

PEMETAAN VOLUME TEGAKAN JATI (*Tectona grandis*) BERBASIS KLASIFIKASI CITRA SENTINEL-2 DI KHDTK UGM

*Mapping of Teak (*Tectona grandis*) Growing Stock Volume based on Sentinel-2
Imagery Classification*

**Bekti Larasati, Wahyu Wardhana, Emma Soraya,
Senawi**

Laboratorium Sistem Informasi dan Pemetaan Hutan, Departemen Manajemen Hutan,
Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
Jl. Agro No.1 Bulaksumur

ABSTRACT. Remote sensing utilization for plantation forests management in Java was not yet widely used, whereas the ability of remote sensing data for land cover monitoring and forest resource mapping has been developed, ranging from low resolution imagery for global areas to moderate and high resolution for small scale areas. Data availability and human resources often become obstacles in the application. The emergence of Sentinel satellite images becomes an alternative because the dataset is free access and has moderate spatial resolution and high temporal resolution. This study aims to map the growing stock volume in UGM Educational and Training Forest using Sentinel-2 imagery. Three kinds of classification method based on machine learning algorithms i.e. Random Forest, K-NN and SVM were compared for land cover classification. An NDVI algorithm was also used for mapping the spectral value distribution. Moreover, a stand age distribution which obtained from KHDTK UGM manager were also map. A stand classification map based on land cover types, NDVI value and stand age distribution was created as a basis of growing stock volume estimation. The analysis show that the growing stock volume can be estimated using these method with RMSE 177,8 m³ and MAPE 21,9 m³.

Keywords: Sentinel; Growing stock volume; Machine learning; Plantation; Spatial

ABSTRAK. Pemanfaatan penginderaan jauh untuk pengelolaan hutan tanaman di Jawa belum banyak digunakan, sedangkan kemampuan data penginderaan jarak jauh untuk pemantauan tutupan lahan dan pemetaan sumber daya hutan telah banyak dikembangkan, mulai dari citra resolusi rendah untuk area global hingga resolusi moderat dan resolusi tinggi untuk area dengan skala lebih kecil. Ketersediaan data dan sumber daya manusia sering menjadi kendala dalam penerapan. Munculnya citra satelit Sentinel menjadi alternatif karena datasetnya dapat diakses secara gratis dengan resolusi spasial moderat dan resolusi temporal tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan volume tegakan yang tumbuh di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Pendidikan dan Pelatihan UGM menggunakan citra Sentinel-2. Tiga jenis metode klasifikasi berdasarkan algoritma *machine learning* yaitu *Random Forest*, K-NN dan SVM dibandingkan untuk klasifikasi tutupan lahan. Algoritma NDVI juga digunakan untuk memetakan distribusi nilai spektral vegetasi. Selain itu, distribusi umur tegakan yang diperoleh dari pengelola kawasan hutan juga dipetakan. Peta kelas tegakan berdasarkan jenis penutup lahan, nilai NDVI dan umur tegakan dibuat sebagai dasar perhitungan volume tegakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa volume tegakan dapat diestimasi dengan metode yang dilakukan dengan RMSE 177,8 m³ dan MAPE 21,9 m³.

Kata Kunci: Sentinel; volume tegakan; *machine learning*; hutan tanaman; spasial

Penulis untuk korespondensi, surel: bekti.larasati@ugm.ac.id

PENDAHULUAN

Informasi terkait luas kawasan hutan jati di Pulau Jawa tidak banyak ditemukan, namun luasnya pada tahun 1985 adalah 1.069.712 ha (Simon, 2000). Meskipun areanya luas, namun pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dalam pengelolaan hutan jati di Jawa

belum banyak dilakukan. Tantangan area yang luas tersebut mengakibatkan pemantauan kawasan secara terestrial menjadi sulit dilakukan, sehingga pemanfaatan teknologi penginderaan jauh menjadi salah satu solusi untuk pemetaan kawasan hutan (Margono, 2016). Salah satu data penginderaan jauh yang potensial untuk digunakan dalam pengelolaan atau pemantauan hutan adalah citra satelit

Sentinel-2 (Afgatiani et al, 2021). European Space Agency (ESA) mengeluarkan satelit Sentinel-2 pada tahun 2015 yang dapat menghasilkan data multispectral sebanyak 13 band. Data tersebut terdiri dari spektrum tampak dengan resolusi spasial 10 meter, spektrum near infra-red dengan resolusi spasial 20 meter, dan spektrum short wave infrared dengan resolusi spasial 60 meter (European Space Agency, 2012). Sentinel-2 memiliki keunggulan berupa resolusi temporal tinggi karena citra terbaru tersedia setiap 5 hari sekali, resolusi spasial moderate yaitu hingga 10 meter untuk spektrum tampaknya dan data terbuka untuk publik (European Space Agency, 2012). Keunggulan tersebut dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kawasan hutan khususnya bagi pengelola yang ingin memantau secara berkala (Waru et al, 2021).

Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus untuk Pendidikan dan Pelatihan UGM (KHDTK Diklat UGM) yang baru dimandatkan pada tahun 2016 belum mengembangkan metode pemantauan potensi hutan dengan citra satelit resolusi temporal tinggi seperti Sentinel-2, sedangkan informasi tentang kondisi tanaman perlu dipantau secara berkala karena dinamika sosial di sekitar hutan cukup tinggi, khususnya dalam masa peralihan pengelola hutan dari Perum Perhutani ke UGM. Hal itu juga berkaitan dengan pemantauan terhadap pembibitan lahan atau pun pencurian kayu. Manfaat lain adalah untuk estimasi potensi biomassa (Askar et al, 2018), karbon (Muhsoni et al, 2018), maupun volume tegakan (Chrysafis et al, 2017) secara berkala.

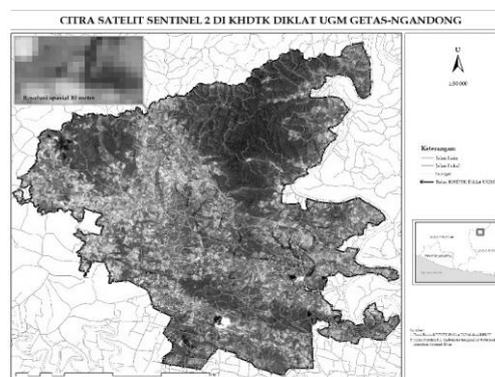
Data yang dapat diperoleh secara langsung dari citra satelit adalah kelas penutupan lahan (Lillesand et al, 2015). Metode klasifikasi penutupan lahan yang banyak digunakan sebelumnya adalah parametric classifier, tetapi model tersebut hanya dapat menggambarkan perilaku sesuai sampel yang dimiliki (Lu & Weng, 2007). Model lain yaitu metode klasifikasi berbasis algoritma machine learning yang dapat mengantisipasi kekurangan tersebut karena kemampuannya mengenali berbagai macam pola dalam data, contohnya random forest, super vector machine, dan K-Nearest Neighbour (Noi et al, 2018). Penelitian lain telah dilakukan untuk Sentinel-2 di tanaman kehutanan (Immitzer et al, 2016; Puliti et al, 2018) dan cukup berkembang untuk pertanian (Vuolo et al, 2018). Belum banyak penelitian yang menggunakan citra Sentinel-2 untuk

mendukung pengelolaan di hutan tanaman jati Pulau Jawa. Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengklasifikasikan penutupan lahan aktual di KHDTK Diklat UGM yang kelas hutan utamanya adalah jenis jati dan pemetaan potensi volume tegakan menggunakan citra satelit Sentinel 2. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan komparasi metode klasifikasi berbasis machine learning di antaranya Random Forest, Super Vector Machine, dan K-Nearest Neighbour. Hasil yang paling baik digunakan sebagai dasar pembuatan peta potensi volume tegakan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk pemantauan perubahan tutupan lahan dan potensi hutan secara periodik di KHDTK Diklat UGM.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di KHDTK Diklat UGM yang terletak di perbatasan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah dan Kabupaten Ngawi, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Kawasan ini juga berada dalam lima belas batas administrasi desa sehingga pengelolannya sangat erat dengan masyarakat sekitar hutan. Kondisi tutupan lahan tahun 2018 terdiri dari hutan tanaman jati, hutan tanaman mahoni, hutan tanaman gmelina, semak belukar, lahan terbuka, dan sawah. KHDTK Diklat UGM berada di kawasan dengan kategori iklim D atau sedang menurut klasifikasi Schmidt-Fergusson. Jenis tanah yang mendominasi kawasan tersebut adalah alfisol yaitu jenis tanah yang terbentuk dari proses pencucian mineral dari permukaan tanah ke lapisan tanah di bawahnya.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di KHDTK Diklat UGM, Kabupaten Blora dan Ngawi.

Data

Penelitian ini menggunakan Citra Sentinel-2 hasil rekaman tanggal 18 Februari 2019 untuk membuat peta penutupan lahan dan kerapatan tegakan aktual tahun 2019. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data Sentinel-2 tersebut adalah SNAP. Data spasial lainnya seperti batas administrasi, batas kawasan hutan, risalah tegakan tahun 2018 dan aksesibilitas juga diperlukan. Data-data spasial tersebut akan diolah menggunakan software QGIS dan ArcMap. Potensi volume tegakan didekati dengan hasil inventarisasi hutan tahun 2017. Kemudian tahap pengolahan data statistik akan dilakukan dengan perangkat lunak Ms Excel.

Teknik pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan secara bertahap yang terdiri dari studi literatur terkait data, pengumpulan data sekunder dan pengumpulan data primer. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi tentang data dan metode analisis yang akan

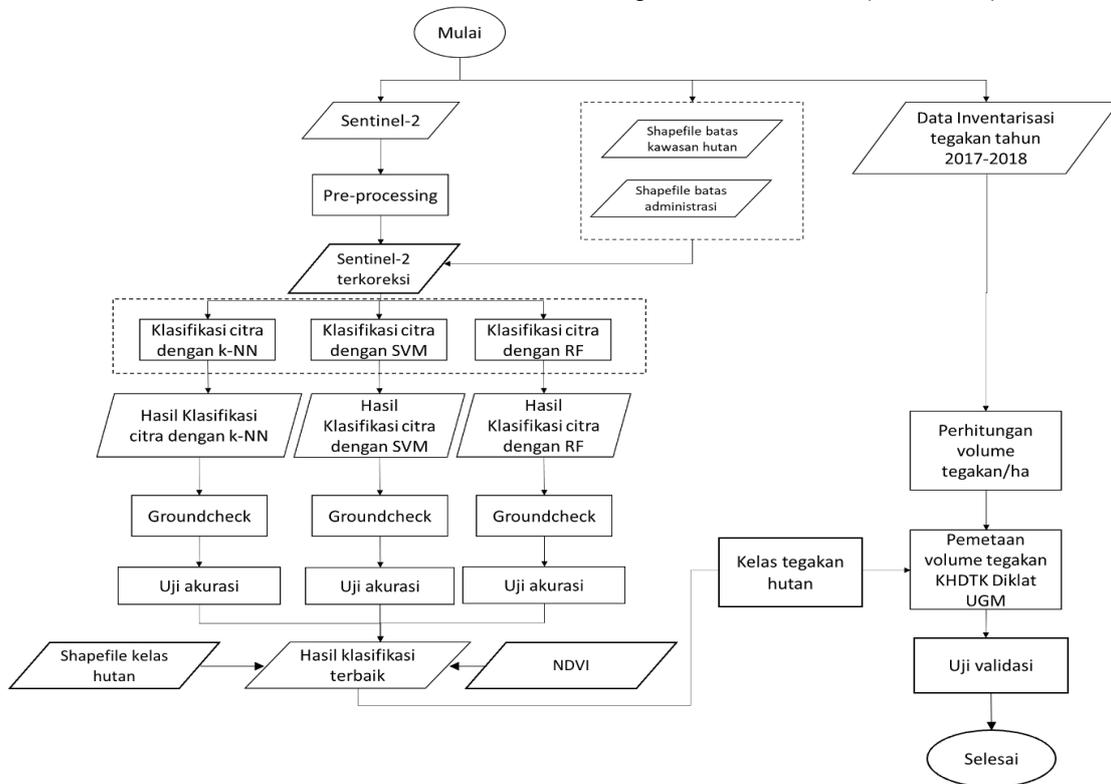
dimanfaatkan dalam penelitian. Data sekunder diperoleh dari pengelola KHDTK yaitu Universitas Gadjah Mada yang terdiri dari data administrasi kawasan, batas kawasan hutan, data hasil inventarisasi hutan tahun 2017 dan data risalah tegakan tahun 2018. Data primer diperoleh dari analisis data citra Sentinel-2 yang diunduh melalui earthexplorer.usgs.gov dan kegiatan cek lapangan. Jumlah sampel yang diperlukan untuk cek lapangan dihitung berdasarkan rumus multinomial menurut Congalton & Green (2019), yaitu

$$n = B \Pi_i (1 - \Pi_i) / b_i^2$$

Keterangan: n adalah jumlah sampel, B adalah nilai Chi square (df-(α /k) dimana $\alpha = 0,05$, k adalah jumlah kelas, dan π_i adalah kelas ke-i yang memiliki proporsi mendekati 50%.

Analisis data

Analisis data pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pra pengolahan, klasifikasi citra untuk penutupan lahan dan kelas kerapatan tegakan, cek lapangan dan analisis akurasi, perhitungan potensi volume tegakan dan validasi (Gambar 2).



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian.

Pra pengolahan terdiri dari proses koreksi radiometrik pada citra Sentinel-2 dengan komposit saluran 4 (merah), 3 (hijau) dan 2 (biru). Tahap klasifikasi citra untuk pemetaan penutupan lahan dan kerapatan tegakan dianalisis dengan algoritma berbasis *machine learning* yaitu *random forest* (RF), *support vector machine* (SVM), dan *K-Nearest Neighbour* (KNN). Hasil klasifikasi dari masing-masing algoritma akan diuji akurasi menggunakan tabel matriks eror dan dilihat nilai *overall accuracy* dan *Kappa Statistic*-nya (Congalton & Green, 2019).

Overall accuracy dihitung dengan membagi jumlah sampel yang terklasifikasi dengan benar dengan total jumlah sampel dan dikalikan 100%. Semakin mendekati 100%, maka tutupan lahan dapat diklasifikasikan dengan baik (Lillesand & Kiefer, 2015). Nilai *Kappa statistic* berada pada rentang 0-1 dengan indikator bahwa semakin mendekati nilai 1 maka hasil klasifikasi semakin baik (Lillesand & Kiefer, 2015). *Kappa statistic* juga berfungsi untuk melihat model algoritma yang paling handal di antara semua algoritma yang digunakan (Congalton & Green, 2019).

Tabel 1. Kategori Kappa Statistik.

Kappa statistic	Kekuatan kesepakatan
<0,40	Buruk (<i>Poor</i>)
0,41-0,60	Cukup (<i>Moderate</i>)
0,61-0,75	Baik (<i>Good</i>)
0,76-0,80	Sangat baik (<i>Excellent</i>)
>0,81	Hampir sempurna (<i>Almost perfect</i>)

(Richards, 2013)

Nilai kerapatan tegakan didekati dengan indeks vegetasi *normalized difference vegetation index* (NDVI) sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

NIR merupakan pantulan spektral pada saluran infra merah dekat dan RED merupakan pantulan spektral pada saluran

merah. Hasil klasifikasi NDVI berupa raster dengan nilai piksel $-1 < NDVI < 1$. Nilai NDVI yang tinggi dihasilkan dari kombinasi pantulan saluran NIR yang kuat dan pantulan saluran RED yang lemah (Lillesand & Kiefer, 2015). Nilai NDVI yang tinggi mengindikasikan tutupan lahan berupa vegetasi yang rapat, sedangkan nilai NDVI yang rendah menunjukkan area non vegetasi (Tabel 2).

Tabel 2. Kelas Kerapatan NDVI

No.	Kelas kerapatan	NDVI
1	Non vegetasi	<0,00
2	Kerapatan sangat rendah	0,00-0,15
3	Kerapatan rendah	0,15-0,30
4	Kerapatan sedang	0,30-0,45
5	Kerapatan tinggi	0,45-0,60
6	Kerapatan sangat tinggi	>0,60

(Zaitunah et al, 2018)

Selain tutupan lahan dan kelas kerapatan tegakan, kelas umur tegakan juga dipetakan dengan mengacu pada data risalah tegakan yang dimiliki oleh pengelola KHDTK UGM. Kelas umur tegakan hanya dipilih untuk jenis jati sebagai fokus kajian penelitian ini.

Volume tegakan jati akan diestimasi menggunakan 115 plot ukur dari data inventarisasi tegakan tahun 2017 yang dimiliki oleh KHDTK Diklat UGM. Sebanyak 59 plot ukur lainnya digunakan untuk uji validasi dengan parameter nilai RMSE dan MAPE.

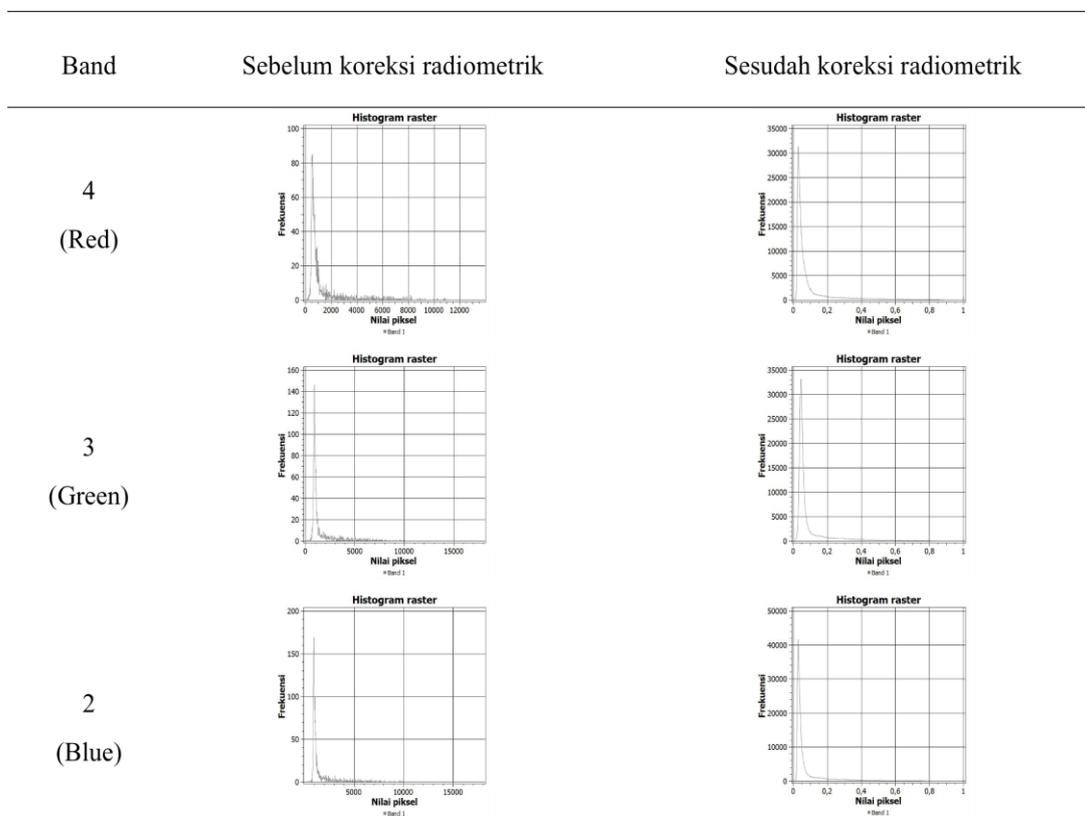
Berdasarkan data tutupan lahan, kerapatan tegakan dan umur tegakan, maka peta kelas tegakan jati akan dipetakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pra-pemrosesan citra satelit sentinel-2

Pra-pemrosesan pada citra satelit bertujuan untuk mengoreksi nilai spektral citra dari gangguan atmosfer. Gangguan tersebut dapat berupa penghamburan akibat molekul-molekul mikro dan penyerapan oleh partikel di atmosfer seperti uap air, debu, atau gas (Lillesand et al. 2015). Akibat dari gangguan atmosfer ini adalah perubahan nilai spektral suatu obyek di permukaan bumi dari nilai

yang sesungguhnya. Proses koreksi radiometrik pada penelitian ini menggunakan software QGIS 3.8.2 dengan metode *dark object subtraction* (DOS). Metode ini mengoreksi nilai spektral dengan melihat nilai pantulan pada area permukaan air dalam yang dalam kondisi normal memiliki nilai pantulan 0. Koreksi radiometrik metode DOS dilakukan dengan mensubstraksi nilai spektral citra dengan nilai pantulan permukaan air tersebut (Lillesand & Kiefer, 2015). Grafik histogram sebelum dan sesudah koreksi memperlihatkan perubahan pada nilai spektral masing-masing band (Tabel 3).

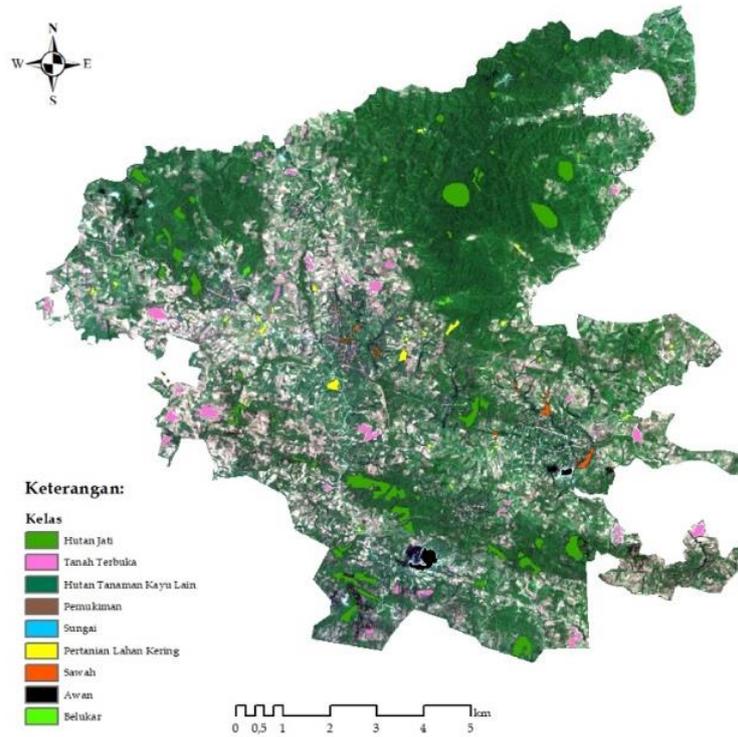


Tabel 3. Perbandingan Frekuensi Nilai Piksel sebelum dan sesudah Koreksi Radiometrik.

Pemrosesan selanjutnya pada citra satelit adalah pemotongan citra pada area studi dan pembuatan sampel contoh (125 sampel) sebagai dasar klasifikasi citra secara terbimbing (*supervised classification*) (Gambar 3).

Jumlah sampel contoh tiap fitur/obyek

dibuat berdasarkan keterwakilan berbagai variasi karakteristik fitur/obyek tersebut. Contohnya, tubuh air atau sungai mungkin memiliki warna cokelat, hitam kebiruan, hijau, atau lainnya sehingga seluruh karakteristik kenampakan dari sungai tersebut harus memiliki minimal satu sampel contoh sebagai dasar algoritma klasifikasi tutupan lahan.

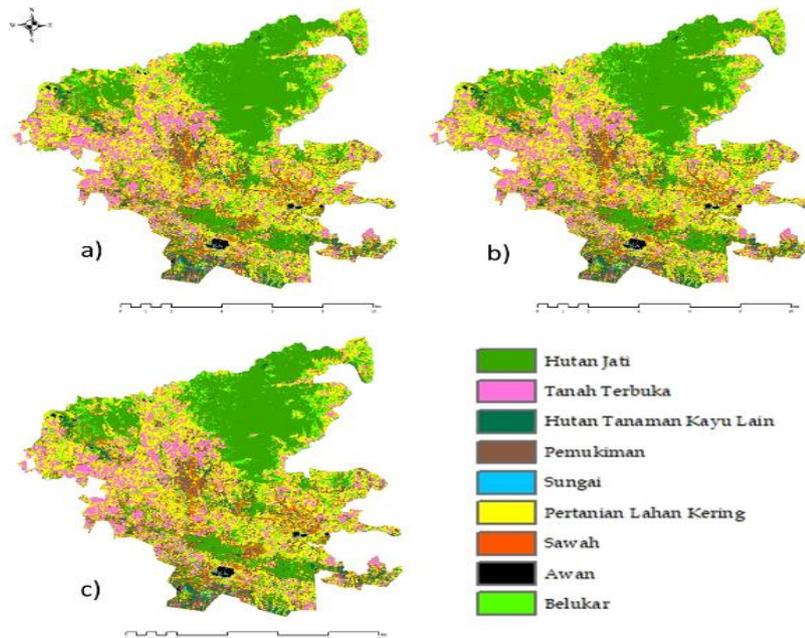


Gambar 3. Pembuatan Sampel Contoh untuk Klasifikasi Terbimbing.

Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Algoritma *Machine Learning*

Tiga algoritma *machine learning* yang digunakan yaitu *Random Forest* (RF), *K-*

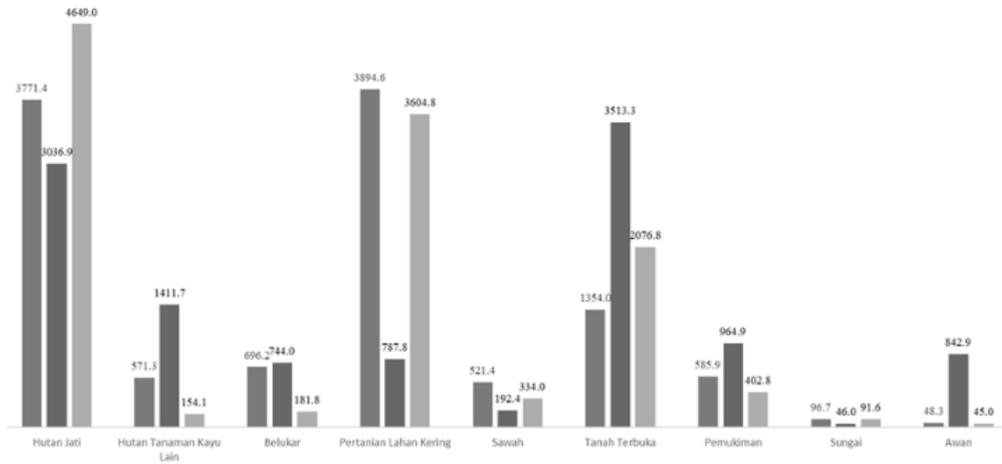
Nearest Neighbour (KNN), dan *Support Vector Machine* (SVM) diproses berdasarkan 125 sampel contoh yang telah dibuat. Hasil klasifikasi dari ketiga algoritma ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Klasifikasi dengan Algoritma (a) RF, b) k-NN dan (c) SVM.

Pada Gambar 4 tampak bahwa KHDTK Diklat UGM didominasi oleh tanah terbuka dan pertanian lahan kering sedangkan tutupan hutan lebih mendominasi pada area utara. Secara lebih rinci, Gambar 5 menunjukkan distribusi luas masing-masing tutupan lahan berdasarkan tiga algoritma

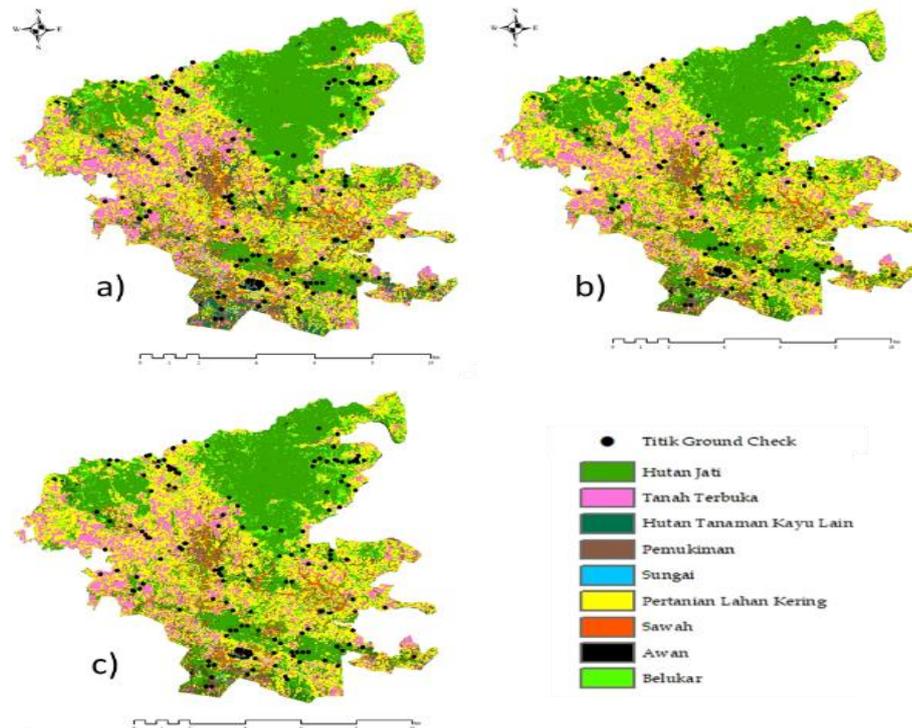
yang digunakan. Pada gambar tersebut tampak bahwa algoritma k-NN menunjukkan hasil luasan yang cukup berbeda dibandingkan algoritma lainnya, khususnya pada tutupan pertanian lahan kering dan tanah terbuka.



Gambar 5. Distribusi Luas Per Tutupan Lahan dari Tiga Jenis Algoritma yaitu RF, k-NN, dan SVM

Uji akurasi diperlukan untuk menentukan algoritma klasifikasi citra yang terbaik. Hasil perhitungan sampel yang diperlukan untuk

cek lapangan berdasarkan rumus multinomial adalah 140 sampel (Gambar 6).



Gambar 6. Lokasi titik cek lapangan pada hasil klasifikasi (a) RF, b) k-NN dan (c) SVM.

Hutan jati di KHDTK didominasi oleh tegakan umur muda sedangkan tanaman kayu lain terdiri dari mahoni dan kesambi yang belum dapat dibedakan pada penelitian ini. Kondisi tutupan belukar di lapangan berupa campuran antara belukar dan tanaman jati namun tanaman jati tersebut tampak bertumbuhan kurang. Tutupan yang terlihat mendominasi pada peta klasifikasi

adalah pertanian lahan kering dan tanah terbuka. Pertanian lahan kering merupakan area terbuka dalam kawasan hutan yang ditanami dengan jenis tanaman pertanian jagung oleh masyarakat sekitar hutan. Berbeda dengan pertanian lahan kering, tutupan sawah di KHDTK umumnya terletak pada area sungai yang tidak mengalir di musim kemarau.



Gambar 7. Contoh Lokasi Cek Lapangan di Delapan Jenis Tutupan Lahan.

Hasil cek lapangan digunakan sebagai dasar perhitungan uji akurasi klasifikasi

tutupan lahan yang terangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai uji akurasi masing-masing algoritma klasifikasi tutupan lahan.

Algoritma	Overall accuracy	Kappa Statistic
RF	79%	0,72
K-NN	69%	0,59
SVM	71%	0,59

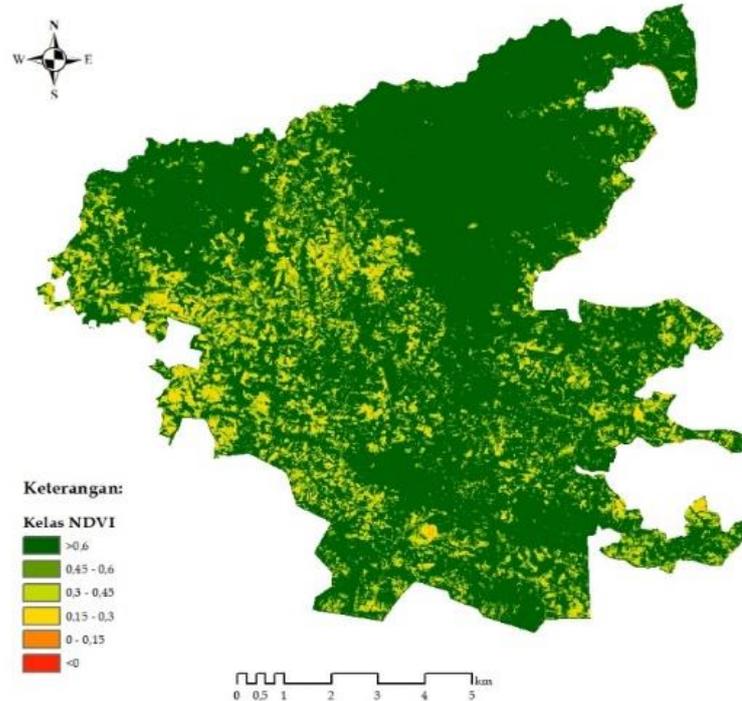
Proses perhitungan uji akurasi ini dapat diakses melalui link <https://tinyurl.com/errormatrix>. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi, algoritma RF tampak paling handal untuk memetakan

tutupan lahan di KHDTK Diklat UGM dibandingkan kedua algoritma lainnya. Nilai overall accuracy 79% mengindikasikan bahwa 79% klasifikasi citra sesuai dengan kondisi lapangan. Selain itu, nilai Kappa statistic 0,72

tersebut termasuk kategori baik (*Good*) menurut Richards (2013).

Klasifikasi Kerapatan Tegakan

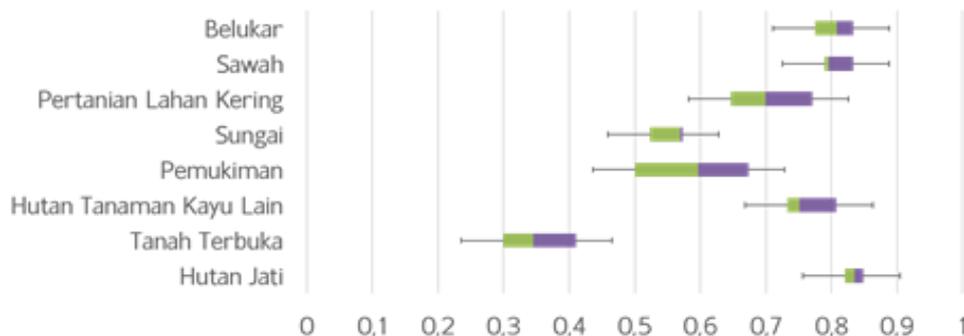
Algoritma NDVI juga dilakukan untuk melihat karakteristik spektral pada masing-masing kelas tutupan lahan. Hasil pemetaan nilai NDVI diklasifikasikan kembali menjadi 6 kelas (Zaitunah et al., 2018) seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil klasifikasi NDVI.

Sebaran nilai NDVI pada setiap tutupan lahan menunjukkan bahwa masing-masing kelas tutupan lahan memiliki rentang pantulan

spektral yang berbeda-beda, namun vegetasi yang termasuk dalam struktur hutan berada dalam rentang NDVI > 0,6 (Gambar 9).

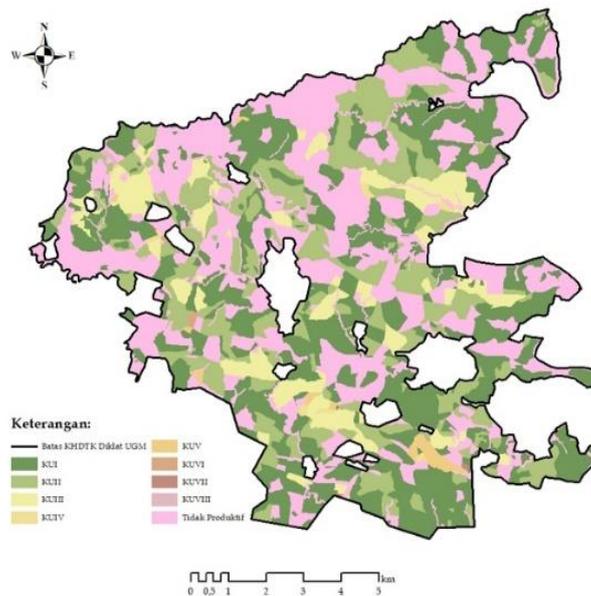


Gambar 9. Sebaran nilai spektral setiap tutupan lahan yang dilihat dengan grafik boxplot.

Sebaran Kelas Umur

Potensi volume tegakan pada penelitian ini dibatasi hanya pada jenis tanaman jati. Sebelum memetakan potensi volume tegakan, analisis tumpang susun (*overlay*) antara kelas tutupan hutan, kelas kerapatan vegetasi dengan parameter NDVI dan kelas umur tegakan dilakukan

untuk mengelompokkan tegakan yang memiliki karakteristik hampir seragam. Berdasarkan data risalah tahun 2018, sebaran kelas umur tegakan jati didominasi oleh kelas umur muda yaitu kelas umur (KU) I (1-10 tahun), II (11-20 tahun), dan III (21-30 tahun) (Gambar 10).



Gambar 10. Sebaran Kelas Umur Tegakan Jati.

Data inventarisasi tegakan yang digunakan untuk uji coba pemetaan potensi volume tegakan pada penelitian ini adalah hasil inventarisasi tegakan tahun 2017 yang dilakukan oleh pengelola KHDTK Diklat UGM. Metode plot ukur yang digunakan pada kegiatan tersebut mengacu pada desain plot ukur Perum Perhutani yaitu plot ukur lingkaran dengan luas 0,02 ha untuk tegakan

muda, 0,04 ha untuk tegakan sedang, dan 0,1 ha untuk tegakan tua (Simon, 2007). Jumlah plot ukur yang tersedia adalah 115 plot ukur yang tersebar dari tegakan jati muda hingga tua. Plot ukur tersebut dibagi menjadi plot ukur *training* untuk mengestimasi volume rerata tegakan (Tabel 9) dan plot ukur yang digunakan untuk validasi (Tabel 10).

Tabel 1. Nilai Volume Rerata Berdasarkan Plot Training

Kelas	Jumlah Plot	Volume Rerata	SD	SE
KUI-6-Jati	20	88.27	65.35	14.61
KUII-6-Jati	20	68.56	57.36	12.83
KUIII-6-Jati	60	60.47	51.55	6.66
KUIV-6-Jati	7	16.78	13.86	5.24
KUV-6-Jati	7	142.07	127.41	48.16
KUVI-6-Jati	-	-	-	-
KUVII-6-Jati	1	489.78	-	-
KUVIII-6-Jati	-	-	-	-

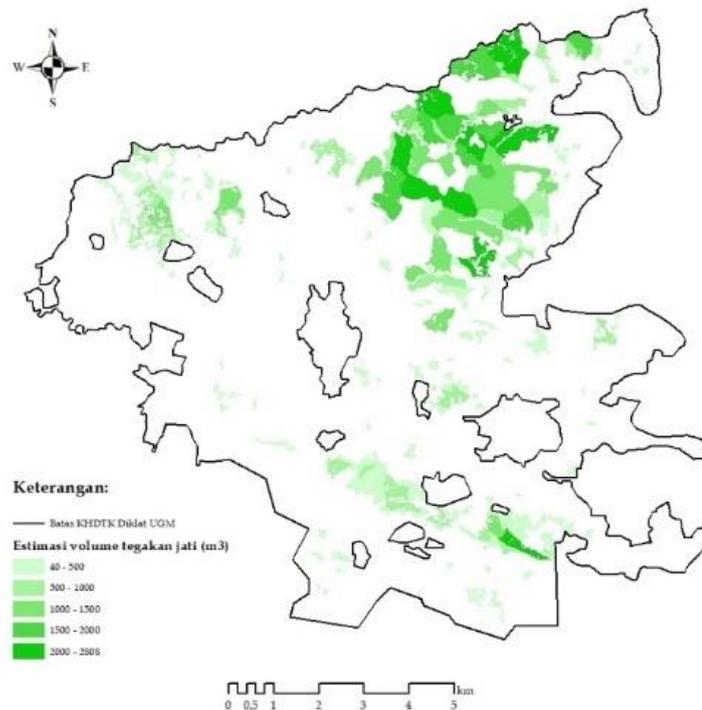
Tabel 2. Nilai Volume Rerata Berdasarkan Plot Validasi

Kelas	Jumlah Plot	Volume Rerata	SD	SE
KUI-6-Jati	12	67.30	38.23	11.04
KUII-6-Jati	12	51.26	56.75	16.38
KUIII-6-Jati	32	66.18	52.14	9.22
KUIV-6-Jati	-	-	-	-
KUV-6-Jati	3	199.58	166.15	95.93
KUVI-6-Jati	-	-	-	-
KUVII-6-Jati	-	-	-	-
KUVIII-6-Jati	-	-	-	-

Hasil estimasi volume tegakan menggunakan plot ukur *training* divalidasi oleh plot ukur validasi sehingga memperoleh nilai RMSE sebesar 177,8 m³ dan MAPE 21,9 m³. Berdasarkan hasil validasi ini, perlu penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dan memperkecil resiko ketidakpastian dalam estimasi volume tegakan menggunakan data citra satelit Sentinel-2, contohnya dengan menguji algoritma non parametrik seperti *Random Forest* atau KNN untuk mengestimasi volume

tegakannya.

Sebaran potensi volume tegakan jati di KHDTK Diklat UGM dapat dilihat pada Gambar 11. KHDTK Diklat UGM tampak memiliki potensi volume tegakan yang lebih tinggi pada bagian utara kawasannya dibandingkan areal lainnya. Kajian sosial politik lebih lanjut terkait temuan ini diperlukan mengingat lokasi KHDTK yang dikelilingi oleh pemukiman masyarakat.



Gambar 11. Sebaran Potensi Volume Tegakan Jati di KHDTK Diklat UGM.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa algoritma klasifikasi yang lebih baik dari tiga algoritma yang digunakan adalah Random Forest karena nilai overall accuracynya merupakan yang tertinggi yaitu 0,79 dengan kappa statistic 0,72. Nilai indeks vegetasi dengan persamaan NDVI pada masing-masing tutupan lahan menunjukkan rentang berbeda dengan kelas hutan berada pada nilai >0,6. Penelitian ini menunjukkan bahwa potensi volume tegakan di KHDTK Diklat UGM dapat dipetakan menggunakan data citra satelit Sentinel-2 dan algoritma Random Forest dengan nilai RMSE sebesar 177,8 m³ dan MAPE 21,9 m³.

Saran

Metode klasifikasi tutupan lahan dengan citra satelit Sentinel dan algoritma machine learning perlu terus dikembangkan dalam pengelolaan hutan, khususnya untuk meningkatkan akurasi dan meminimalisasi ketidakpastian dalam estimasi potensi tegakan. Salah satu cara untuk meningkatkan hasil klasifikasi adalah dengan metode upscaling atau memadukan data citra satelit resolusi sedang dengan citra penginderaan jauh resolusi tinggi atau sangat tinggi seperti data UAV atau point cloud LIDAR

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Kehutanan UGM yang telah mendukung penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Junior tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

Afgatiani, P.M., Suhadha, A., Sura, A.H., Dendang, B., Hikmahwan, W.N., & Mangiri, T.M. (2021, November). Deteksi hutan bakau dengan Sentinel-2 di Desa Labuan, Poso, Sulawesi Tengah. *Inderaja Majalah Ilmiah Semi Populer XII* (14). Diakses dari <https://www.researchgate.net/profile/Pin>

[gkan-Mayestika-Afgatiani/publication/](#)

Askar, Nuthammachot, N., Phairuang, W., Wicaksono, P., & Sayektiningsih, T. (2018). Estimating above ground biomass on private forest using Sentinel 2 Imagery. *Journal of Sensors*, <https://doi.org/10.1155/2018/6745629>.

Chrysafis, I., Mallinis, G., Siachalou, S., & Patias, P. (2017). Assessing the relationships between growing stock volume and Sentinel-2 imagery in a Mediterranean forest ecosystem. *Remote Sensing Letter* 8 (6), 508-517. <http://dx.doi.org/10.1080/2150704X.2017.1295479>.

Congalton, R.G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices, Third Edition*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

European Space Agency. (2012). *Sentinel-2, ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. Noordwijk: ESA Communications.

Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing* 8 (166), doi:10.3390/rs8030166.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., & Chipman, J.W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. USA: John Wiley & Sons Inc., 6 editions.

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28 (5), 823-870, DOI: 10.1080/01431160600746456.

Margono, B.A., Usman, A.B., Budiharto, & Sugardiman, R.A. (2016). Indonesia's Forest Resource Monitoring. *Indonesian Journal of Geography* 48 (1), <https://doi.org/10.22146/ijg.12496>.

Muhsoni, F.F., Sambah, A.B., Mahmudi, M., & Wiadnya, D.G.R. (2018). Estimation of mangrove carbon stock with hybrid method using image Sentinel-2. *Internasional Journal of GEOMATE* 15 (49), 185-192, <https://doi.org/10.21660/2018.49.52661>

Noi, P.T. & Kappas, M. (2018). Comparison of

- Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors* 18 (18), doi:10.3390/s18010018. www.mdpi.com/journal/sensors. Diunduh tanggal: 7 Maret 2019.
- Puliti, S., Saarela, S., Gobakken, T., Stahl, G., & Naesset, E. (2018). Combining UAV and Sentinel-2 auxiliary data for forest growing stock volume estimation through hierarchical model-based inference. *Remote Sensing of Environment* 204, 485–497. www.elsevier.com/locate/rse. Diunduh tanggal: 7 Maret 2019.
- Simon, H. (2007). *Metode Inventore Hutan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Simon, H. (2000). *Hutan Jati dan Kemakmuran: Problematika dan Strategi Pemecahannya*. Bigraf Publishing. Yogyakarta.
- Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 72, 122-130. www.elsevier.com/locate/jag. Diunduh tanggal: 7 Maret 2019.
- Waru, A.T., Bayanuddin, A.A., Nugroho, F.S., Rukminasari, N. (2021). Analisis temporal perubahan hutan mangrove menggunakan citra satelit Sentinel-2. *Seminar Nasional Geomatika*. DOI: 10.24895/SNG.2020.0-0.1193.
- Zaitunah, A., Samsuri, Ahmad, A.G. & Safitri, R.A. (2018). Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* 126.