

# Pemantauan Kondisi Vegetasi Riparian di Sekitar Habitat Ikan Mahseer di Jawa Tengah Berdasarkan Indeks Vegetasi dari Citra RGB Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Jefri Permadi<sup>1\*</sup>, Muhammad Abdullah<sup>2</sup>, Hendra Setiawan<sup>3</sup> dan Dhuta Sukmarani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Budidaya Perikanan Air Tawar, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

<sup>2</sup> Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

<sup>3</sup> Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Kapuas Sintang

<sup>4</sup> Program Studi Pendidikan Dasar, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Magelang

\*Correspondence author: [jefri.pmm@gmail.com](mailto:jefri.pmm@gmail.com); Tel: -

Received: 14 March 2026; Accepted: 24 April 2026; Published: 29 April 2026

## Abstract

*Vegetation in riparian zones plays a crucial role in maintaining river ecosystem stability and supporting the sustainability of Mahseer fish habitats. This study aims to assess the condition of riparian vegetation along river systems that serve as habitats for Mahseer fish using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery equipped with an RGB camera. The analysis was conducted using vegetation index derived from the red, green, and blue spectral bands, namely the Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), Green Leaf Index (GLI), and Excess Green Index (ExG), combined with the Kruskal–Wallis statistical test to evaluate differences among locations and the sensitivity of each indices. UAV imagery was processed to generate vegetation distribution maps and to identify the dominance of greenness within riparian vegetation. The GLI values at the three study sites were 0.0715, 0.111, and 0.087, respectively, indicating the presence of green vegetation along the riverbanks. The ExG index was applied to spatially distinguish between vegetated and non-vegetated areas. The Kruskal–Wallis test results for the VARI index revealed significant differences among the three study locations and demonstrated higher sensitivity to vegetation variation compared to the ExG and GLI indices. This RGB-based index approach provides an efficient and cost-effective method for monitoring vegetation conditions at a local scale, particularly in riverine areas with limited accessibility.*

**Keywords:** ExG, GLI, Mahseer, RGB, riparian vegetation, UAV, VARI

## Abstrak

Vegetasi riparian memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas ekosistem sungai dan mendukung keberlanjutan habitat ikan Mahseer. Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi vegetasi riparian di sekitar aliran sungai yang menjadi habitat ikan Mahseer menggunakan citra *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berbasis kamera RGB. Analisis dilakukan dengan pendekatan indeks vegetasi berbasis kanal merah, hijau, dan biru, yaitu *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), *Excess Green Index* (ExG), *Green Leaf Index* (GLI) dan uji statistik Kruskal-Wallis untuk mengetahui perbedaan kondisi vegetasi riparian masing-masing lokasi

dan sensitifitas citra indeks. Citra UAV diolah untuk menghasilkan peta distribusi vegetasi serta mengidentifikasi dominasi kehijauan vegetasi riparian. Nilai GLI pada tiga lokasi penelitian masing-masing sebesar 0,0715; 0,111; dan 0,087 yang menunjukkan keberadaan vegetasi hijau di sepanjang sempadan sungai. Indeks ExG digunakan untuk memisahkan area vegetasi dan non-vegetasi secara spasial. Hasil uji statistik Kruskal-Wallis citra indeks VARI menunjukkan perbedaan signifikan pada tiga lokasi penelitian dan lebih sensitif terhadap perubahan vegetasi dibanding citra indeks ExG dan GLI. Pendekatan berbasis indeks RGB ini memberikan metode yang efisien dan ekonomis dalam pemantauan kondisi vegetasi skala lokal, khususnya pada wilayah sungai dengan akses yang terbatas.

**Kata kunci:** ExG, GLI, Mahseer, RGB, UAV, VARI, vegetasi riparian

## 1. Pendahuluan

Vegetasi riparian berperan sebagai penghubung antara ekosistem perairan dengan ekosistem daratan, sebagai *buffer* terhadap tekanan antropogenik dari daratan yang masuk ke badan perairan (1). Vegetasi riparian berperan penting bagi ikan-ikan *flagship species* yang populasinya rentan termasuk kelompok ikan Mahseer. Populasi ikan Mahseer bergantung pada kondisi habitat yang spesifik seperti sungai dengan arus yang deras dan jernih, substrat berbatu dan pasir. Menurut (2), ikan Mahseer di alam membutuhkan kadar oksigen terlarut antara 6.3 ppm sampai 7 ppm, suhu air 22 °C sampai 27 °C dan pH 7 sampai 7.3. Kondisi fisik-kimia perairan di sekitar habitat ikan Mahseer tersebut dapat menjadi lebih stabil jika vegetasi riparian berfungsi dengan baik secara ekologis, karena fluktuasi kondisi lingkungan di sekitar habitat ikan Mahseer dapat menyebabkan gangguan fisiologis dan reproduksi ikan-ikan air tawar termasuk kelompok ikan Mahseer (3,4).

Salah satu ciri vegetasi riparian yang berfungsi dengan baik secara ekologis yaitu memiliki kemampuan untuk menaungi bada air di bawahnya dari penetrasi cahaya matahari ke dasar secara langsung dan menjadi habitat bagi avertebrata yang menjadi sumber pakan ikan Mahseer yang bersifat *allochthonous* (5–7). Kondisi tataguna lahan di sekitar sungai yang menjadi habitat ikan Mahseer dikelompokkan menjadi tiga kriteria yaitu aliran sungai dengan dominasi pemukiman penduduk, aliran sungai dengan dominasi lahan perkebunan dan aliran sungai dengan dominasi vegetasi alami berupa hutan (8).

Kondisi vegetasi riparian menjadi indikator awal bagi keberadaan populasi ikan Mahseer di sekitar habitatnya meskipun parameter fisik-kimia lainnya perlu diteliti lebih lanjut. Sebagai informasi awal, urgensi pemantauan kondisi vegetasi riparian perlu dilakukan secara efektif dan efisien dengan pendekatan indeks vegetasi. Kualitas vegetasi riparian dapat dilakukan dengan pendekatan survei lapangan secara langsung, metode ini akan menghasilkan data vegetasi yang lengkap dan akurat namun membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih banyak jika dilakukan secara temporal dan sekaligus menjadi kelemahan dari metode tersebut.

Oleh sebab itu, indeks vegetasi seperti NDVI dari citra satelit lebih sering digunakan karena dapat mencakup wilayah yang lebih luas dan dapat dilakukan secara berkala (9,10). Vegetasi riparian dianggap baik apabila persentase tutupan kanopi terhadap badan air dan aliran sungai berkisar antara 50% sampai 70% dan nilai NDVI berkisar antara 0.6 sampai 0.9 (1,11).

NDVI memiliki keunggulan yaitu mampu menyajikan data spasial dalam skala yang luas dan murah. namun pendekatan dengan NDVI ini membutuhkan citra yang bebas dari tutupan awan (12), sementara itu pada kondisi musim hujan tutupan awan yang tebal serta resolusi citra yang rendah, akan menjadi kendala dalam akuisisi citra, sehingga pemrosesan citra membutuhkan citra tambahan dari waktu yang berbeda agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) diintegrasikan dengan ilmu biologi untuk menilai kualitas vegetasi riparian pada habitat ikan Mahseer pada penelitian ini di tiga sungai di Jawa Tengah yaitu, Sungai Jali, Sungai Bogowonto dan Sungai Kanci. Pemanfaatan UAV komersial DJI Phantom 4 Pro juga pernah digunakan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan di kawasan hutan konservasi wisata alam Danau Dusun Besar di Bengkulu dengan total luas wilayah akuisisi citra yaitu 178,12 Ha dan menghasilkan 7 kelas klasifikasi lahan dari citra RGB (13).

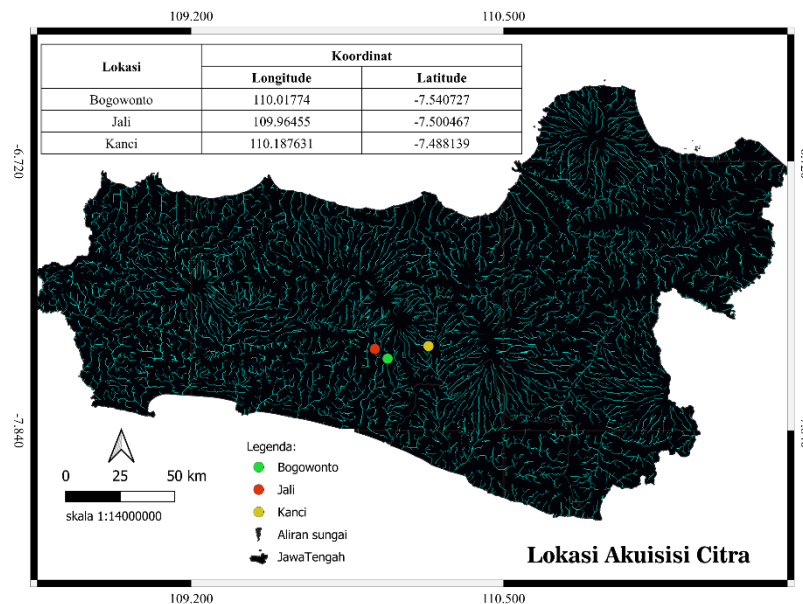
Citra *orthophoto* yang diakuisisi menggunakan UAV akan menghasilkan citra dengan *band* Red, Green dan Blue (RGB). Aplikasi *orthophoto* dengan saluran RGB dalam bidang pertanian digunakan untuk menganalisis kemunculan tanaman kentang yang lebih akurat dibanding pengamatan di lapangan secara manual (14). Selain itu, citra RGB dari UAV juga dapat mengidentifikasi fragmen vegetasi pada lahan terbuka dengan tingkat akurasi yang baik melalui metode CMA, MPRI dan MGVRI secara kualitatif (15,16). Citra RGB juga dapat dikombinasikan dengan algoritma *Machine Learning* KNN untuk mengklasifikasi *Fractional Vegetation Cover* di gurun pasir dengan akurasi mencapai 80% (17).

Degradasi hutan menjadi salah satu indikator terjadinya kerusakan Daerah Aliran Sungai di Jawa Tengah. Menurut (18), terdapat 16 DAS di Jawa Tengah yang termasuk dalam kategori kritis yang ditandai fluktuasi debit aliran yang tinggi, kekeringan dan tutupan vegetasi yang kurang dari 20%. Kondisi tersebut dapat mengancam populasi ikan lokal dengan habitat yang sangat terbatas termasuk ikan Mahseer. Berdasarkan kelebihan yang terdapat pada citra RGB tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer di tiga hulu sungai menggunakan citra RGB yang diakuisisi menggunakan UAV. Analisis citra RGB menggunakan pendekatan citra indeks VARI, VI dan

GLI dan uji statistik Kruskal-Wallis untuk mengetahui citra indeks yang sesuai untuk analisis vegetasi berdasarkan citra indeks.

## 2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di 3 hulu sungai yang diketahui sebagai habitat ikan Mahseer di Jawa Tengah yaitu Sungai Kanci, Sungai Jali dan Sungai Bogowonto (gambar 1). Akuisisi citra UAV dilakukan pada saat siang hari ketika cuaca cerah pada jam 10.00 hingga 11.00 di bulan September 2023. Teknik akuisisi citra habitat ikan Mahseer menggunakan UAV DJI Mavic Air ini diadopsi dari metode (19) yaitu terdiri dari tiga tahap yaitu pra akuisisi citra, proses akuisisi citra, dan pasca akuisisi citra meliputi perhitungan teknis *ground sampling distant* (GSD) dan pengolahan citra. Data spesifikasi UAV merek DJI Mavic Air yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel 1. Penentuan lokasi akuisisi citra vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer ditentukan berdasarkan informasi keberadaan ikan Mahseer yang diketahui melalui grup sosial media komunitas pemancing ikan Mahseer dan divalidasi dengan wawancara dengan pemancing dari grup sosial media tersebut.



**Gambar 1.** Peta lokasi akuisisi citra habitat ikan Mahseer

Pengambilan gambar lokasi pengambilan sampel ikan Mahseer dilakukan dengan menghubungkan UAV DJI Mavic Air dengan perangkat PIX4D *Capture*. Ketinggian terbang rata-rata 70-meter dari permukaan tanah dengan kecepatan 8 m/s. Interval pengambilan gambar dilakukan setiap 3 detik dengan jarak antar lintasan pengambilan gambar sebesar 70%. Luas area yang dapat di akuisisi dengan UAV DJI Mavic Air sebesar 20000 m<sup>2</sup>. Luas area akuisisi

citra masing-masing lokasi yaitu: Sungai Kanci 29392 m<sup>2</sup>, Sungai Jali 13714 m<sup>2</sup> dan Sungai Bogowonto sebesar 19131 m<sup>2</sup>.

Pengaturan akuisisi citra dirancang untuk mengoptimalkan pendeteksian kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer secara spasial. Parameter seperti ketinggian terbang, *overlap* pengambilan gambar, dipilih untuk mendapatkan citra dengan resolusi spasial yang memadai untuk mengidentifikasi variabel habitat secara visual seperti tipe substrat, tutupan kanopi riparian dan morfologi alur sungai seperti *riffle/pool*. Jalur terbang juga dirancang untuk mencakup variasi vegetasi riparian yang menjadi *preferensi* habitat ikan Mahseer. Hasil akuisisi citra berupa citra dengan saluran Red, Green dan Blue (RGB). Citra RGB kemudian dilakukan analisis indeks vegetasi berupa VARI, ExG dan GLI untuk mengetahui kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer.

**Tabel 1.** Spesifikasi UAV DJI Mavic Air yang digunakan pada penelitian.

<b>Berat take off</b>	430 g
<b>Kecepatan maksimum</b>	68 km/h (19 m/s)
<b>Sensor kamera</b>	1/2.3" CMOS 12 MP
<b>Lensa</b>	FOV: 85° 35 mm <i>Format Equivalent</i> : 24 mm <i>Aperture</i> : f/2.8 <i>Shooting Range</i> : 0.5 m to ∞
<b>ISO range</b>	100 - 3200 ( <i>manual</i> ) 100 - 1600 ( <i>auto</i> )
<b>Shuter speed</b>	8 - 1/8000s
<b>Still Image Size</b>	4:3: 4056×3040 16:9: 4056×2280
<b>Still Photography Modes</b>	<i>Single shot</i> /HDR/3/5 <i>bracketed frames</i> at 0.7EV Bias/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s/Pano: 3×1: 42°×78°, 2048×3712 (W×H)
<b>Resolusi video</b>	4K Ultra HD: 3840×2160 24/25/30p
<b>Frekuensi sinyal</b>	2.400 - 2.4835 GHz 5.725 - 5.850 GHz

### 2.1. Akuisisi citra RGB habitat ikan Mahseer

Pengaturan akuisisi citra dirancang untuk mengoptimalkan deteksi kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer secara spasial. Parameter seperti ketinggian terbang, *overlap* pengambilan gambar, dipilih untuk mendapatkan citra dengan resolusi spasial yang memadai untuk mengidentifikasi kondisi vegetasi riparian berupa tutupan

kanopi riparian serta variabel pendukung seperti tipe substrat dan morfologi alur sungai seperti *riffle/pool*.

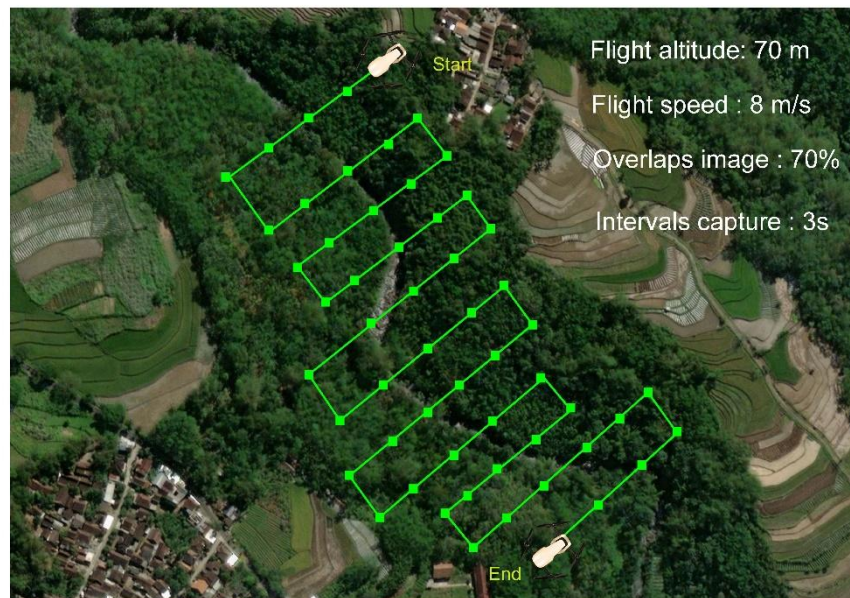
#### 2.1.1. *Pra-akuisisi citra*

Pra-akuisisi citra atau pra pengambilan gambar dilakukan secara *semi-autonomous* yaitu dengan cara menentukan rute terbang menggunakan pengamatan secara langsung di lokasi pengambilan sampel. Parameter yang diamati saat penentuan rute terbang yaitu memperkirakan ketinggian pepohonan di sekitar lokasi pengambilan sampel, kecepatan angin, kondisi cuaca, topografi dan keberadaan sarang burung yang berpotensi mengganggu misi penerbangan. Kecepatan angin dan kondisi cuaca akan mempengaruhi konsumsi baterai dan misi penerbangan, UAV yang terbang dengan mode *semi-autonomous* akan berusaha mengikuti jalur terbang yang sudah direncanakan sehingga kecepatan angin yang kuat serta kondisi cuaca yang panas dapat berpengaruh pada konsumsi baterai yang digunakan untuk menyesuaikan putaran baling-baling.

#### 2.1.2. *Proses akuisisi citra*

Pengambilan gambar udara dilakukan menggunakan UAV DJI Mavic Air. Spesifikasi kamera dan pengaturan penerbangan utama yang digunakan yaitu kamera dengan sensor 1/2.3" CMOS, 12 MP, 35 mm *equivalent focal length* 24 mm; resolusi foto *still* 4056 × 3040). Kamera UAV ini dilengkapi dengan filter HD-CPL (*High Definition-Circular Polarizing Lens*) yang berfungsi untuk mengurangi pantulan cahaya (*glare*) dari permukaan air dan substrat basah serta meningkatkan kontras warna pada citra sehingga membantu meningkatkan visibilitas objek riparian.

Pengambilan citra dilakukan dengan pengaturan berikut: ketinggian terbang rata-rata 70 m AGL, kecepatan misi 8 m/s, interval pemotretan (*forward overlap*) setiap 3 s (3 detik), dan *overlap* antar lintasan (*side overlap*) 70%. Interval 3 detik diatur oleh aplikasi misi sehingga pengambilan gambar bersifat *semi-autonomous* sesuai rencana jalur penerbangan (gambar 2.).



**Gambar 2.** Rencana terbang (*flight plan*) proses akuisisi citra udara.

### 2.1.3. Perhitungan teknis (*GSD, footprint, overlap*)

Perhitungan teknis akuisisi citra dilakukan berdasarkan parameter kamera dan ketinggian terbang 70 m. *Ground Sampling Distance* (GSD) menggunakan parameter sensor DJI Mavic Air dan *focal length* setara 24 mm, pada ketinggian rata-rata 70 m diperoleh GSD 0.0259 m/pixel (2.59 cm/pixel). Ukuran *footprint* setiap foto Dengan GSD di atas dan ukuran foto 4056 × 3040-pixel menghasilkan *footprint* dengan panjang 105 m × lebar 78.7 m per *frame* pada permukaan tanah.

Jarak antar gambar dalam lintasan dihitung dengan mengalikan kecepatan UAV dengan interval waktu pengambilan gambar (8 m/s x 3 detik = 24 m). Jika panjang gambar di sepanjang lintasan terbang adalah 105 m, maka jarak *forward overlap* yang dihasilkan yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Forward overlap} &= \frac{(1 - (\text{interval} \times \text{kecepatan}))}{\text{panjang lintasan terbang}} \times 100 \\
 &= \frac{(1 - (3 \text{ detik} \times 8 \text{ m/s}))}{105 \text{ meter}} \times 100 \\
 &= 77\% (>70\%)
 \end{aligned}$$

Jadi setiap pengaturan interval pengambilan gambar selama 3 detik dengan nilai *side overlap* > 70%. Sementara itu, jarak antar lintasan dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar lintasan} &= \text{lebar frame} \times 1 - \text{sidelap} \\
 &= 78.7 \times (1 - 0.70) \\
 &= 23.6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Pada saat pengambilan gambar sedang berlangsung, UAV diterbangkan dengan mode *visual land of sight* (VLOS) dan pemantauan perangkat secara berkesinambungan. Pengambilan gambar dilakukan dengan mode *semi-autonomous* melalui rencana terbang yang diatur menggunakan *software PIX4D Capture*. Pratinjau foto dipantau secara berkala untuk memastikan eksposur dan tidak terdapat *motion blur*. Selain pemantauan citra secara pratinjau, manajemen baterai dilakukan dengan cara mengembalikan UAV pada *home point* pada saat daya baterai mencapai 30% atau saat kondisi cuaca terik atau angin kencang, karena kedua kondisi cuaca tersebut dapat mempercepat penggunaan daya baterai saat misi terbang berlangsung.

## 2.2. Pengolahan citra RGB

Citra RGB vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer hasil diolah menggunakan software Agisoft Metashape untuk menghasilkan *orthophoto*. Citra RGB hasil akuisisi UAV direkonstruksi menggunakan pendekatan *Structure from Motion* (SfM) atau pensejajaran citra RGB (*align*) berdasarkan urutan akuisisi dan *overlap* di jalur terbang untuk menghasilkan *sparse point cloud* dan perkiraan parameter kamera. Selanjutnya, Citra-citra RGB yang sudah disejajarkan dilakukan perapatan model menggunakan algoritma *Multi View Stereo* (MvS) berbasis *depth map* dengan parameter kualitas *medium* untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi komputasi

dan ketelitian spasial dalam menghasilkan titik-titik citra (*dense point cloud*). *Reuse depth maps* diaktifkan untuk mempertahankan konsistensi hasil perhitungan sebelumnya.

*Depth filtering* diterapkan menggunakan pengaturan *mild depth filtering* untuk mengurangi *noise* tanpa menghilangkan detail morfologi penting pada area sungai dan vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer. *Calculate point colors* diaktifkan untuk mempertahankan informasi spektral pada setiap titik dan menghasilkan *dense point cloud* yang merepresentasikan struktur tiga dimensi permukaan wilayah penelitian secara digital.

Kumpulan titik-titik yang dihasilkan dari proses *dense point cloud* selanjutnya dihubungkan untuk menghasilkan permukaan yang kontinu untuk menghasilkan struktur permukaan geometri tiga dimensi dengan metode *mesh construction*. Konstruksi *orthomosaic* menggunakan metode *mesh construction* bertujuan untuk mengurangi *noise* pada *cloud point density*. Tipe permukaan *arbitrary (3D surface)* dipilih untuk mempertahankan kompleksitas kontur area penelitian. Sementara itu, jumlah *face* ditetapkan pada tingkat *high* ( $\pm 90.000$  *faces*) untuk menghasilkan permukaan yang detail dan efisien secara komputasi. Interpolasi diaktifkan pada mode *enabled default* untuk mengisi celah pada area dengan kepadatan titik rendah akibat keterbatasan sudut akuisisi citra.

*Calculate vortex colour* diaktifkan untuk mempertahankan informasi warna pada model tiga dimensi. Hasil *mesh construction* menjadi dasar dalam konstruksi citra *digital elevation model* (DEM) dan *orthorektifikasi* citra. *Orthomosaic* dihasilkan dari citra DEM yang telah dilakukan *orthorektifikasi* dengan sistem koordinat WGS 84 (EPSG: 4326). Transisi antar citra yang lebih halus dan minim perbedaan radiometrik dilakukan melalui *blending mode default-(Mosaic)*. *Enable hole filling* diaktifkan untuk mengisi area dengan data yang tidak lengkap. Hasil *orthomosaic* yang dilengkapi dengan data koordinat selanjutnya diekstrak menjadi data raster *orthophoto* dalam format TIF untuk dianalisis lebih lanjut.

Raster *orthophoto* yang dihasilkan memiliki nilai *digital number* (DN) relatif dengan rentang 0 sampai 255 untuk masing-masing saluran RGB. Penelitian ini tidak melakukan koreksi radiometrik absolut karena keterbatasan sensor kamera UAV (*non-multispectral camera*) dan tidak adanya panel kalibrasi di lapangan.

Perbedaan rentang nilai piksel diminimalisir dengan melakukan normalisasi nilai DN menjadi rentang 0 sampai 1 dengan cara membagi nilai setiap saluran pada citra dengan nilai 255. Nilai hasil normalisasi selanjutnya digunakan sebagai nilai reflektan relatif dalam perhitungan indeks vegetasi.

### 2.3. Perhitungan Indeks Vegetasi Berbasis Cahaya Tampak

Berdasarkan keterbatasan sensor RGB pada UAV, analisis kondisi vegetasi dilakukan melalui transformasi matematis pada saluran merah (R), hijau (G), dan biru (B). Indeks vegetasi RGB dirancang untuk menonjolkan fitur klorofil dengan memanfaatkan reflektansi tinggi tanaman pada saluran hijau. Indeks utama yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada (20,21) adalah sebagai berikut:

*Visible Atmospherically Resistant Index (VARI):*

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

*Excess Green Index (ExG):*

$$ExG = 2G - R - B$$

*Green Leaf Index (GLI):*

$$GLI = \frac{2G - R - B}{2G + R + B}$$

Indeks-indeks tersebut dihitung pada setiap piksel *orthophoto* menggunakan Software QGIS 3.22 untuk menghasilkan indeks vegetasi dari citra RGB. Indeks vegetasi selanjutnya memberikan informasi kondisi vegetasi riparian yang menjadi bagian penting pada habitat ikan Mahseer di lokasi penelitian.

Pendekatan *grid* spasial digunakan untuk menghindari *pseudo replikasi* yang disebabkan oleh penggunaan piksel secara berulang sebagai unit analisis. Area penelitian dibagi menjadi unit *grid* berukuran 20 m × 20 m yang digunakan sebagai unit sampel independen. Luas *grid* 20 m x 20 m yang digunakan dalam penelitian ini dianggap representatif untuk menangkap variasi spasial pada citra UAV dengan resolusi 2 cm sampai 3 cm.

Nilai rata-rata indeks vegetasi pada setiap *grid* dihitung menggunakan metode *zonal statistic* pada software QGIS 3.22. Nilai indeks vegetasi (VARI, ExG dan GLI) pada masing-masing *grid* dihitung sebagai nilai rata-rata (*mean*) dari seluruh piksel.

Nilai *grid* tersebut selanjutnya dianalisis secara statistik untuk membedakan kondisi antar lokasi penelitian dan mengetahui sensitivitas citra indeks pada masing-masing lokasi. Perbedaan nilai masing-masing indeks vegetasi antar lokasi penelitian dianalisis dengan pendekatan uji statistik Kruskal-Wallis menggunakan software PAST 4.0. Uji statistik tersebut dipilih berdasarkan karakteristik data hasil ekstraksi citra indeks yang heterogen, normalitas yang rendah dan distribusi data yang bersifat independen. Keterbatasan dalam penelitian ini yaitu tidak menggunakan *Ground Control Point* (GCP), koreksi radiometrik dan *Ground checking* (verifikasi lapangan), sehingga akurasi spasial dan nilai reflektan yang dihasilkan dari citra RGB ini bersifat relatif.

### 3. Hasil penelitian

Pengolahan citra UAV menggunakan software *Agisoft Metashape* menghasilkan *orthophoto* dari tiga lokasi sungai, yaitu Sungai Kanci, Sungai Jali, dan Sungai Bogowonto. Proses pengolahan meliputi *align photo*, *build dense cloud*, *build mesh*, hingga *build orthomosaic* dan rektifikasi menjadi *orthophoto*. Data yang disajikan merupakan hasil akhir dari proses tersebut, yang mencakup informasi spasial, resolusi, serta karakteristik spektral dari masing-masing citra (tabel 2).

Hasil pengolahan citra RGB menunjukkan bahwa ketiga lokasi sampling yaitu Sungai Kanci, Sungai Jali dan Sungai Bogowonto memiliki dimensi citra dan resolusi spasial yang bervariasi. Sungai Bogowonto memiliki resolusi spasial tertinggi dengan ukuran piksel 1,81 cm, mencakup area seluas 2,995 hektar dengan dimensi citra persegi panjang sebesar  $8869 \times 10359$  piksel. Sungai Jali memiliki resolusi 2,00 cm/piksel dengan luas cakupan citra RGB sebesar 3,22 hektar serta dimensi citra yang lebih memanjang secara vertikal sebesar  $6507 \times 12271$  piksel. Sungai Kanci memiliki resolusi paling kasar diantara citra Sungai Bogowonto dan Sungai Jali yaitu sebesar 2,93 cm/piksel, meskipun demikian citra sungai Kanci memiliki cakupan area yang paling luas diantara dua sungai lainnya yaitu sebesar 9,66 hektar dengan dimensi citra RGB  $10710 \times 10465$  piksel. Perbedaan luasan cakupan citra tersebut dikarenakan mode terbang menggunakan *semi-autonomus* yang menyesuaikan kondisi topografi dan vegetasi di sekitar sungai habitat ikan Mahseer tersebut. Sungai Bogowonto dan Sungai Jali memiliki topografi dengan lembah sungai yang lebih curam dan didominasi oleh pepohonan sehingga sinyal wifi dari remot kontrol ke UAV lebih mudah terganggu pada proses akuisisi citra.

**Tabel 2.** Hasil pengolahan citra RGB habitat ikan Mahseer di lokasi sampling

Parameter	Sungai		
	Kanci	Jali	Bogowonto
Dimensi (piksel)	x: 10710, y: 10465	x: 6507, y: 12271	x: 8869, y: 10359
Ukuran piksel (meter/piksel)	0.029	0.020	0.0181
Mean band 1 (merah)	174.23±74.97	156.31±78.72	187.1±73.7
Mean band 2 (hijau)	174.36±73.30	157.07±75.97	188.8±72.5
Mean band 3 (biru)	142.18±96.35	118.32±93.47	160.3±96.4
Area coverage (Ha)	9.66	3,22	2,99

### 3.1. Orthophoto citra RGB

Berdasarkan hasil analisis citra RGB berupa *orthophoto* dan citra indeks VARI, ExG dan GLI dari Sungai Kanci, Jali, dan Bogowonto (gambar 3) menunjukkan bahwa kemampuan sensor RGB standar pada kamera UAV DJI Mavic Air dalam mengekstraksi informasi kondisi vegetasi riparian tanpa menggunakan sensor inframerah (NIR). *Orthophoto* Sungai Bogowonto (gambar 3.c) menunjukkan struktur riparian yang paling utuh dengan kanopi pohon yang lebar dan kontinu di sepanjang alur sungai. Selain itu, morfologi Sungai Bogowonto menunjukkan pola sedikit berkelok (*meandering*) serta adanya *riffle* (arus deras dan dangkal dengan batuan yang muncul dari dasar perairan) dan *pool* (arus lebih tenang dan dalam) yang berpotensi sebagai habitat ikan Mahseer serta batuan besar (*boulder*), sedang (*cobble*) dan kerikil (*gravel*) di tepian sungai yang menjadi pembatas antara badan sungai dengan riparian di sejumlah segmen. Lebar sungai bervariasi secara spasial dengan sejumlah bagian yang menyempit dan di bagian lain melebar membentuk kolam kecil (*pool*). Vegetasi di kedua tepi sungai cukup rapat dengan komposisi pepohonan berkayu, semak dan vegetasi campuran semak, herba dan pepohonan. Selain itu, terdapat vegetasi dengan pola yang tertstruktur di sejumlah tepian sungai. Vegetasi tersebut menunjukkan adanya aktivitas antropogenik seperti perkebunan.

*Orthophoto* Sungai Jali (gambar 3.b) menunjukkan pola riparian yang lebih terfragmentasi, ukuran vegetasi riparian yang sempit dan berbatasan langsung dengan area pertanian. Komposisi vegetasi berupa pohon berkayu, semak dan vegetasi alami campuran yang berfungsi sebagai naungan dan sumber pakan bagi ekosistem sungai dan jembatan yang menghubungkan jalan aspal. Morfologi Sungai Jali menunjukkan lekukan yang minim dan cenderung linear (*meander* kecil), alur sungai sempit dan terdapat bendungan kecil di tengah aliran sungai. Heterogenitas aliran di Sungai Jali lebih rendah dibanding Sungai Bogowonto yang ditunjukkan dengan zona *pool* yang lebih sedikit serta dominasi zona *riffle* di sepanjang aliran. Substrat dasar perairan berdasarkan citra RGB ini didominasi oleh batuan besar (*boulder*) yang tersebar di beberapa ruas aliran sungai, batuan berukuran sedang (*cobble*) dan substrat halus yang menunjukkan area sedimentasi di sekitar area bendungan.

*Orthophoto* Sungai Kanci (gambar 3.a) menunjukkan alur segmen sungai yang lurus dan berkelok dengan vegetasi riparian yang lebih sempit dibanding Sungai Bogowonto, beberapa segmen riparian berbatasan langsung dengan lahan terbuka sedangkan area dengan vegetasi lebat banyak terdapat di bagian tengah dan bawah citra Sungai Kanci. Kanopi vegetasi yang menjulur di permukaan aliran sungai menjadi naungan dan sumber pakan bagi habitat di bawahnya. Aktivitas antropogenik terlihat di sejumlah fragmen vegetasi berupa area perkebunan dan sisa vegetasi yang terbakar. Substrat Sungai Kanci didominasi oleh batuan sedang (*cobble*), kerikil (*gravel*) dan sedikit batuan besar (*boulder*) yang berbatasan langsung dengan aliran sungai.

Perbandingan *orthophoto* dari ketiga sungai habitat ikan Mahseer tersebut menunjukkan bahwa *buffer* vegetasi Sungai Bogowonto lebih rapat dibanding Sungai Jali dan Sungai Kanci. Sementara itu, tekanan antropogenik di Sungai Kanci dan Jali lebih tinggi dibanding Sungai Bogowonto dikarenakan adanya lahan perkebunan dan pertanian di sekitar aliran sungai. Morfologi aliran sungai dari ketiga lokasi tersebut memiliki variasi *riffle* dan *pool* yang cukup beragam. Berdasarkan visualisasi citra, alur Sungai Bogowonto lebih kompleks dibanding Sungai Jali dan Sungai Kanci sehingga menyediakan habitat ikan Mahseer yang bervariasi seperti daerah *nursery* di aliran dengan *pool* yang luas dan daerah mencari makan di area *riffle* dan naungan kanopi yang rapat (tabel 3).

### 3.2. Citra indeks VARI

Citra indeks VARI (*Visible Atmosphericly Resistant Index*) dirancang untuk mendeteksi kerapatan dan sensitivitas vegetasi serta mengurangi pengaruh variasi pencahayaan atmosfer yang dipantulkan. Implikasi citra indeks VARI cenderung mencerminkan total vegetasi lansekap dan belum kuat untuk menilai kualitas vegetasi. Interpretasi nilai indeks pada citra VARI dibagi dalam tiga kriteria yaitu warna hijau kebiruan menandakan kerapatan vegetasi yang tinggi dan produktif (nilai indeks tinggi), warna campuran hijau kekuningan menandakan kerapatan vegetasi tingkat sedang dan warna merah kekuningan menandakan vegetasi jarang atau lahan terbuka, tanah kosong, batuan atau badan air.

Citra indeks VARI Sungai Bogowonto, Sungai Jali dan Sungai Kanci secara berurutan memiliki nilai mean 0.456, 0.498 dan 0.530 dengan nilai mean citra indeks VARI tertinggi adalah Sungai Kanci dan terendah pada Sungai Bogowonto yang berarti citra indeks VARI Sungai Kanci dan Sungai Jali didominasi oleh vegetasi yang lebih luas dibanding pada Sungai Bogowonto (gambar 3. d-f). Sedangkan citra indeks VARI Sungai Bogowonto didominasi oleh

warna merah kekuningan yang disebabkan oleh badan sungai yang lebih lebar serta vegetasi riparian yang lebih sempit dibanding Sungai Kanci dan Sungai Jali sehingga nilai mean citra indeks VARI Sungai Bogowonto lebih rendah.

Implikasi dari ketiga citra indeks VARI tersebut menunjukkan bahwa secara umum, Sungai Kanci dan Sungai Jali memiliki vegetasi yang lebih rapat dibanding Sungai Bogowonto. Namun nilai mean yang tinggi pada citra indeks VARI Sungai Jali dan Sungai Kanci cenderung dipengaruhi oleh vegetasi yang homogen dari lahan pertanian.

**Tabel 3.** Perbandingan biofisik Sungai Bogowonto, Jali dan Kanci berdasarkan *orthophoto*

Parameter	Bogowonto	Jali	Kanci
Kompleksitas aliran	Tinggi	Sedang	Rendah–Sedang
<i>Pool</i>	Ada	Terbatas	Sangat terbatas
Tipe substrat	Berbatu	Berbatu	Berbatu
Vegetasi riparian	Baik	Terfragmentasi	Lebih sempit
Struktur buatan	Minim	Ada bendung	Minim
Tekanan antropogenik	Sedang	Tinggi	Tinggi

### 3.3. Citra Indeks ExG

Citra indeks ExG (*Exceeds Green Index*) dirancang untuk menonjolkan komponen vegetasi dengan warna hijau. Pada citra Indeks ExG, komponen hijau mendapatkan bobot nilai yang lebih besar dibanding komponen merah dan biru dengan rentang nilai indeks yaitu -550 sampai 550. Hasil citra indeks ExG Sungai Kanci, Sungai Jali dan Sungai Bogowonto memiliki nilai indeks minimum masing-masing yaitu -73, -42 dan -55 yang sekaligus menjadi nilai minimum terendah citra indeks ExG. Nilai minimum terendah tersebut mengindikasikan bahwa pada citra indeks ExG Kanci terdapat area non vegetasi yang cukup kontras berupa lahan terbuka. Sementara itu, nilai indeks maksimum sebesar 281 terdapat pada citra indeks ExG Sungai Bogowonto yang mengindikasikan kerapatan vegetasi di sekitar aliran Sungai Bogowonto, sedangkan citra indeks ExG Sungai Jali memiliki nilai maksimum terendah diantara ketiga citra yaitu sebesar 241 yang mengindikasikan kerapatan tutupan vegetasi yang rendah dan dominasi area vegetasi semi terbuka seperti lahan perkebunan atau pertanian (gambar 3.g-i).

### 3.3. Citra Indeks GLI

Citra indeks GLI (Green Leaf Indeks) dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi vegetasi meliputi tingkat kesehatan daun dan indikator vegetasi aktif fotosintesis serta membedakan vegetasi dari tanah dan air sehingga dapat menganalisis zona riparian yang kompleks. Rentang nilai citra indeks GLI yaitu -1 (tanah, batu, air) sampai 1 (vegetasi

dominan) dan 0 (campuran area vegetasi dan non vegetasi). Hasil citra indeks GLI dari Sungai Kanci, Sungai Jali dan Sungai Bogowonto masing-masing memiliki nilai minimum dan maksimum indeks yang hampir sama yaitu -1 sampai 1 dengan nilai mean masing-masing citra yaitu 0.087, 0.111 dan 0.0715 (gambar 3. J-1). Citra indeks GLI Sungai Jali memiliki nilai mean tertinggi dibanding Citra GLI Sungai Bogowonto dan Kanci yang mengindikasikan vegetasi aktif secara fisiologis atau tanaman pertanian pada fase pertumbuhan, sedangkan citra indeks GLI Sungai Bogowonto memiliki vegetasi alami yang lebih stabil namun badan sungai yang lebar menyebabkan nilai mean pada citra tersebut lebih rendah secara keseluruhan. Sementara itu, citra indeks GLI Sungai Kanci menunjukkan warna kehijauan yang lebih heterogen yang mengindikasikan adanya area yang terdegradasi atau lahan terbuka.

#### 3.4. Uji statistik Kruskal-Wallis

Hasil ekstraksi nilai indeks vegetasi berbasis grid ( $20 \times 20$  m) menunjukkan variasi nilai pada masing-masing lokasi penelitian. Nilai indeks dihitung sebagai rata-rata (mean) dari setiap grid, sehingga setiap grid merepresentasikan satu unit analisis yang independen. Secara umum, nilai indeks vegetasi yang diperoleh menunjukkan rentang yang bervariasi antar lokasi. Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai VARI antar lokasi penelitian ( $H_c = 14.91$ ;  $p < 0.001$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi nilai VARI pada masing-masing sungai tidak berasal dari populasi yang sama. Berbeda dengan VARI, hasil uji Kruskal-Wallis untuk indeks ExG menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antar lokasi ( $H_c = 3.292$ ;  $p = 0.1928$ ). Hasil uji Kruskal-Wallis untuk indeks GLI menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antar lokasi ( $H_c = 4.019$ ;  $p = 0.1341$ ) (tabel 4.)

Perbedaan signifikan pada citra indeks VARI ini menunjukkan bahwa VARI mampu mendeteksi variasi kondisi vegetasi riparian antar lokasi. Sensitivitas VARI terhadap perbedaan ini diduga berkaitan dengan formulasi indeks yang melibatkan rasio antara kanal hijau, merah, dan biru, sehingga lebih responsif terhadap perubahan kondisi vegetasi maupun pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan bayangan. Sementara itu, indeks ExG dan GLI memiliki nilai yang relatif seragam di ketiga sungai meskipun keduanya menekankan dominasi kanal hijau namun dalam penelitian ini kurang sensitif secara statistik terhadap variasi kompleks pada lingkungan riparian, terutama pada area yang dipengaruhi oleh keberadaan air, bayangan, dan substrat non-vegetasi.

**Tabel 4.** Hasil uji statistik Kruskal-Wallis pada masing-masing citra indeks di lokasi penelitian.

.Indeks	Chi <sup>2</sup>	p-value (> 0.05)	Interpretasi
VARI	12.2	0.0005	Berbeda signifikan
ExG	3.29	0.1928	Tidak signifikan
GLI	3.45	0.1341	Tidak signifikan

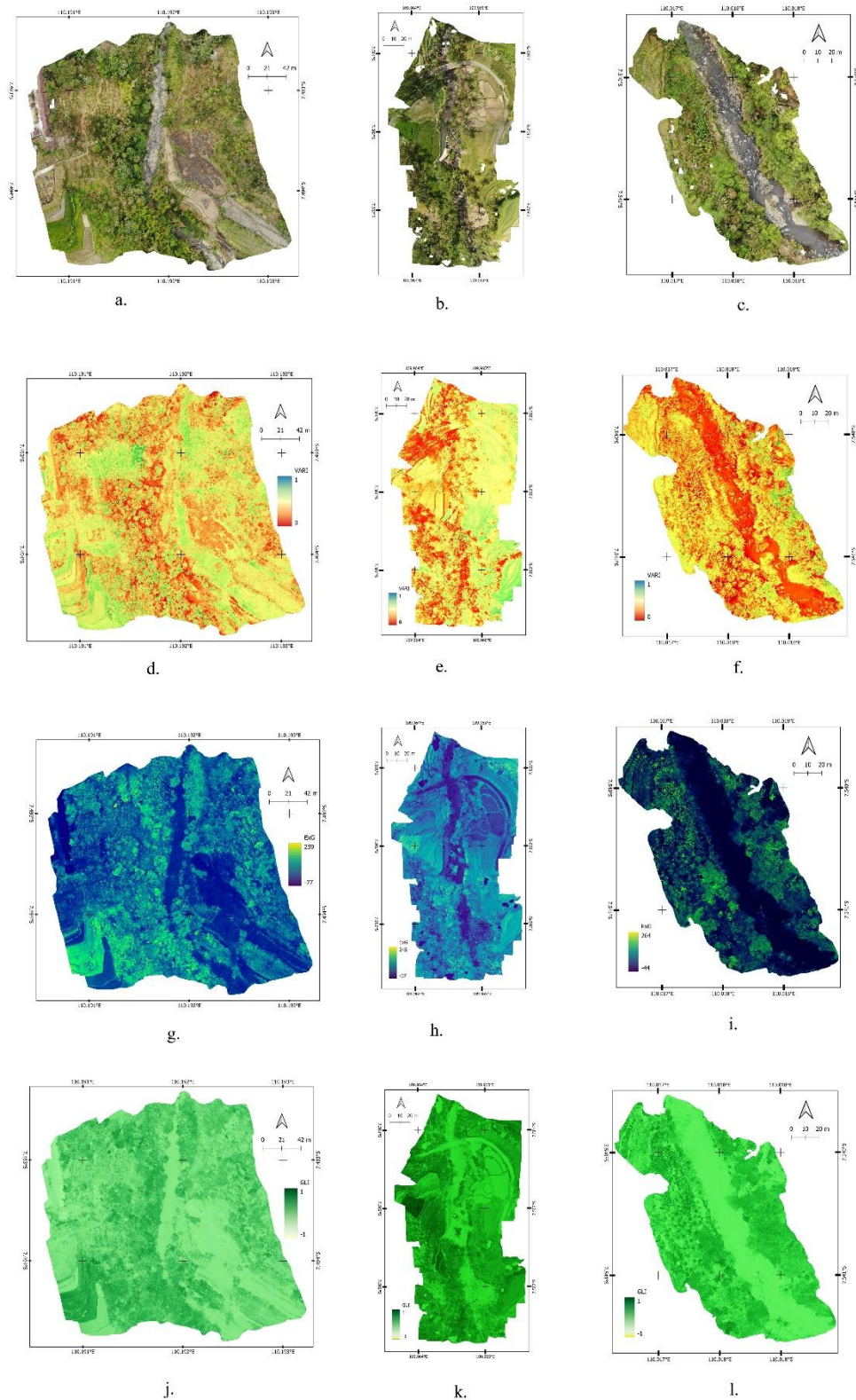
#### 4. Pembahasan

Pemantauan kualitas habitat ikan Mahseer menggunakan UAV DJI Mavic Air dengan pendekatan analisis indeks vegetasi merupakan alternatif untuk mendapatkan citra dengan resolusi tinggi yang tidak didapatkan dari citra-citra yang umum digunakan dalam kajian *remote sensing*. Citra yang dihasilkan dari UAV ini berupa citra dengan kanal merah (R), hijau (Green) dan biru (Blue) atau disebut sebagai citra RGB. Menurut (22,23), UAV kategori kelas rendah dengan kamera tanpa sensor multispectral (*non-multispectral camera*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi tutupan atau penggunaan lahan dengan bantuan indeks vegetasi seperti VARI, ExG, GLI dan NGRDI berbasis RGB.

Data indeks menunjukkan bahwa nilai rata-rata VARI, ExG, dan GLI relatif tinggi pada ketiga sungai (VARI *mean* 0.456–0.53; ExG *mean* 30.27–39.50; GLI *mean* 0.0715–0.111), yang mengindikasikan dominansi vegetasi pada lanskap secara umum. Namun, perbedaan distribusi spasial dari nilai *mean* tersebut menunjukkan adanya variasi tingkat fragmentasi dan keberadaan lahan terbuka. Sungai Bogowonto memperlihatkan distribusi nilai lebih stabil dengan vegetasi riparian yang tersambung, sedangkan Sungai Jali dan Kanci menunjukkan nilai rata-rata lebih tinggi yang dipengaruhi oleh dominansi vegetasi pertanian serta kontras lebih besar antara area vegetasi dan non-vegetasi. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian (24), rentang nilai indeks citra VARI di tiga lokasi penelitian menunjukkan bahwa vegetasi di tiga lokasi penelitian masih dominan di sekitar habitat ikan Mahseer yaitu antara -0.06 sampai 0.24.

Indeks VARI memiliki kemampuan untuk mengevaluasi kehijauan vegetasi dari citra dengan resolusi tinggi seperti citra yang dihasilkan dari UAV. Menurut (25), indeks vegetasi VARI memiliki keunggulan untuk mengestimasi area dengan kerapatan vegetasi yang bervariasi dibanding NDVI karena VARI dirancang untuk mereduksi efek pantulan cahaya yang dapat mengikuti perubahan visual vegetasi dari hijau ke kuning-kuningan, sedangkan NDVI cenderung mudah mengalami distruksi dari pantulan tanah yang dapat mengganggu visualisasi vegetasi pada kondisi tertentu.

Pendekatan lain yang digunakan untuk mengidentifikasi vegetasi yaitu dengan indeks hijau daun (*Green Leaf Index/GLI*). Indeks citra GLI dari ketiga citra yaitu 0.0715, 0.111 dan 0.087 yang menunjukkan bahwa di sekitar aliran sungai habitat ikan Mahseer masih didukung oleh vegetasi yang baik karena nilai indeks citra GLI tersebut. Jika dibandingkan dari hasil penelitian Aziz *et al.*, (2023) pada tanaman padi, citra indeks GLI pada tanaman padi dengan tanah yaitu -1 sampai -0.01 sedangkan tanaman padi yang terserang *Bacterial Leaf Bright (BLB)* memiliki rentang nilai indeks GLI antara -0.01 sampai 0.12 dan untuk padi yang sehat memiliki rentang nilai GLI antara 0.12 sampai 1. Meskipun terdapat perbedaan rentang nilai GLI yang berbeda antara tanaman monokultur dengan vegetasi alami, citra indeks GLI dapat mengidentifikasi tingkat kehijauan tumbuhan. Selain menilai vegetasi pada permukaan tanah, GLI juga dapat melakukan penilaian vegetasi pada permukaan batuan bersama dengan pendekatan *Excees Green Index (ExG)* (27). Citra indeks ExG menurut (27,28), termasuk salah satu indeks RGB yang paling stabil untuk klasifikasi vegetasi dan berperan dalam proses segmentasi awal untuk mendeteksi keberadaan vegetasi. Karakteristik indeks ExG yang stabil tersebut dikarenakan indeks ini sangat berantung dengan kandungan klorofil dan nitrogen pada daun atau kanopi (29).



**Gambar 3.** Citra orthophoto dan citra indeks hasil analisis VARI, ExG dan GLI, (a-c) berurutan dari kanan ke kiri adalah orthophoto Sungai Kanci, Sungai Jali, Sungai Bogowonto, (d-f) citra indeks VARI, (g-i) citra indeks ExG dan (j-l) citra indeks GLI.

Kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer berdasarkan citra indeks VARI, ExG dan GLI di Sungai Kanci, Sungai Jali dan Sungai Bogowonto masih didominasi oleh vegetasi yang heterogen. Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis (tabel 4) dari citra indeks VARI menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar lokasi, namun perbedaan tersebut masih dalam kondisi yang dapat ditoleransi karena hasil uji statistik yang sama menggunakan citra indeks GLI dan ExG menunjukkan indeks kehijauan yang tidak berbeda secara signifikan. Menurut (30), VARI lebih mampu untuk mendeteksi gejala heterogenitas pada vegetasi yang homogen, sedangkan GLI umumnya digunakan untuk menghitung tingkat kehijauan suatu citra secara akurat, dimana indeks kehijauan ini diasumsikan sebagai tingkat tutupan lahan oleh vegetasi (31). Hal tersebut serupa dengan ExG yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi vegetasi melalui corak kehijauan dari suatu citra, namun pada ExG sangat sensitif terhadap tingkat pencahayaan sehingga hal tersebut menjadi batasan terhadap penggunaan indeks ExG secara luas (32). Oleh karena itu citra indeks VARI pada penelitian ini menjadi lebih sensitif karena adanya variasi vegetasi riparian berupa perkebunan, ladang, lahan pertanian dan vegetasi liar yang heterogen pada masing-masing lokasi.

Berdasarkan pengamatan visual dari citra *orthophoto*, sejumlah lokasi dari ketiga sungai tersebut menunjukkan adanya aktivitas antropogenik, namun kondisi vegetasi dan kanopi di sepanjang aliran sungai masih terlihat menutupi badan perairan dan berbatasan langsung dengan sungai. Badan sungai dengan kondisi tersebut dapat berperan sebagai penyedia naungan dan makanan bagi ikan Mahseer di bawahnya. Menurut (33) penurunan populasi ikan Mahseer di habitat alaminya disebabkan oleh eksploitasi berlebih, perubahan kondisi fisik dan kimia perairan dan hilangnya vegetasi riparian.

Penggunaan citra indeks untuk mendeskripsikan kondisi vegetasi riparian dalam penelitian ini memiliki sejumlah kelemahan yaitu proses akuisisi citra tidak menggunakan *Ground Control Point* (GCP), hal ini karena keterbatasan biaya dan fitur teknis pada UAV yang tidak terintegrasi dengan modul RTK sehingga penggunaan GCP menjadi rekomendasi bagi penelitian berikutnya. Meskipun demikian, sistem GPS yang disematkan pada DJI Mavic Air masih cukup baik untuk memetakan wilayah yang relatif kecil karena hasil citra setelah pengolahan dengan software Agisoft Metashape memiliki akurasi yang absolut sekitar 2-5 m (horizontal) dan 3-6 m (vertikal). Menurut (34), UAV komersial *entry level* dapat digunakan untuk melakukan pemetaan dengan catatan pada area yang dipetakan terdapat area yang stabil digunakan untuk titik referensi, selain itu akurasi planimetry hasil pengolahan citra dari drone

entry level ini memiliki rentang antara 10 cm -15 cm atau 17 cm - 28 cm yang masih cukup baik digunakan untuk mendeteksi perubahan bentuk lahan (34,35).

## 5. Kesimpulan

Pemanfaatan UAV untuk mengetahui kondisi vegetasi riparian di sekitar habitat ikan Mahseer dapat dilakukan melalui pendekatan citra RGB dari UAV dengan analisis indeks vegetasi VARI, ExG dan GLI. hasil *orthophoto* secara visual menunjukkan gejala alih fungsi lahan dan pengaruh antropogenik di sekitar aliran sungai Kanci, Jali dan Bogowonto dengan adanya lahan pertanian fase pertumbuhan di sekitar aliran sungai dan bendungan kecil yang menyebabkan sedimentasi ringan. Citra Indeks VARI (0.0005) menunjukkan perbedaan yang signifikan dari masing-masing lokasi dan lebih sensitif terhadap fragmentasi vegetasi dibanding citra indeks ExG (0.1928) dan GLI (0.1341).

## Daftar Pustaka

1. Prasetyo HD, Ramadhan M. Quality Profile of Riparian Zone and Vegetation Quality in Amprong River, Tumpang District Based on QBR Index and NDVI. *Biotropika J Trop Biol.* 2021;9(3):229–36.
2. Hendrik H, Fauzi M, Ramadona T, Hendrizal A, Effendi I. Local Wisdom and Conservation Status of Tor Thai Mahseer Fish (*Tor tambroides* S Blkr) in the Batang Haluan River, West Sumatra, Indonesia. *Int J Conserv Sci.* 2021;12(4):1547–56.
3. Theurer FD, Lines I, Nelson T. Interaction Between Riparian Vegetation, Water Temperature, And Salmonid Habitat In The Tucanon River. *Water Resour Bull Am Water Resour Assoc.* 1985;21(1):53–64.
4. Sarma D, Mohan D, Posti R, Arya M, Ganie PA. The mighty mahseers of the genera *Tor*, *Neolissochilus* and *Naziritor*: A review on resource distribution, biology, ecotourism and conservation. *Indian J Fish.* 2022;69(4):146–69.
5. Casatti L, Teresa FB, Gonçalves-souza T, Bessa E, Manzotti AR, Gonçalves S, et al. From forests to cattail : how does the riparian zone influence stream fish ? *Neotrop Ichthyology.* 2012;10(1):205–14.
6. Johnson RK, Almlöf K. Adapting boreal streams to climate change : effects of riparian vegetation on water temperature and biological assemblages. *Freshw Sci.* 2016;35(3):984–97.

7. Rachmatika SI, Hartoto DI. Pola Makan dan Reproduksi Ikan Tor spp. Sebagai Dasar Budidayanya. *Ber Biol.* 1985;3(3):84–90.
8. Akmal Y, Yunus M, Plumeriastuti H, Dhamayanti Y, Irfanur, Muliari, et al. Growth Patterns and Ecological Classification of Tor tambra (Valenciennes, 1842) in the Mamis River, Leuser Ecosystem Area, Aceh Province, Indonesia. *J Ilm Perikan dan Kelaut.* 2024;16(2):485–97.
9. Sutrisno H, Susi T, Hartanto S, Perkasa P. An NDVI analysis is conducted to determine the arrangement of green open space in the riparian zone of Sungai Kahayan , Palangka Raya City. In: *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science* 1425. IOP Publishing; 2024.
10. Wuryanta A, Susanti PD. Analisis Spasial Tekanan Penduduk Terhadap Lahan Pertanian di Sub DAS Keduang, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. *J Penelit Sos dan Ekon Kehutan.* 2015;12(3):149–62.
11. Wang H, Wang Z, Qu S, Que X, Yao Z. Unraveling the link between riparian vegetation health and drought severity. *Ecol Indic [Internet].* 2025;178(August):113979. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113979>
12. Zhou Y, Toda Y, Zhu R. Spatiotemporal dynamics of riparian vegetation NDVI as indicators of bio-hydromorphological interactions. *EGUsphere.* 2025;1–17.
13. Mardiansyah, Susatya A, Suhartoyo H, Anwar G, Uker D. Pemanfaatan Drone/Unmanned Aerial Vehicle Dalam Klasifikasi Tutupan Lahan Taman Wisata Alam Danau Dusun Besar Provinsi Bengkulu. *Nat Penelit Pengelolaan Sumberd Alam dan Lingkung.* 2022;11(1):49–57.
14. Li B, Xu X, Han J, Zhang L, Bian C, Jin L, et al. The Estimation of Crop Emergence in Potatoes by UAV RGB Imagery. *Plant Methods.* 2019;15(15):1–13.
15. Yan G, Li L, Coy A, Mu X, Chen S, Xie D. Improving the estimation of fractional vegetation cover from UAV RGB imagery by colour unmixing. *ISPRS J Photogramm Remote Sens [Internet].* 2019;158(September):23–34. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.017>
16. Barbosa BDS, Ferraz GAS, Gonçalves LM, Marin DB, Maciel DT. RGB vegetation indices applied to grass monitoring : a qualitative analysis. *Agron Res.* 2019;17(2):349–57.

17. Xie L, Meng X, Zhao X, Fu L, Sharma RP. Estimating Fractional Vegetation Cover Changes in Desert Regions Using RGB Data. *Remote Sens.* 2022;14:3833.
18. Mawardi I. Kerusakan Daerah ALiran Sungai dan Penurunan Daya Dukung Sumberdaya Air di Pulau Jawa Serta Upaya Penanganannya. *J Hidrosfir Indones.* 2010;5(2):1–11.
19. Cummings AR, Deonadan R, Gonsalves J, Moses P, Norman A. Planning Unoccupied Aircraft Systems (UAS) Missions. In: Fraizer AE, Singh KK, editors. *Fundamentals Of Capturing and Processing Drone Imagery and Data.* 1st ed. New York: CRC Press; 2021. p. 121–44.
20. Gitelson AA, Stark R, Rundquist D, Gitelson AA, Kaufman YJ, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens Environ.* 2002;80:76–87.
21. Eng LS, Ismail R, Hashim W, Baharum A. The Use of VARI, GLI and VIGreen Formulas in Detecting Vegetation in Aerial Images. *Int J Technol.* 2019;10(7):1385–94.
22. Komarkova J, Jech J, Sedlak P. Comparison of Vegetation Spectral Indices Based on UAV Data. *15th Iber Conf Inf Syst Technol.* 2020;(June):24–7.
23. Bassine FZ, Errami A, Khaldoun M. Vegetation Recognition Based on UAV Image Color Index. In: *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe),*. Genova; 2019. p. 5–8.
24. Sewiko R, Sagala HAMU. The Use Of Drone And Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) Algorithm Implementation In Mangrove Ecosystem Health’s Monitoring. *Asian J Aquat Sci.* 2022;5(November):322–9.
25. Schneider P, Roberts DA, Kyriakidis PC. A VARI-based relative greenness from MODIS data for computing the Fire Potential Index. *Remote Sens Environ.* 2008;112:1151–67.
26. Aziz NH, Narashid RH, Razak TR, Anshah SA, Talib N, Latif ZA, et al. Detection of Bacterial Leaf Blight Disease Using RGB-Based Vegetation Indices and Fuzzy Logic. In: *2023 19th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA).* IEEE; 2023. p. 134–9.

27. Štroner M, Urban R, Suk T. Filtering Green Vegetation Out from Colored Point Clouds of Rocky Terrains Based on Various Vegetation Indices : Comparison of Simple Statistical Methods , Support Vector Machine , and Neural Network. *Remote Sens.* 2023;15:3254.
28. Lucena A, Rendeiro R, Marques C. Vegetation health evaluation reflectance measurements. In: *EPJ Web of Conferences.* 2024. p. 4–7.
29. Stary K, Jelinek Z, Kumhalova J, Chyba J, Balazova K. Comparing RGB - based vegetation indices from UAV imageries to estimate hops canopy area. *Agron Res.* 2020;18(4):2592–601.
30. Gerardo R, Lima IP De. Applying RGB-Based Vegetation Indices Obtained from UAS Imagery for Monitoring the Rice Crop at the Field Scale : A Case Study in Portugal. *Agriculture.* 2023;13:1916.
31. Akca S. Evaluating urban green spaces using UAV-based green leaf index. *Mersin Photogrametry J.* 2024;6(2):52–9.
32. Ye X, Zhu W, Liu R, He B, Yang X, Zhao C. An automated method for estimating fractional vegetation cover from camera-based field measurements: Saturation-adaptive threshold for ExG (SATE). *ISPRS J Photogramm Remote Sens.* 2025;229:170–87.
33. Gupta N, Everard M, Nautiyal P, Kochlar I, Sivakumar K, Johnson, J A, et al. Potential impacts of non-native fish on the threatened mahseer (Tor) species of the Indian Himalayan biodiversity hotspot. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst.* 2020;30(2):394–401.
34. Cook KL, Dietze M. Short Communication : A simple workflow for robust low-cost UAV-derived change detection without ground control points. *Earth Surf Dynam.* 2019;7:1009–17.
35. Madawalagama SL, Munasinghe N, Dampegama SDPJ, Samarakoon L. Low Cost Aerial Mapping With Consumer-Grade Drones. In: *In Proceedings of the 37th Asian Conference on Remote Sensing.* Colombo, Sri Lanka; 2016.