

PERBANDINGAN PENGUKURAN KERAPATAN KANOPI DARI HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHY DAN UAV UNTUK PEMETAAN MENGUNAKAN CITRA SENTINEL-2

*Comparison of Canopy Density Measurements from
Hemispherical Photography and UAV for Mapping Using Sentinel-2 Imagery*

Trida Ridho Fariz¹, Haikal Muhammad Ihsan², Fathia Lutfiananda³
Junun Sartohadi⁴, Yoga Darmajati⁵, dan Andi Syahputra⁶

¹Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri
Semarang

²Departemen Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia

³Resilience Development Initiative (RDI)

⁴Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

⁵Geografi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas AMIKOM Yogyakarta

⁶Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

ABSTRACT. *The purpose of this research is to conduct canopy density mapping in Bompon Watershed, where the land cover is dominated by mixed gardens and community forests so that the upright vegetation in this area is very heterogeneous. This study uses several vegetation indices from Sentinel-2 satellite imagery and compares the canopy density measurement methods from hemispherical photography (upward) and UAV (downward). The stages of this research include pre-processing Sentinel-2 images and constructing the vegetation index transformation, namely RVI, NDVI, SAVI, ARVI and EVI. Followed by collecting canopy density data, linear regression analysis and building a canopy density model from a linear regression equation between the vegetation index and the canopy density value. The results showed that NDVI is the best vegetation index for mapping canopy density in the Bompon watershed. This is because this index has the best correlation and the lowest RMSE after being used as a canopy density model from the UAV data.*

Keywords: *Canopy density; Hemispherical photography; UAV; Sentinel-2; Vegetation indices*

ABSTRAK. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pemetaan kerapatan kanopi vegetasi tegak di Sub DAS Bompon, dimana penggunaan lahan vegetasinya berupa kebun campuran dan hutan rakyat sehingga vegetasi tegak pada wilayah ini adalah sangat heterogen. Penelitian ini menggunakan beberapa indeks vegetasi dari citra satelit Sentinel-2 juga membandingkan metode pengukuran kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* (pemotretan keatas) dan UAV (pemotretan kebawah). Tahapan penelitian meliputi pra-pengolahan citra Sentinel-2 dan membangun transformasi indeks vegetasi yaitu RVI, NDVI, SAVI, ARVI dan EVI. Dilanjutkan dengan pengumpulan data kerapatan kanopi, analisis regresi linier dan membangun peta kerapatan kanopi dari persamaan regresi linier antara indeks vegetasi dengan nilai kerapatan kanopi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NDVI merupakan indeks vegetasi terbaik untuk pemetaan kerapatan kanopi di Sub DAS Bompon. Hal ini dikarenakan indeks tersebut memiliki korelasi terbaik dan RMSE terendah setelah dijadikan peta kerapatan kanopi dari data UAV.

Kata kunci: Kerapatan kanopi; Hemispherical photography; UAV; Sentinel-2; Indeks vegetasi

Penulis untuk korespondensi, surel: trida.ridho.fariz@mail.unnes.ac.id

PENDAHULUAN

Ketersediaan data kerapatan vegetasi tegakan adalah hal yang penting. Data tersebut berguna dalam penentuan penyerapan karbon, penyaringan polutan udara, pemecah angin dan pertumbuhan pohon. (Abdollahnejad *et al*, 2016). Selain itu dalam kajian erosi, penutup vegetasi adalah indikator penting ketimbang jenis tanah

dalam mengendalikan erosi (Morgan & Duzant, 2007). Sehingga penyediaan data kerapatan kanopi vegetasi tegak di wilayah dengan sensitifitas tinggi terhadap erosi seperti Sub DAS Bompon dianggap sangat penting guna manajemen erosi. Sub DAS Bompon sendiri merupakan mikro DAS yang berada di Gunung Berapi Kuarter (Gunung Sumbing) dan tersier (Gunung Menoreh) zona transisi yang mana berimplikasi pada topografi yang berbukit, material tanah yang

super tebal dan sensitif terhadap erosi (Effendy *et al*, 2017; Wida *et al*, 2019). Erosi percik dan erosi alur banyak ditemukan pada kebun campuran di Sub DAS Bompon yang mana merupakan jenis penutup lahan yang mendominasi wilayah tersebut (Arifin dkk, 2018).

Penelitian terkait kerapatan kanopi vegetasi tegak menggunakan data penginderaan jauh sudah sering dilakukan di Indonesia. Metode yang cukup representatif dalam pemetaan kanopi menggunakan penginderaan jauh adalah mengintegrasikan dengan metode *hemispherical photography* seperti Kamal *et al* (2016), Alam dkk (2020), Hanan dkk (2020) dan Khakim *et al* (2018) pada vegetasi mangrove, dimana peta kerapatan kanopi dibangun dari nilai kerapatan dilapangan. Permasalahan dalam kajian kerapatan kanopi bukan hanya tentang lokasi dan tentang indeks vegetasi mana yang paling cocok diterapkan di wilayah kajian tetapi juga pertimbangan faktor vegetasi dibawah kanopi. Seperti yang kita ketahui bahwa vegetasi seperti rumput dibawah kanopi juga berpengaruh dengan indeks vegetasi. Jadi dalam kajian kerapatan kanopi menggunakan indeks vegetasi sebelumnya harus menentukan tutupan kanopi yang terpisah dari vegetasi non kanopi. Salah satu cara mendapatkan tutupan kanopi seperti dilakukan Ma *et al* (2017) dan Ota *et al* (2014) yang melakukan estimasi tutupan kanopi pohon menggunakan data LiDAR.

Data LiDAR menunjukkan informasi ketinggian sehingga sangat mudah dalam membedakan obyek kanopi dan bukan kanopi. Tetapi untuk memperoleh data LiDAR terhitung tidak ekonomis. Alternatif lain adalah menggunakan foto udara UAV untuk mendapatkan data masukan kerapatan kanopi seperti kajian Umarhadi & Danoedoro (2021). Pendekatan ini lebih efisien karena pengambilan foto UAV hanya di plot tertentu saja, sehingga memungkinkan untuk membangun peta kerapatan kanopi untuk area luas. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerapatan kanopi vegetasi tegak di Sub DAS Bompon dengan menggunakan indeks vegetasi dari citra satelit Sentinel-2 serta membandingkan data yang diambil dari *hemispherical photography* dan foto udara UAV. Penggunaan citra satelit Sentinel-2 sendiri dikarenakan citra satelit Sentinel memiliki resolusi spasial lebih tinggi dan mampu menyampaikan kontinuitas data

pada resolusi temporal tinggi (Meyer *et al*, 2019)

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di Sub DAS Bompon di Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1a). Penelitian ini memerlukan beberapa alat yaitu: Aplikasi QGIS, ArcGIS, CanEye, GPS, Kamera DSLR dan lensa fish eye. Adapun data yang digunakan dalam adalah citra satelit Sentinel-2 perekaman 21 Juli tahun 2017 yang diunduh dari *glovis.usgs.gov* dan foto udara UAV (*orthophoto*) area Sub DAS Bompon yang pernah digunakan oleh Masruroh *et al* (2020). Selain itu penelitian ini juga menggunakan data cluster vegetasi dari Todingan (2016). Wilayah yang dilakukan kajian adalah wilayah dengan vegetasi tegak. Sehingga *cluster* yang dipilih adalah cluster yang mayoritas diisi vegetasi tegak. Cluster yang tidak digunakan adalah *cluster* yang formasinya terdapat tumbuhan non tegakan seperti rumput, padi, jagung, ketela, pisang, kencur, empon-empon. Juga tumbuhan bersifat sangat dinamis seperti jati, untuk mengurangi *error* akibat perbedaan kondisi kanopi yang terekam pada citra satelit, foto udara UAV dan saat survey lapangan.

Pra-pengolahan Citra

Pemrosesan citra pra- lapangan melakukan proses koreksi geometrik dan radiometrik. Citra satelit yang digunakan adalah Sentinel-2 level 1C yang mana sudah dilakukan proses *orthorectification* dan *spatial registration* (ESA, 2015). Sehingga pra-pengolahan citra hanya melakukan koreksi radiometri berupa kalibrasi reflektan dan koreksi atmosferik berupa DOS (Dark of Substraction). Proses pra-pengolahan citra menggunakan *Semi Automatic Classification* di Quantum GIS.

Penggunaan Transformasi Indeks Vegetasi

Penggunaan beberapa transformasi indeks vegetasi yang digunakan adalah indeks vegetasi generik yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan RVI (*Ratio Vegetation Index*) alasan penggunaan kedua indeks tersebut karena NDVI dan RVI adalah indeks yang paling umum dan paling banyak digunakan di beberapa penelitian. RVI dikembangkan

oleh Jordan (1969), sedangkan NDVI pertama kali digunakan oleh Rouse *et al* (1973), kedua indeks ini hanya melibatkan gelombang merah dan inframerah dekat (NIR).

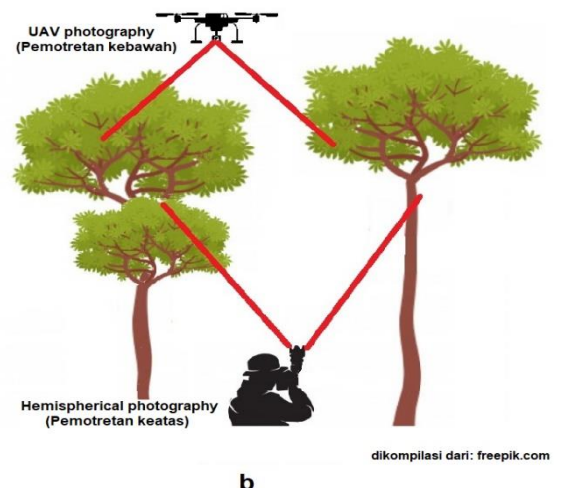
Selain indeks vegetasi generik, kami juga memasukkan indeks vegetasi yang menekan latar belakang tanah, menekan pengaruh atmosfer dan kombinasi keduanya. Indeks vegetasi menekan latarbelakang tanah yang digunakan adalah SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Berdasarkan Huete (1988), Indeks vegetasi SAVI disajikan untuk meminimalisir faktor kecerahan tanah dari indeks vegetasi dari gelombang merah dan NIR. Indeks vegetasi penekan pengaruh atmosfer yang digunakan adalah indeks ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) alasan penggunaannya karena indeks tersebut sensitif terhadap efek atmosfer. Indeks ARVI memanfaatkan saluran biru, merah, serta inframerah dan umumnya digunakan untuk menghilangkan efek aerosol atmosfer baik aerosol berpartikel kecil seperti asap maupun berpartikel besar seperti debu (Kaufman & Tanre, 1992).

Selanjutnya adalah indeks vegetasi yang menekan pengaruh atmosfer dan tanah yang digunakan adalah EVI (*Enhanced Vegetation Index*). EVI adalah modifikasi dari NDVI dengan pertimbangan sensitivitas yang lebih baik terhadap daerah biomassa yang tinggi dan kemampuan pemantauan vegetasi yang lebih baik melalui de-coupling dari sinyal latar

belakang kanopi dan pengurangan pengaruh atmosfer (Matsushita *et al*, 2007)

Pengumpulan Data Kerapatan Kanopi dan Analisis

Tahapan pengumpulan data kerapatan kanopi terbagi menjadi 2 jenis. Pertama adalah menggunakan *hemispherical photography*, yang kedua adalah menggunakan foto udara UAV (Gambar 1b). Metode *hemispherical photography* merupakan pengambilan foto dari bawah keatas menggunakan kamera DSLR dan lensa *fish eye*. Pengambilan foto tersebar dengan mengacu pada peta hasil pengolahan indeks vegetasi dan sebaran titik sampel secara *stratified random sampling*. Berdasarkan Sutaryo (2009) luas plot sampel disesuaikan dengan diameter setinggi dada pohon (dbh). Dimana dbh 5 – 20 cm luas plot adalah 7x7 m dan dbh >50cm luas plot adalah 30x30 m. Mengingat resolusi spasial citra Sentinel-2 adalah 10m dan vegetasi tegak di Sub DAS Bompon yang heterogen jadi kami mengambil sample 5 titik per piksel. Kerapatan hasil pengukuran *hemispherical photography* didapat dengan software can eye seperti penelitian Khakim *et al* (2018). Software Can Eye menilai nilai persentase kerapatan kanopi dari foto dengan mempertimbangan faktor waktu dan atmosfer, sehingga mengurangi subjektivitas pada penilaian kerapatan kanopi.



Gambar 1a. Lokasi Penelitian; 1b. Ilustrasi Perbedaan Pengumpulan Data Kerapatan Kanopi menggunakan *Hemispherical Photography* dengan *UAV Photography*.

Metode pengumpulan data kerapatan kanopi dari foto udara UAV terbilang lebih sederhana dari *hemispherical photography*.

Proses ini dilakukan dengan menghitung kerapatan kanopi berdasarkan interpretasi foto udara UAV secara visual. Penggunaan

interpretasi visual dilakukan karena data UAV sudah berbentuk orthophoto, selain itu interpretasi visual dapat membedakan kanopi dan vegetasi dibawah kanopi seperti semak. Adapun jumlah sampel yang diambil adalah minimal sejumlah 50 sampel yang kemudian dibagi untuk analisis statistik dan uji akurasi peta kerapatan kanopi. Jumlah sampel 50 diadopsi dari penentuan jumlah plot sampel kerapatan tajuk vegetasi mangrove dari BIG (2014), karena mempertimbangkan luas wilayah dan output skala pemetaan. Selain itu kami tidak menemukan metode sampling untuk hutan yang jenis vegetasinya lebih heterogen.

Setelah data kerapatan kanopi telah didapatkan, tahapan selanjutnya adalah analisis statistik. Analisis data yang digunakan adalah analisis korelasi. Analisis korelasi dimaksudkan untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel Y yang berisi kerapatan hasil pengukuran di lapangan dengan variabel X yang merupakan penggunaan beberapa transformasi indeks vegetasi. Analisis regresi digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh yang diakibatkan adanya perubahan pada setiap variabel X. Hubungan pengaruh kedua data ditentukan oleh nilai korelasi (R). Persamaan baru hasil korelasi data NDVI, RVI, SAVI, ARVI dan EVI dengan data lapangan digunakan pada citra untuk mendapatkan sebaran kerapatan kanopi vegetasi tegak.

Uji akurasi kerapatan vegetasi tegak dilakukan dengan mencocokkan data yang diperoleh dari hasil pengolahan data penginderaan jauh dengan data yang diperoleh dari kegiatan lapangan. Uji akurasi menggunakan metode RMSE (*Root Means*

Square Error), untuk memvisualisasikan nilai kesalahan atau *error* dengan melihat liner antara data kondisi observasi atau pengukuran lapangan, dan data estimasi kerapatan kanopi hasil pembuatan peta kerapatan kanopi (Kamal *et al*, 2016). Apabila nilai RMSE semakin besar maka akurasi akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Pengukuran Kerapatan Kanopi

Metode pengukuran kanopi yang dilapangan menggunakan metode *hemispherical photography*, yaitu menghitung kerapatan kanopi dengan pemotretan keatas. Foto yang telah diambil kemudian diolah menggunakan *software* bernama "*can eye*". *Can eye* adalah *software* pengolahan gambar yang digunakan untuk mengekstraksi karaktersitik struktur kanopi dari warna asli (Weiss & Baret, 2017). Metode pengukuran *hemispherical photography* menggunakan peralatan kamera dengan menggunakan lensa *fisheye*. Walaupun sebenarnya untuk pengolahan foto pada *software can eye* tidak wajib menggunakan lensa *fisheye*. Jika tidak menggunakan lensa *fisheye* bisa menggunakan *tools image at nadir* untuk mengambil gambar vertikal dan *tools image at 57,7°* untuk tidak penggunaan lensa *fisheye* tapi pengambilan gambar tidak vertikal (Putra, 2016).



Gambar 2 (a). Kerapatan Kanopi Tinggi Dengan Vegetasi Dibawah Kanopi Yang Tinggi
(b) Kerapatan Kanopi Rendah Dengan Vegetasi Dibawah Kanopi Yang Rendah

Penelitian ini menggunakan lensa *fish-eye*, sehingga menggunakan *tools hemispherical image*. Selanjutnya dilakukan kalibrasi kamera sebelum pemotretan untuk mendapatkan nilai nadir dari foto. Waktu pemotretan dilakukan pada pagi jam 07.00 sampai jam 12.00. Setiap foto diambil berdasarkan cluster vegetasi tegak di Sub DAS Bompon dari Todingan (2016). Vegetasi tegak di Sub DAS Bompon adalah kebun campuran yang kanopinya berstrata maka foto yang diambil adalah lokasi yang memiliki kerapatan kanopi yang tinggi (Gambar 2). Hal ini untuk meminimalisir bercampurnya vegetasi non kanopi dalam sampel. Wilayah dengan kerapatan kanopi yang sedang

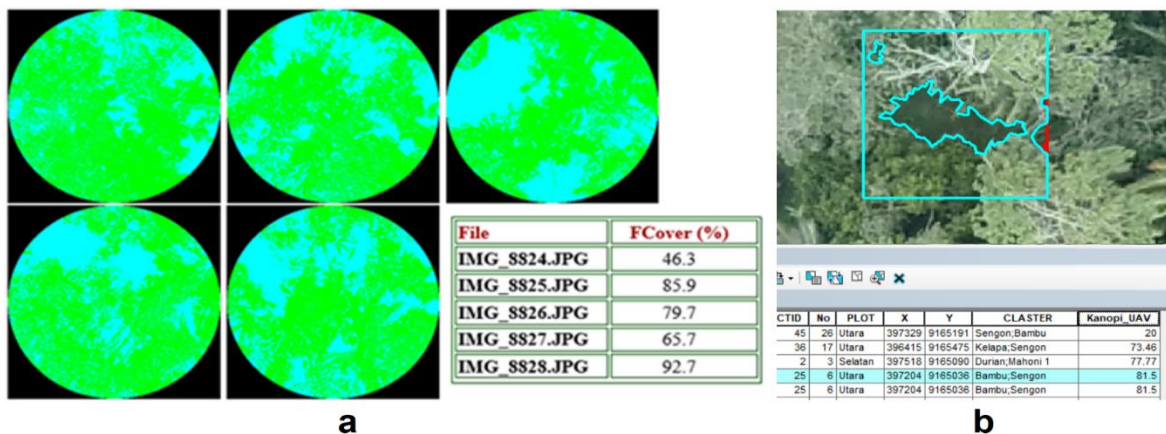
bahkan rendah boleh diambil fotonya asalkan wilayah tersebut tidak memiliki vegetasi non kanopi seperti semak yang lebat seperti Gambar 2a. Cara pengambilan foto dengan metode *hemispherical photography* idealnya dengan meletakkan kamera diatas tanah (Gambar 3a). Jika kondisi tidak memungkinkan untuk memposisikan kamera diatas tanah karena medan dan vegetasi seperti semak maka kamera bisa diposisikan diatas tumbuhan tersebut. Jumlah foto yang diambil setiap lokasi adalah 5 foto. Dengan 1 foto ditengah dan 4 foto di penjuru barat daya, barat laut, tenggara dan timur laut (Gambar 3b).



Gambar 3. (a) Titik Pengambilan Foto, (b) Cara Pengambilan Foto

Setelah semua foto diambil selanjutnya adalah pengolahan menggunakan software CanEye. *Tools* yang digunakan adalah *upward*, karena *tools* tersebut menunjukkan arah foto yang diambil dari bawah menuju keatas. Parameter yang dimasukkan adalah panjang dan lebar foto dan *Parameter optical centre* dan *projection function* yang merupakan hasil kalibrasi dengan menekan

load matlab. Untuk parameter yang lain diisi *default*, kecuali *FAPAR computation* yang berisi tanggal lapangan dan lokasi penelitian berdasarkan garis lintang. Pengukuran kerapatan menggunakan metode *hemispherical photography* akan menghasilkan tingkat kerapatan yang berbeda yang selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya (Gambar 4a).

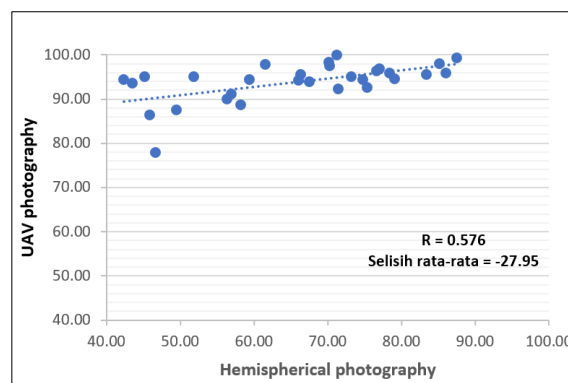


Gambar 4a. Pengolahan Data Kanopi dari *Hemispherical Photography* menggunakan Software Can Eye; 4b. Pengolahan Data Kanopi dari UAV menggunakan Interpretasi Visual

Perhitungan kerapatan kanopi dari UAV lebih sederhana dikarenakan hanya melakukan interpretasi visual dari orthophoto lalu menghitung luasannya. Pada metode UAV, penggunaan orthophoto lebih baik daripada foto mentah karena sudah bebas distorsi. Penggunaan interpretasi visual juga dipilih dalam untuk meminimalisir vegetasi dibawah kanopi seperti semak yang sulit dibedakan jika menggunakan software (Gambar 4b). Hal yang utama dari metode UAV adalah waktu pemotretan yang mana sebaiknya dilakukan pada tengah hari untuk meminimalisir efek dari bayangan pohon.

Nilai kerapatan kanopi dari metode *hemispherical photography* memiliki rata-rata sebesar 65,92, sedangkan dari metode UAV *photography* senilai 93,87, selisih nilai rata-rata dari kedua metode tersebut adalah -27,25. Untuk korelasi (R) dari kedua metode

tersebut adalah 0,576, yang berarti data kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* dan UAV memiliki derajat hubungan sedang. Nilai kerapatan kanopi dari metode UAV terkesan *overestimate*, hal ini mengingat lokasi kajian di kebun campuran dimana vegetasi seperti semak dan herba juga terlihat seperti kanopi vegetasi tegak jika dilihat dari atas. Nilai kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* juga lebih rendah dikarenakan 5 foto belum mewakili kondisi 1 piksel citra satelit Sentinel-2. Hal ini senada dengan penelitian Umarhadi & Danoedoro (2021) yang menyatakan bahwa nilai kerapatan kanopi dari UAV lebih besar dari *hemispherical photography* dikarenakan faktor vegetasi dibawah kanopi serta obyek yang tertangkap melalui foto udara UAV mirip dengan citra satelit.



Gambar 5. Diagram Pencar Hasil Analisis Korelasi antara *Hemispherical Photography* dengan UAV

Menurut kami, pengambilan data kerapatan kanopi menggunakan UAV lebih efisien di lapangan mengingat sulitnya faktor topografi yang menyulitkan proses pengambilan data menggunakan *hemispherical photography*. Tetapi metode UAV tidak efisien di tahapan pasca lapangan yaitu pengolahan data, karena setiap foto harus diolah terlebih dahulu menjadi *orthophoto*. Jika tidak diolah menjadi *orthophoto* pun, metode UAV juga membutuhkan biaya lebih besar karena harga wahana yaitu drone lebih mahal ketimbang kamera dan lensa *fish eye*.

Transformasi Indeks Vegetasi

Semua transformasi indeks yang digunakan memiliki karakteristik masing-masing. Nilai piksel yang dihasilkan dari pengolahan transformasi indeks akan diuji dilapangan untuk mendapatkan nilai korelasi (R). Hubungan semakin kuat hal tersebut dapat ditandai pada nilai R yang semakin mendekati 1.

Tabel 1. Hasil analisis Regresi Linier antara Nilai Indeks Vegetasi dengan Nilai Kerapatan Kanopi dari *Hemispherical Photography* dan UAV

Indeks vegetasi	Hemispherical photography		UAV	
	Korelasi (R)	Persamaan regresi linier	Korelasi (R)	Persamaan regresi linier
NDVI	0.399	$y = 241.38x - 100.83$	0.469	$y = 91.77x + 30.47$
RVI	0.388	$y = 10.76x + 6.55$	0.464	$y = 4.16x + 70.9$
SAVI	0.395	$y = 224.13x - 330.83$	0.467	$y = 85.69x - 57.82$
ARVI	0.387	$y = 265.82x - 153.44$	0.364	$y = 80.78x + 27.20$
EVI	0.390	$y = 96.04x + 9.78$	0.459	$y = 36.59x + 72.48$

Berdasarkan analisis statistik regresi linier menunjukkan bahwa semua indeks vegetasi mempunyai derajat hubungan yang rendah terhadap hasil pengukuran kerapatan kanopi menggunakan metode *hemispherical photography*, sedangkan pada hasil pengukuran kerapatan kanopi menggunakan metode UAV mempunyai derajat hubungan sedang (Tabel 1). Secara umum nilai korelasi (R) semua indeks vegetasi hampir sama. Tetapi indeks vegetasi NDVI yang konsisten memiliki nilai korelasi tertinggi terhadap nilai kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* maupun UAV. Penelitian Umarhadi & Danoedoro (2021) juga menunjukkan bahwa indeks vegetasi NDVI konsisten memiliki korelasi tertinggi terhadap

data kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* maupun UAV.

Pemetaan Kerapatan Kanopi

Pemetaan persentase kerapatan tutupan kanopi dilakukan dengan memasukkan nilai persamaan dari analisis regresi linear ke tiap indeks vegetasi. Hasil dari peta tersebut kemudian dilakukan uji akurasi menggunakan metode RMSE. Model spasial atau peta yang memiliki nilai RMSE terbaik yang akan digunakan untuk pengolahan lebih lanjut yaitu pembuatan peta kerapatan kanopi vegetasi tegak.

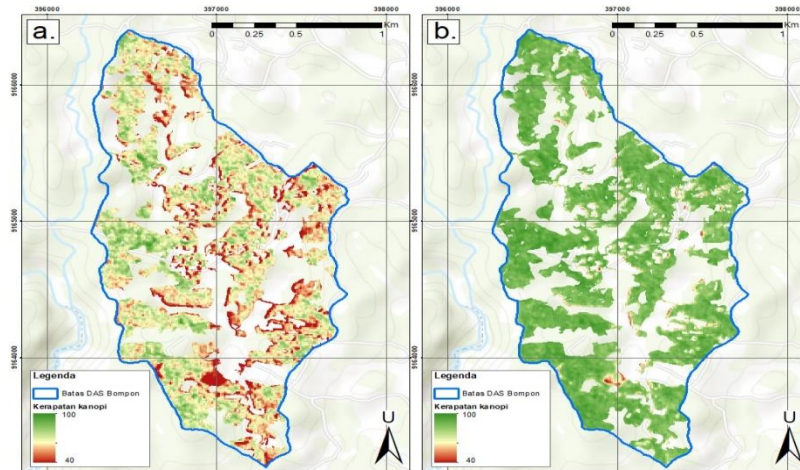
Tabel 2. Hasil Perhitungan RMSE antara Peta Kerapatan Kanopi dari Indeks Vegetasi dengan Nilai Kerapatan Kanopi dari *Hemispherical Photography* dan UAV

Indeks vegetasi	RMSE	
	Hemispherical photography	UAV
NDVI	13.80	2.37
RVI	13.41	2.39
SAVI	13.61	2.44
ARVI	14.49	2.65
EVI	12.85	2.64

Hasil perhitungan RMSE menunjukkan bahwa indeks vegetasi terbaik dalam menilai kerapatan kanopi dari data *hemispherical photography* adalah EVI, sedangkan indeks vegetasi terbaik dalam menilai kerapatan kanopi dari data UAV adalah NDVI (Tabel 2). Walaupun begitu menurut kami indeks vegetasi NDVI yang terbaik untuk memetakan kerapatan kanopi di Sub DAS Bompon. NDVI konsisten memiliki korelasi terbaik terhadap data kerapatan kanopi dari *hemispherical photography* maupun UAV, serta memiliki RMSE terendah untuk peta kerapatan kanopi dari data UAV.

Indeks vegetasi NDVI merupakan indeks vegetasi generik, begitu juga dengan RVI.

Tetapi indeks vegetasi NDVI telah membuktikan kemampuannya dalam mengklasifikasikan tutupan lahan dengan pendekatan kerapatan vegetasi dan memperkirakan kerapatan tajuk menggunakan data penginderaan jauh dari beberapa studi (Kamal *et al*, 2014; Umarhadi & Danoedoro, 2021). Untuk indeks vegetasi yang menekan faktor atmosfer yaitu ARVI memiliki korelasi terendah dan RMSE tertinggi. Hal tersebut senada dengan Jensen (2005) bahwa indeks vegetasi ARVI merupakan transformasi indeks yang paling buruk dan mengandung noise dan kesalahan, walaupun kondisi citra tidak dilakukan koreksi atmosfer hingga dilakukan koreksi atmosfer.



Gambar 6a. Peta Kerapatan Kanopi dari NDVI dan Data *Hemispherical Photography*; 6b. Peta Kerapatan Kanopi dari NDVI dan Data Kanopi dari UAV

Pemilihan indeks vegetasi dalam memetakan kanopi tergantung wilayah yang dikaji. Pada wilayah perkebunan sawit dimana sering terjadi kabut asap menunjukkan bahwa indeks vegetasi yang menekan pengaruh atmosfer seperti ARVI dan VARI memiliki hasil yang baik dalam estimasi produksi tanaman sawit (Setyowati *et al*, 2017). Pada studi dipesisir yaitu hutan mangrove menunjukkan bahwa indeks vegetasi NDVI yang terbaik untuk memetakan kerapatan kanopi (Umarhadi & Syarif, 2018). Oleh karena itu kajian kegiatan pemetaan kerapatan kanopi menggunakan penginderaan jauh sebaiknya harus dilakukan pengujian antar metode terlebih dahulu, karena setiap wilayah memiliki karakteristik geografis yang berbeda-beda.

Penelitian ini masih banyak limitasi dari jumlah sampel dan jenis data yang digunakan. Jumlah sampel harus lebih banyak agar lebih representatif. Data citra satelit yang digunakan juga harus lebih dari satu untuk membandingkan resolusi spasial yang optimal dalam memetakan kerapatan kanopi vegetasi tegak di kebun campuran di Sub DAS Bompon, seperti penelitian Kamal *et al* (2016) yang mengkaji kerapatan kanopi mangrove tidak hanya berdasarkan indeks vegetasinya tetapi juga jenis citra satelit yang digunakan. Untuk pengembangan penelitian, selain citra satelit Sentinel-2 yang memiliki resolusi spasial 10m pada band Red dan NIR bisa juga menggunakan citra satelit SPOT-6 dengan resolusi 6m. Sedangkan untuk mendapatkan informasi tutupan kanopi sebaiknya juga menggunakan data radar seperti Sentinel-1 maupun ALOS PALSAR yang tersedia secara gratis. Data radar

tersebut mampu untuk mengidentifikasi struktur hutan seperti ketinggian pohon dan kerapatan kanopinya (Morin *et al*, 2019; Kumar & Krishna, 2019).

SIMPULAN DAN SARAN

Secara umum metode pengambilan data kerapatan kanopi dari UAV lebih mudah dilakukan dibandingkan *hemispherical photography*, walaupun membutuhkan biaya yang lebih besar. Untuk pemetaan kerapatan kanopi dari citra satelit Sentinel-2 menunjukkan bahwa NDVI merupakan indeks vegetasi terbaik untuk pemetaan kerapatan kanopi di Sub DAS Bompon. Hal tersebut dikarenakan indeks tersebut memiliki korelasi terbaik dan RMSE terendah setelah dijadikan peta kerapatan kanopi dari data UAV. Tetapi mengingat setiap wilayah memiliki karakteristik geografis yang berbeda-beda kami menyarankan bahwa kajian kegiatan pemetaan kerapatan kanopi menggunakan penginderaan jauh sebaiknya harus dilakukan pengujian antar metode terlebih dahulu seperti pengambilan data dan indeks vegetasi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., Surový, P. 2017. Forest canopy density assessment using different approaches – review. *Journal of forest science*, 63(3), 107-116.

- Alam, M. I. F., Nuarsa, I. W., & Puspitha, N. L. P. R. 2020. Uji Akurasi Beberapa Indeks Vegetasi dalam Mengestimasi Kerapatan Hutan Mangrove dengan Citra Sentinel-2A di Taman Nasional Bali Barat. *Journal of Marine Research and Technology*, 3(2), 59-67.
- Arifin, M., Haji, C., Purwaningsih, E., & Prarikeslan, W. 2018. Pengukuran erosi aktual pada penggunaan lahan tegalan dan kebun campuran studi kasus: DAS Bompon, Kecamatan Kajoran, Jawa Tengah. *Jurnal Geografi* Vol 7 No 2 (2018)
- Badan Informasi Geospasial. 2014. *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove*. Badan Informasi Geospasial: Bogor
- Effendy, Z., Setiawan, M. A., & Mardiatno, D. 2019. Geospatial-Interface Water Erosion Prediction Project (GeoWEPP) application for the planning of Bompon Watershed conservation-prioritized area, Magelang, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 256, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- European Space Agency. 2015. *Sentinel-2 User Handbook*. Diakses di sentinel.esa.int pada 30 April 2019
- Hanan, A. F., Pratikto, I., & Soenardjo, N. 2020. Analisa Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3), 271-280.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- Jensen J. R. 2005. *Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective 3rd Edition*. Englewood Cliffs. N.J. Practice Hall
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50(4), 663-666.
- Kamal, M., Hartono, Wicaksono, P., Adi, N.S., Arjasakusuma, S. 2016. Assessment of Mangrove Forest Degradation through Kanopi Fractional Cover in Karimunjawa Island, Central Java, Indonesia. *Geoprosceed-Earth, Environment, and Spatial Sciences*, 1-6, Bali, Indonesia: The 1st Geoplanning International Conferences
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. 2014. Characterizing the spatial structure of mangrove features for optimizing image-based mangrove mapping. *Remote Sensing*, 6(2), 984-1006.
- Kamal, M. Phinn, S. Johansen, K. 2016. Assessment of Multi-Resolution mage Data For Mangrove Leaf Area Index Mapping. *Remote Sensing of Environment* 2016 Vol.176 pp.242-254.
- Kaufman, Y. J., & Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261-270.
- Khakhim, N., Putra, A. C. P., & Widhaningtyas, T. U. 2018. Estimating Mangrove Forest Density Using Gap Fraction Method and Vegetation Transformation Indices Approach. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 5(1), 35-42.
- Kumar, P., & Krishna, A. P. 2019. InSAR-based tree height estimation of hilly forest using multitemporal Radarsat-1 and Sentinel-1 SAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(12), 5147-5152.
- Ma, Q., Su, Y., & Guo, Q. 2017. Comparison of canopy cover estimations from airborne LiDAR, aerial imagery, and satellite imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(9), 4225-4236.
- Masruroh, H., Sartohadi, J., & Setiawan, A. 2020. Applied Small Format Aerial Photograph (SFAP) for Detail Landslide Susceptibility Mapping. *SSRG International Journal of Geo-informatics and Geological Science*, 7(3), 46-52
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651.
- Meyer, L. H., Heurich, M., Beudert, B., Premier, J., & Pflugmacher, D. (2019). Comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data for estimation of leaf area index in

- temperate forests. *Remote Sensing*, 11(10), 1160.
- Morgan, R. P. C., & Duzant, J. H. 2008. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 33(1), 90-106.
- Morin, D., Planells, M., Guyon, D., Villard, L., Mermoz, S., Bouvet, A., & Dedieu, G. 2019. Estimation and mapping of forest structure parameters from open access satellite images: Development of a generic method with a study case on coniferous plantation. *Remote Sensing*, 11(11), 1275.
- Ota, T., Ahmed, O. S., Franklin, S. E., Wulder, M. A., Kajisa, T., Mizoue, N., & Vuthy, M. 2014. Estimation of airborne lidar-derived tropical forest canopy height using landsat time series in Cambodia. *Remote Sensing*, 6(11), 10750-10772.
- Putra, A. C. P. 2016. *Pemetaan Kerapatan Kanopi Hutan Mangrove Menggunakan Citra Landsat-8 Oli Di Wilayah Pengelolaan (Resort Grajagan), Taman Nasional Alas Purwo, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Symposium on Significant Results Obtained with ERTS-1*. NASA SP-351, pp. 309-317
- Setyowati, H. A., Murti, S. H., Siwi, S. E. 2017. Efektivitas transformasi indeks vegetasi penekan pengaruh atmosfer berbasis citra SPOT-6 untuk estimasi produk tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jaqo) di sebagian Kabupaten Indragiri Hulu, Riau. *Majalah Ilmiah Globè* Vol 19 No.1 April 2017
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar Untuk tуди Karbon Dan perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme
- Todingan, M. P. 2016. *Pemanfaatan Foto Udara Format Kecil untuk Analisis Rawan Longsor pada Lahan Vegetasi Kelapa (Cocos nucifera L) dan Sengon (Albizia falcataria L) di Sub DAS Bompon, Magelang*. Master Thesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Umarhadi, D. A., & Danoedoro, P. (2021). Comparing canopy density measurement from UAV and hemispherical photography: an evaluation for medium resolution of remote sensing-based mapping. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, 11(1).
- Umarhadi, D., & Syarif, A. 2018. Regression model accuracy comparison on mangrove canopy density mapping. *Proceeding of the 3rd International Conference on Science and Technology*, Vol. 1, pp.1–11. UGM Digital Press Physical Science and Engineering, Yogyakarta
- Weiss, M. Baret, F. 2017. *Can Eye V6.491 User Manual*. UMT CAPTE / UMR1114 EMMAH, INRA
- Wida, W. A., Maas, A., & Sartohadi, J. (2019). Pedogenesis of Mt. Sumbing volcanic ash above the alteration clay layer in the formation of landslide susceptible soils in Bompon sub-watershed. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(1), 15-22.