2017). "Bathymetry data extraction analysis using Landsat 8 Data." 13(2): 79-86.
- Taufik, M., dkk. (2015). "The utilization of global digital elevation model for watershed management a case study: Bungbuntu Sub Watershed, Pamekasan." 24: 297-302.
- Xia, H., dkk. (2019). "A bathymetry mapping approach combining log-ratio and semianalytical models using four-band multispectral imagery without ground data." 58(4): 2695-2709.
- Yunas, Novy Setia. (2015). Praktik Kekuasaan Persuasif dalam Perspektif Environmental Governance (Studi Kebijakan Pengamatan Tanggul Sungai Brantas Berbasis Partisipasi Masyarakat di Kabupaten Jombang. *Jurnal Politika*, Vol. 1, Nomor 1
- Zhou, Q. J. I. E. o. G. P., the Earth, Environment and Technology (2017). "Digital elevation model and digital surface model." 1-17.
- <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting> (Akses: 11 November 2022)
- <http://bappeda.jatimprov.go.id> (Akses: 11 November 2022)