



AGROMIX

Jurnal Ilmiah Fakultas Pertanian, Universitas Yudharta Pasuruan
 pISSN (Print): 2085-241X; eISSN (Online): 2599-3003
 Website: <https://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/agromix>

Pendugaan produksi kopi berbasis parameter tanaman dan penginderaan jauh di kebun kopi rakyat Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

Estimation of coffee production based on plant parameters and remote sensing in community coffee plantations, Wajak District, Malang

Dinna Hadi Sholikhah^{1*}, Kurniawan Sigit Wicaksono¹, Soemarno¹

¹ Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air, Program Pascasarjana, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

*Email korespondensi: dinnahs@student.ub.ac.id

ABSTRACT

Article history

Received : December 20, 2022

Accepted : March 20, 2023

Published : March 25, 2023

Keyword

Coffee plants; coffee production model; crop parameters; NDVI

Introduction: Wajak Subdistrict has a diverse agricultural sector, especially developing coffee plants. Therefore, it is necessary to analyze the potential of coffee production in the people's coffee plantations of Wajak District to evaluate the sustainability of coffee development. This study aims to analyze the estimation model of coffee production based on plant parameters and NDVI. **Method:** The research was conducted on the community coffee plantation land of Wajak District, Malang Regency, from July to October 2022. The method of determining the point is stratified random sampling, with strata in the form of the age of productive coffee plants, a land area of >0.5 ha, and easy accessibility. 33 observation points, of which 25% are used for model validation. The area of the coffee field observation is 10 m × 10 m. Plant parameter data in the form of stem diameter, canopy diameter, number and length of productive branches, leaf area index, and total chlorophyll. Remote sensing parameter data is a spectral transformation of Sentinel 2A imagery into NDVI. Variable data is bound in the form of coffee production. **Result:** Coffee production in Wajak District ranges from 0.32 to 2.57 tons/ha. Plant parameter-based production modeling and NDVI to coffee production have a significant relationship, having correlation coefficients of 0.86 and 0.77, respectively. All plant parameters used in the preparation of the model have a significant relationship to the estimation of coffee production. NDVI-based production model in the form of $\hat{Y} = 0.0053e^{7.003NDVI}$ ($R^2=0.778$; $p<0.05$). NDVI has an estimated effect on coffee production of 77.87%. All models compiled have feasibility that is classified as good forecasting. **Conclusion:** Coffee production in Wajak District can be analyzed using 2 methods based on plant parameters and NDVI.

ABSTRAK

Riwayat artikel

Dikirim : 20 Desember 2022

Disetujui : 20 Maret, 2023

Diterbitkan : 25 Maret, 2023

Kata Kunci

Tanaman kopi; model produksi kopi; parameter tanaman; NDVI

Pendahuluan: Kecamatan Wajak memiliki sektor pertanian yang beragam, khususnya sedang mengembangkan tanaman kopi. Oleh sebab itu, perlu analisis potensi produksi kopi di kebun kopi rakyat Kecamatan Wajak guna mengevaluasi keberlanjutan pengembangan kopi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model pendugaan produksi kopi berbasis parameter tanaman dan NDVI. **Metode:** Penelitian dilakukan di lahan kebun kopi rakyat Kecamatan Wajak Kabupaten Malang, dari bulan Juli hingga Oktober 2022. Metode penentuan titik berupa stratified random sampling, dengan strata berupa umur tanaman kopi produktif, luas lahan >0,5 ha, dan aksesibilitas mudah. Titik pengamatan sebanyak 33 titik, di mana 25% titiknya digunakan untuk validasi model. Luas plot pengamatan lahan kopi sebesar 10 m × 10 m. Data parameter tanaman berupa diameter batang, diameter kanopi, jumlah dan panjang cabang produktif, leaf area index, total klorofil. Data parameter penginderaan jauh berupa transformasi spektral citra Sentinel 2A menjadi NDVI. Data variabel terikat berupa produksi kopi. **Hasil:** Produksi kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 0,32 hingga 2,57 ton/ha. Pemodelan produksi berbasis parameter tanaman dan NDVI terhadap produksi kopi memiliki hubungan yang signifikan, masing-masing memiliki koefisien korelasi sebesar 0,86 dan 0,77. Semua parameter tanaman yang digunakan dalam penyusunan model memiliki hubungan yang signifikan terhadap pendugaan produksi kopi. Model produksi berbasis NDVI berupa $\hat{Y} = 0.0053e^{7.003NDVI}$ ($R^2=0.778$; $p<0.05$). NDVI memiliki pengaruh pendugaan produksi kopi sebesar 77,87%. Semua model yang disusun memiliki kelayakan yang tergolong good forecasting. **Kesimpulan:** Produksi kopi di Kecamatan Wajak dapat dianalisis menggunakan 2 metode yaitu berbasis parameter tanaman dan NDVI.

Sitasi: Sholikhah, D. H., Sigit Wicaksono, K., & Soemarno. (2023). Pendugaan produksi kopi berbasis parameter tanaman dan penginderaan jauh di kebun kopi rakyat Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang. *Agromix*, 14(1), 114-124. <https://doi.org/10.35891/agx.v14i1.3584>

PENDAHULUAN

Kecamatan Wajak merupakan salah satu prioritas kecamatan untuk pengembangan kopi di Kabupaten Malang. Namun saat ini rerata produktivitas kopi di Kecamatan Wajak masih rendah. Hal ini ditunjukkan dengan data produktivitas kopi pada tahun 2019 hingga 2020 terdapat penurunan produksi kopi dari 47 ton hingga 38 ton (penurunan sebesar 23%) (Badan Pusat Statistik, 2020). Salah satu faktor yang menyebabkan produksi kopi rendah berupa kondisi lahan berupa tekstur tanah dominan berpasir dan kesuburan tanah rendah (hasil analisis contoh tanah (2022), Irawan dkk. (2020)), serta fisiografi tingkat lereng agak curam hingga curam (>25%).

Berdasarkan kondisi lahan tersebut, perlu adanya kajian terkait informasi mengenai potensi pengembangan kopi di Kecamatan Wajak. Saat ini petani di Kecamatan Wajak sedang membudidayakan tanaman kopi, oleh sebab itu perlu dilakukan analisis produksi kopi di Kecamatan Wajak. Biasanya penentuan produksi kopi dilakukan dengan menunggu waktu panen kopi, namun membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan data produksinya. Oleh karena itu perlu adanya pemodelan produksi kopi berbasis parameter tanaman dan penginderaan jauh untuk memprediksi potensi produksi kopi dalam jangka panjang.

Pendugaan produksi kopi dapat dilakukan berdasarkan beberapa metode yaitu berbasis terestrial dan penginderaan jauh. Metode terestrial meliputi pengukuran parameter tanaman kopi secara langsung di lapangan, sehingga membutuhkan waktu dan tenaga untuk mendapatkan data parameter tersebut. Parameter tanaman yang digunakan berbasis parameter tajuk tanaman yang mendukung potensi produksi buah kopi meliputi data batang (Najih dkk., 2021), diameter kanopi (Sadono, 2018), jumlah dan cabang produktif (Wilujeng dkk., 2021), *leaf area index* (Barbosa dkk., 2021), dan kandungan klorofil (Musaffa, 2021). Pemanfaatan data parameter tajuk tanaman untuk menganalisis potensi produksi dalam jangka panjang berbasis data pertumbuhan tanaman secara aktual di lapangan.

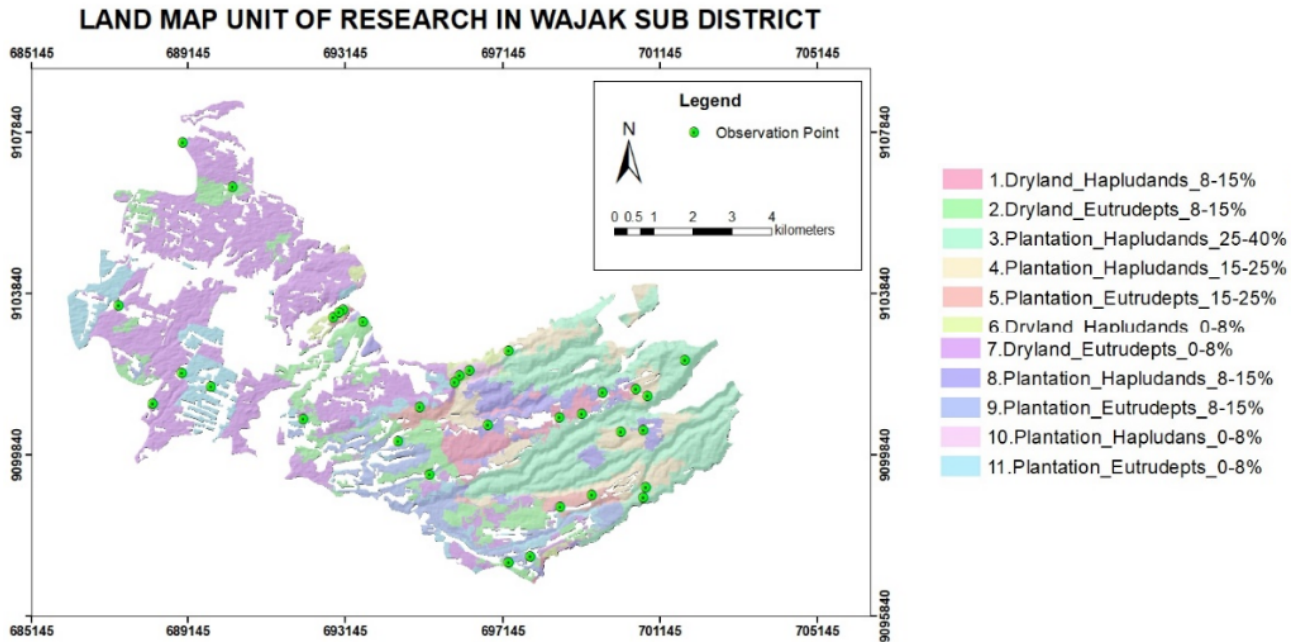
Pendugaan produksi kopi berbasis penginderaan jauh yang memanfaatkan data citra satelit merupakan salah satu metode analisis produksi secara cepat tanpa kontak langsung ke lapangan. Saat ini telah berkembang citra satelit dengan resolusi tinggi, baik temporal, spektral, maupun spasial salah satunya citra Sentinel 2A. Citra Sentinel 2A dapat diolah dengan melakukan transformasi data digital number dari citra ke dalam bentuk indeks vegetasi, salah satunya NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Citra Sentinel 2A memiliki sensor IR (*InfraRed*) dan RGB (*Red, Green, dan Blue*), karena kedua sensor ini peka terhadap kenampakan vegetasi (Drusch dkk., 2012). NDVI berhubungan dengan biomassa basah, kandungan dan pigmen tanaman, serta analisis kadar air tanaman ((Herrmann et al., 2011)). Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Aziz & Santosa (2019) yang memanfaatkan transformasi spektral berupa NDVI dari citra Sentinel 2A untuk menduga produksi tanaman kopi di Wilayah Temanggung. NDVI mampu memberikan pengaruh dalam menduga produksi kopi sebesar 70,08%. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk pemodelan indeks produksi untuk mengestimasi produksi kopi secara berkelanjutan. Penelitian saat ini membuat model pendugaan produksi tanaman kopi berdasarkan hubungannya dengan NDVI dan indeks produktivitas tanaman kopi sesuai parameter pertumbuhan tanaman kopi. Sehingga pendugaan produksi kopi dapat dilakukan secara terestrial dan penginderaan jauh diharapkan saling melengkapi untuk penyusunan model pendugaan produksi kopi.

Penelitian bertujuan untuk menganalisis potensi produksi kopi di Kecamatan Wajak. Selain itu, mengevaluasi kelayakan model yang disusun berbasis data parameter pertumbuhan tanaman dan penginderaan jauh dalam menduga potensi produksi kopi di Kecamatan Wajak. Pengujian 2 metode pemodelan dilakukan untuk melengkapi kekurangan masing-masing model yang digunakan.

METODE

Penelitian dilakukan di lahan kebun kopi rakyat Kecamatan Wajak Kabupaten Malang, hal ini disebabkan rerata produksi kopi tergolong rendah (... ton/ha) dan beragam secara spasial. Penelitian dilakukan pada bulan Juli hingga Oktober 2022. Inventarisasi data parameter tanaman dilakukan secara langsung di lahan kebun kopi rakyat. Metode survei yang digunakan berupa metode grid bebas serta penentuan area survei berdasarkan batas satuan peta (Rayaes, 2007). Satuan peta lahan diperoleh berdasarkan karakteristik penggunaan lahan, jenis tanah, dan lereng yang sama. Terdapat 11 SPL dengan 3 ulangan, sehingga terdapat 33 titik sampel penelitian yang disajikan dalam Gambar 1. Titik pengamatan dibedakan untuk pengolahan data model dan validasi, di mana 25% titik digunakan untuk validasi model yang telah disusun (Anderson dkk., 2017). Penentuan titik sampel menggunakan metode *stratified random sampling* (Bhardwaj, 2019). Strata yang digunakan berupa umur tanaman kopi yang masih produktif ± 10 tahun (Pamoniara, 2013), luas lahan > 0,5 Ha (Rayaes, 2007) dan lokasi mudah dijangkau (Larasati & Rahadian, 2016). Luas plot pengamatan lahan kopi sesuai dengan ukuran pixel dalam citra Sentinel 2A yang digunakan yaitu 10 m \times 10 m (McCoy, 2005; Aziz & Santosa, 2019). Kategori tanaman yang dipilih dalam plot pengamatan yaitu yang memiliki pertumbuhan seragam. Variabel pengamatan disajikan dalam Tabel 1, di mana produksi kopi menjadi variabel terikat, variabel bebas berupa diameter batang, diameter kanopi, jumlah dan panjang cabang produktif, *leaf area index*, total klorofil, dan NDVI. Produksi kopi diambil pada bulan Juli 2022, dalam 1 musim panen selama 1 tahun. Data citra Sentinel 2A diunduh pada tanggal 22 Juli 2022, tepatnya pada bulan kering.

Analisis statistik menggunakan uji korelasi dan uji regresi (Brook & Arnold, 2018), uji t 2 sampel berpasangan (Mishra dkk., 2019), dan uji mean absolute percentage error (Khair dkk., 2017). Analisis statistik menggunakan R Studio (Horton & Kleinman, 2015) dan analisis spasial menggunakan ArcGIS 10.8 (Tegegne dkk., 2019). Pemodelan produksi berbasis parameter tanaman menerapkan metode CRISP-DM (Khumaidi, 2020) menggunakan regresi multilinier. Sedangkan pemodelan produksi berbasis Normalized Difference Vegetation Index yang memanfaatkan panjang gelombang near infrared (λ NIR) dan red (λ R) menggunakan metode Aziz & Santosa (2019) menggunakan regresi linier.



Gambar 1. Gambar SEQ Gambar * ARABIC 1. Satuan Peta Lahan Penelitian di Kecamatan Wajak

Tabel 1. Variabel pengamatan dalam penelitian

No.	Variabel	Metode	Rumus	Satuan	Reference
Parameter Produksi Kopi					
1	Diameter batang		-	m	(Najih dkk., 2021)
2	Diameter kanopi		-	m	(Sadono, 2018)
3	Jumlah cabang produktif		-	cabang	(Wilujeng dkk., 2021)
4	Panjang cabang produktif		-	cm	(2021)
5	Leaf area index	Pengukuran langsung di lapangan	$0,0134 + 0,7276 \times D^2 \times H$ D= diameter kanopi H = tinggi tanaman (m)	m ²	(Barbosa dkk., 2021)
6	Kandungan klorofil			$\mu\text{mol/ m}^2$	(Musaffa, 2021)
7	Produksi kopi		-	Ton/ha	
Indeks Vegetasi					
1	Normalized Difference Vegetation Index	Transformasi spektral citra Sentinel 2A	$\frac{(\lambda\text{NIR}-\lambda\text{R})}{(\lambda\text{NIR}+\lambda\text{R})}$	-	(Rouse Jr dkk., 1974)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter produksi tanaman kopi

Parameter tanaman yang digunakan untuk menentukan produksi kopi terdiri dari diameter batang, diameter kanopi, jumlah dan panjang cabang produktif, *leaf area index*, dan total klorofil. Parameter tanaman yang digunakan mencerminkan kondisi pertumbuhan tanaman kopi. Data parameter tanaman yang diambil pada 3 titik dalam 1 SPL memiliki sebaran yang relatif seragam. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dalam 1 SPL relatif seragam (jenis tanah, lereng, dan penggunaan lahan dianggap homogen), serta pengelolaan kopi (varietas yang digunakan berupa kopi robusta, pohon naungan yang digunakan berupa pohon mahoni dan lamtoro, pemangkasan kopi, dan tidak dilakukan pemupukan maupun pengendalian hama dan penyakit tanaman) dalam 1 SPL tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Adapun data pertumbuhan tanaman kopi masing-masing SPL disajikan dalam Gambar 2.

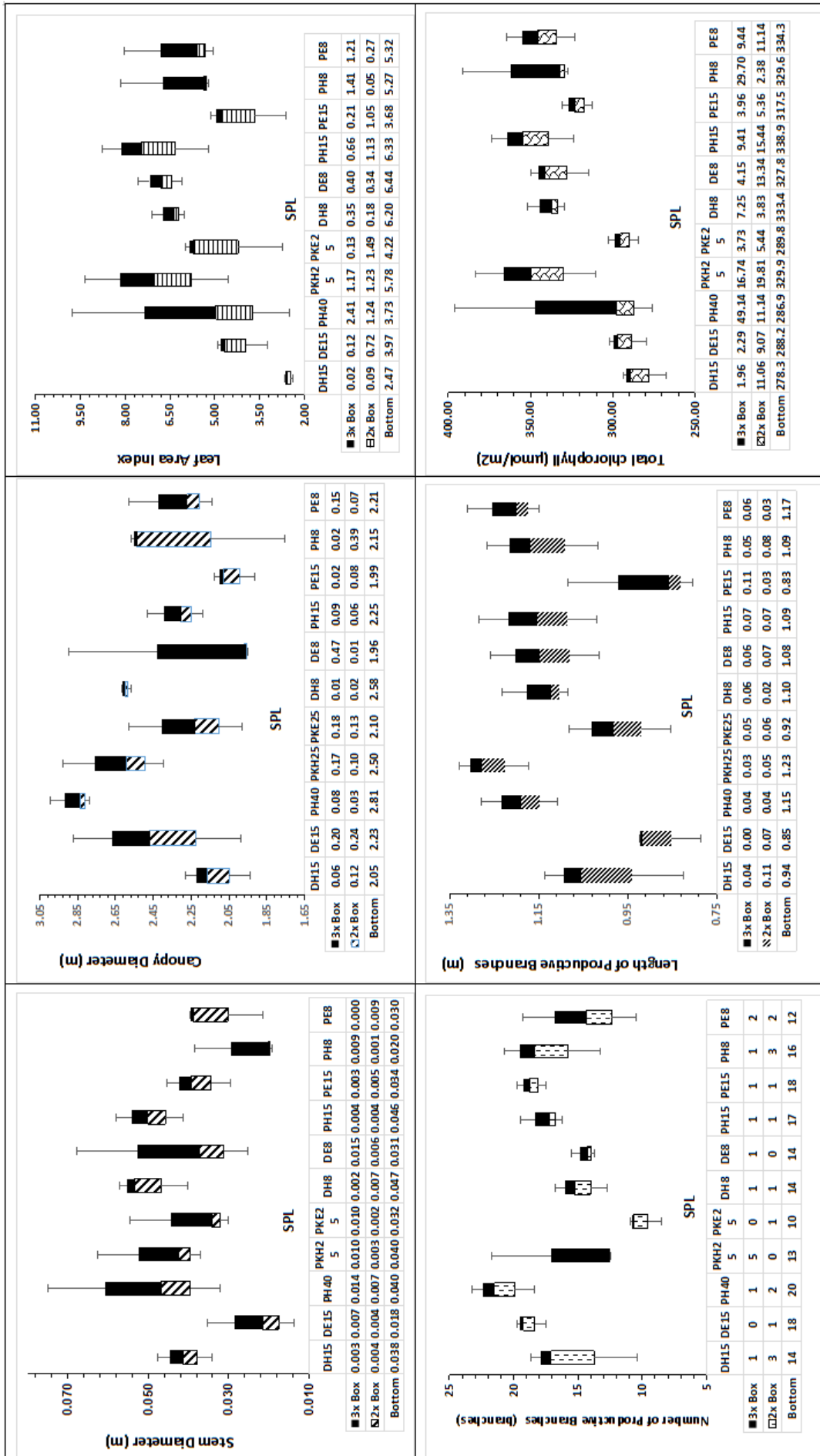
Diameter batang tanaman kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 0.01 hingga 0.07 m. Adanya perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor umur tanaman (3 hingga 10 tahun), serta kesuburan tanah berbeda (sangat rendah hingga sedang). Escobar dkk. (2019) menyebutkan bahwa adanya perbedaan ukuran diameter batang tanaman kopi dipengaruhi oleh perbedaan garis lintang dan ketinggian tempat mampu mempengaruhi variasi iklim, hal ini akan menyebabkan adanya perbedaan respon fenologi dan kecepatan pertumbuhan tanaman. Diameter batang dapat mempengaruhi tingkat produktivitas tanaman kopi, sebab memiliki hubungan yang signifikan terhadap cabang produktif (Wardiana & Pranowo, 2014).

Diameter kanopi tanaman kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 1.76 hingga 2.99 m. Perbedaan diameter kanopi pada masing-masing lahan dipengaruhi oleh umur tanaman kopi (3-10 tahun), jarak tanam (1.5-3 m), kerapatan pohon naungan yang terdapat pada tanaman kopi (6 hingga 14 pohon/ 100 m²). Sobari dkk. (2012) menjelaskan bahwa diameter kanopi sangat dipengaruhi oleh pohon penayang tanaman kopi. Jenis tanaman penayang yang mempengaruhi besarnya kanopi tanaman sejenis pohon penayang *gliricidia*, sebab intensitas cahaya yang masuk ke area tanaman kopi optimal (34%) untuk mendukung proses fisiologis tanaman kopi. Purba & Toekidjo (2013) menjelaskan bahwa semakin lebar diameter kanopi tanaman, maka jangkauan akar dalam memperoleh nutrisi maupun air juga semakin luas, sehingga proses fotosintesis lebih maksimal serta mampu meningkatkan pembentukan bunga dan buah kopi.

Panjang cabang produktif tanaman kopi di Kecamatan Wajak berkisar 0.79 hingga 1.33 m, sedangkan jumlah cabang produktifnya berkisar 9 hingga 23 cabang. Perbedaan jumlah dan panjang tanaman kopi juga dipengaruhi oleh umur tanaman kopi (3-10 tahun), jarak tanam (1.5-3 m), kerapatan pohon naungan yang terdapat pada tanaman kopi (6 hingga 14 pohon/ 100 m²). Rizki dkk. (2020) menjelaskan bahwa cabang produktif berhubungan erat terhadap produksi kopi, hal ini disebabkan oleh banyaknya cabang produktif akan mempengaruhi jumlah produksi ($r=0.93$) yang dihasilkan dalam 1 pohon. Sianturi & Wachjar (2016) juga menjelaskan bahwa cabang produktif pada tanaman kopi menentukan produksi tanaman, semakin banyak jumlah cabang produktif maka berpeluang mendapatkan produksi yang banyak. Sarmiento-Soler dkk. (2020) menjelaskan bahwa banyaknya cabang produktif tanaman kopi mampu menentukan hasil ceri buah kopi per pohon serta memiliki korelasi dengan arah positif antara cabang produktif dan ceri kopi yang dihasilkan.

Leaf area index tanaman kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 2.38 hingga 2.79. Perbedaan nilai LAI juga dipengaruhi oleh umur tanaman kopi (3-10 tahun), jarak tanam (1.5-3 m), kerapatan pohon naungan yang terdapat pada tanaman kopi (6 hingga 14 pohon/ 100 m²). LAI menunjukkan luas area daun suatu tanaman dengan mempertimbangkan tinggi dan diameter kanopi tanaman kopi. LAI mampu memberikan gambaran perubahan fisiologis tanaman berdasarkan kondisi kanopi yang berhubungan dengan hasil panen kopi. Nilai LAI bervariasi ditentukan dari pengelolaan tanaman, sehingga dapat mempengaruhi volume daun (Barbosa dkk., 2021).

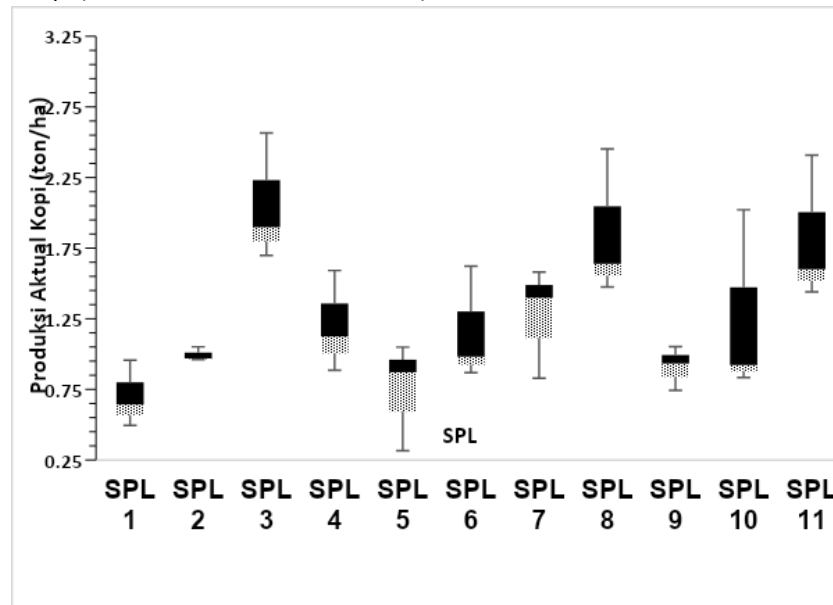
Total klorofil tanaman kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 267.33 hingga 396.33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Perbedaan total klorofil tanaman kopi dipengaruhi oleh pohon naungan. Kandungan klorofil tanaman yang tinggi ditunjukkan dengan nilai kandungan klorofil yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan intensitas cahaya yang dipengaruhi oleh kerapatan pohon naungan maupun naungan antar daun tersebut (*self shading*) (Silva Neto dkk., 2019). Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa kandungan total klorofil berhubungan positif dan signifikan terhadap hasil panen kopi robusta. Hal ini disebabkan klorofil bermanfaat menangkap cahaya matahari untuk fotosintesis (Rizki dkk., 2020)



Gambar 2. Data parameter tanaman

Hasil produksi kopi

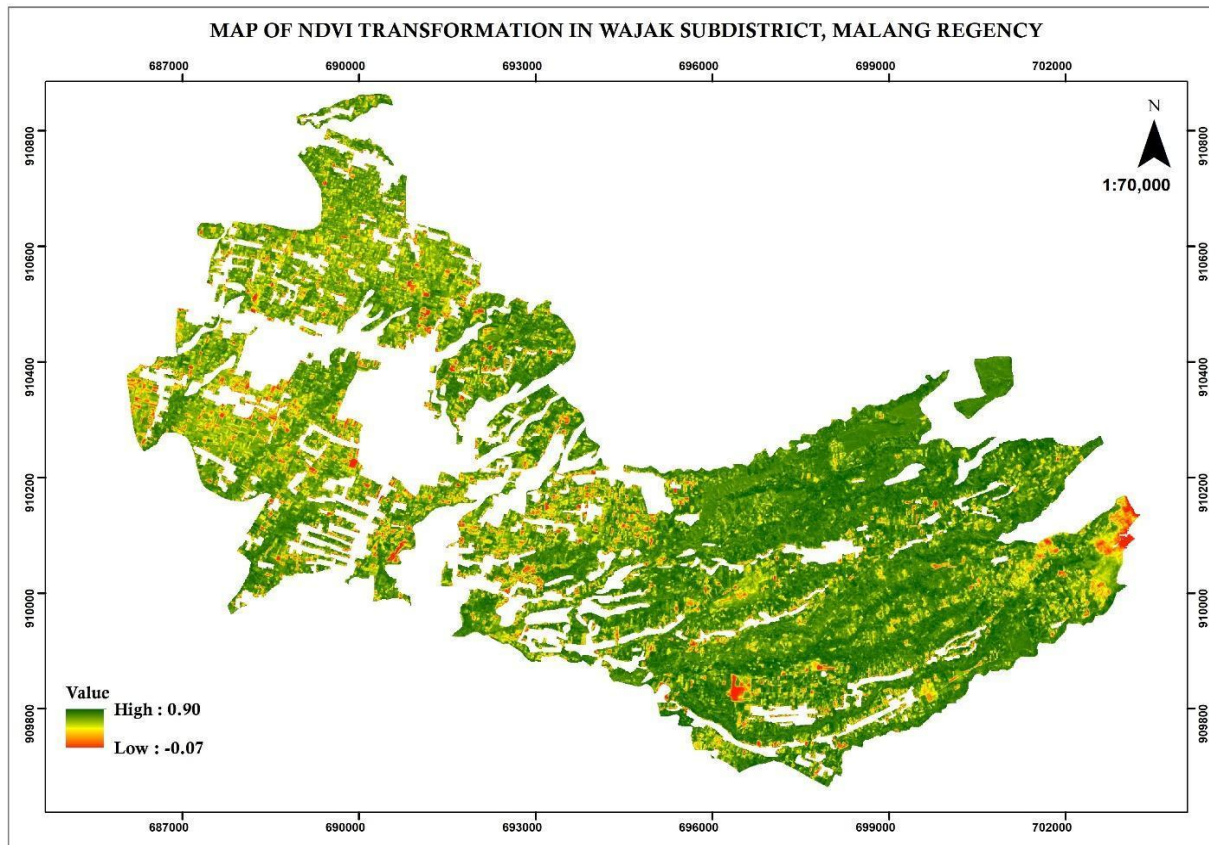
Produksi kopi diperoleh dengan mengambil biji kopi yang sudah tua pada masing-masing pohon dalam 1 titik pengamatan. Produksi kopi antar SPL memiliki perbedaan yang signifikan yang ditunjukkan adanya grafik *box plot* relatif beragam antar SPL-nya. Rerata produksi yang paling rendah di SPL 5 sedangkan yang paling tinggi di SPL 3. Perbedaan keragaman tanaman kopi dipengaruhi oleh umur tanaman kopi (3-10 tahun), jarak tanam (2-3 m) dan kerapatan pohon naungan yang berpengaruh terhadap intensitas serapan cahaya matahari Namun dalam 1 SPL nilai produksi kopi relatif seragam. Perbedaan produksi kopi antar SPL dipengaruhi oleh pengelolaan lahan dan budidaya tanaman kopi. Produksi kopi yang paling tinggi terdapat pada SPL 3, sebab pada SPL ini kesuburan tanah dan kerapatan pohon naungan <15%. Hal ini ditunjukkan oleh data analisis kejenuhan basa dengan kandungan 14.90% hingga 23.30%, dan kandungan bahan organik di SPL 3 sebesar 0.91 hingga 1.69%. Adapun jumlah hasil produksi aktual kopi di setiap SPL disajikan dalam Gambar 3. Sebaran nilai produksi kopi di Kecamatan Wajak sebesar 0.32 hingga 2.57 ton/ha. Adanya perbedaan produksi kopi dipengaruhi oleh kondisi lahan tanaman kopi berupa kesuburan tanah (Tassew dkk., 2021), dan tutupan kanopi (Etafa, 2022; Valente dkk., 2022).



Gambar 3. Hasil produksi kopi (ton/ha)

Sebaran nilai NDVI

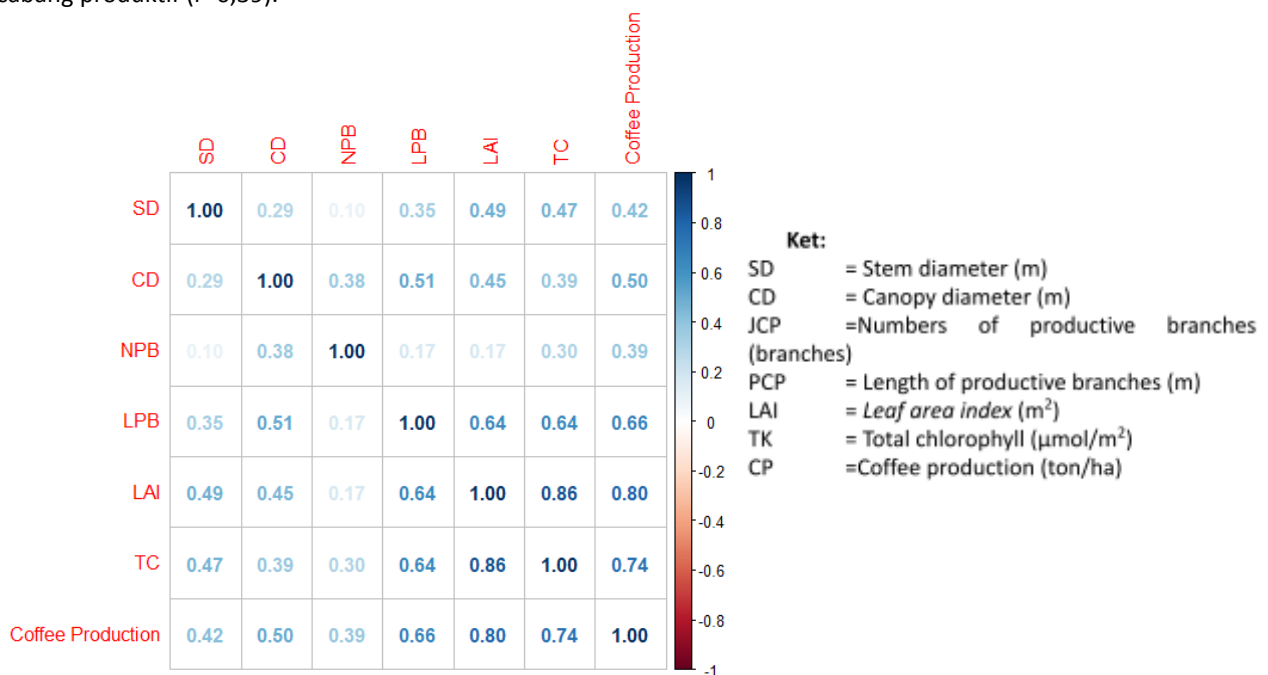
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan indeks vegetasi yang berhubungan dengan biomassa tanaman, kandungan klorofil, serta kandungan kadar air tanaman. Rentang nilai NDVI yaitu -1 hingga 1, di mana semakin mendekati nilai 1 maka tingkat kehijauan semakin tinggi, sedangkan nilai negatif menunjukkan awan, air, dan salju, sedangkan nilai mendekati nol berupa batu dan tanah kosong (Fall dkk., 2021). Kisaran nilai NDVI di Kecamatan Wajak berturut-turut sebesar -0,07 hingga 0,90. Sebaran nilai NDVI di Kecamatan Wajak disajikan dalam Gambar 4. Sebaran nilai NDVI sangat berpengaruh terhadap waktu pengunduhan citra. Bernardes dkk. (2012) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa waktu yang baik untuk pengunduhan citra di bulan Agustus atau September dengan kondisi tutupan awan sedikit. Analisis citra Sentinel 2A yang diolah ke dalam NDVI diunduh tanggal 22 Juli 2022, dengan kualitas citra tidak banyak tertutup oleh awan. Putra dkk. (2021) menjelaskan bahwa indeks vegetasi (khususnya Normalized Difference Vegetation Index) merupakan transformasi indeks terbaik untuk menduga produksi tanaman menggunakan analisis regresi. Farooq (2012) juga menjelaskan bahwa pemanfaatan NDVI mampu memberikan pengaruh yang tinggi dalam menganalisis biomassa tanaman.



Gambar 4. Peta transformasi NDVI

Modelling produksi kopi berbasis parameter tanaman

Modelling produksi kopi berbasis parameter pertumbuhan tanaman kopi menggunakan metode CRISP-DM (Khumaidi, 2020). Hal ini disebabkan produksi kopi berbasis parameter pertumbuhan tanaman memiliki hubungan tanaman merupakan hubungan positif antara produksi dengan parameter tanaman kopi (Gambar 5). Semua parameter berhubungan dengan produksi tanaman kopi ($p(v) > 0,05$; r tabel = 0,34), namun hubungan yang paling signifikan ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (r) pada parameter leaf area index ($r = 0,80$), kemudian diikuti oleh total klorofil ($r = 0,74$), panjang cabang produktif ($r = 0,66$), diameter kanopi ($r = 0,50$), diameter batang ($r = 0,42$), dan jumlah cabang produktif ($r = 0,39$).



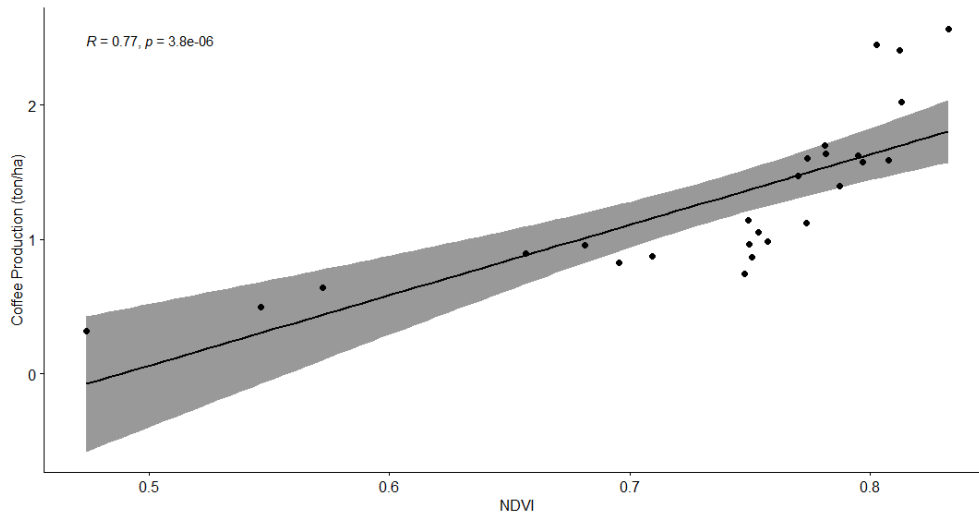
Gambar 5. Grafik korelasi data parameter tanaman dengan produksi aktual kopi

Formula pendugaan produksi berbasis parameter tanaman menggunakan metode multilinear regresi (Khumaidi, 2020). Berdasarkan analisis nilai t Stat dalam analisis regresi berganda, maka dapat diketahui bahwa besarnya pengaruh parameter tanaman dengan produksi kopi dapat diurutkan sebagai berikut : *leaf area index* > jumlah cabang produktif > panjang cabang produktif > total klorofil > diameter kanopi > diameter batang. Adapun formula produksi kopi berbasis parameter pertumbuhan tanaman berupa :

$\hat{Y} = (0.163 \times LAI) + (0.035 \times NPB) + (0.792 \times LPB) + (0.974 \times SD) + (0.032 \times CD) - (0.0002 \times TC) - 1.135$ ($R^2 = 0.815$; $p < 0.05$), \hat{Y} merupakan potensi produksi kopi berbasis parameter tanaman (ton/ha).

Modelling produksi kopi berbasis NDVI

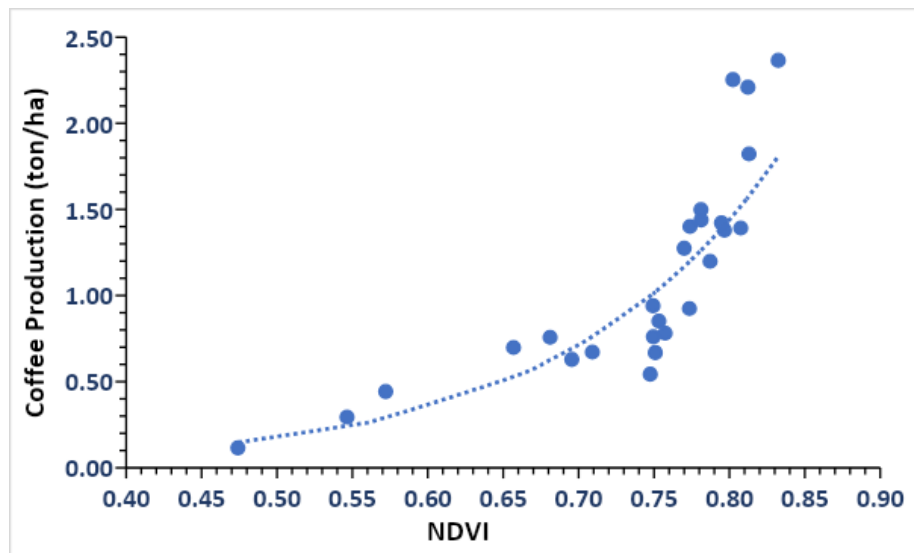
Analisis korelasi antara NDVI dengan produksi kopi menunjukkan hubungan yang signifikan (r hitung > r tabel; p (value) < 0.05). Hasil uji korelasi mendapatkan koefisien korelasi (r) dan arah hubungannya. Arah hubungan bernilai positif yang menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai NDVI maka produksi kopi juga meningkat, demikian juga apabila nilai NDVI yang rendah maka produksi kopi juga rendah. Hasil uji korelasi disajikan dalam Gambar 6.



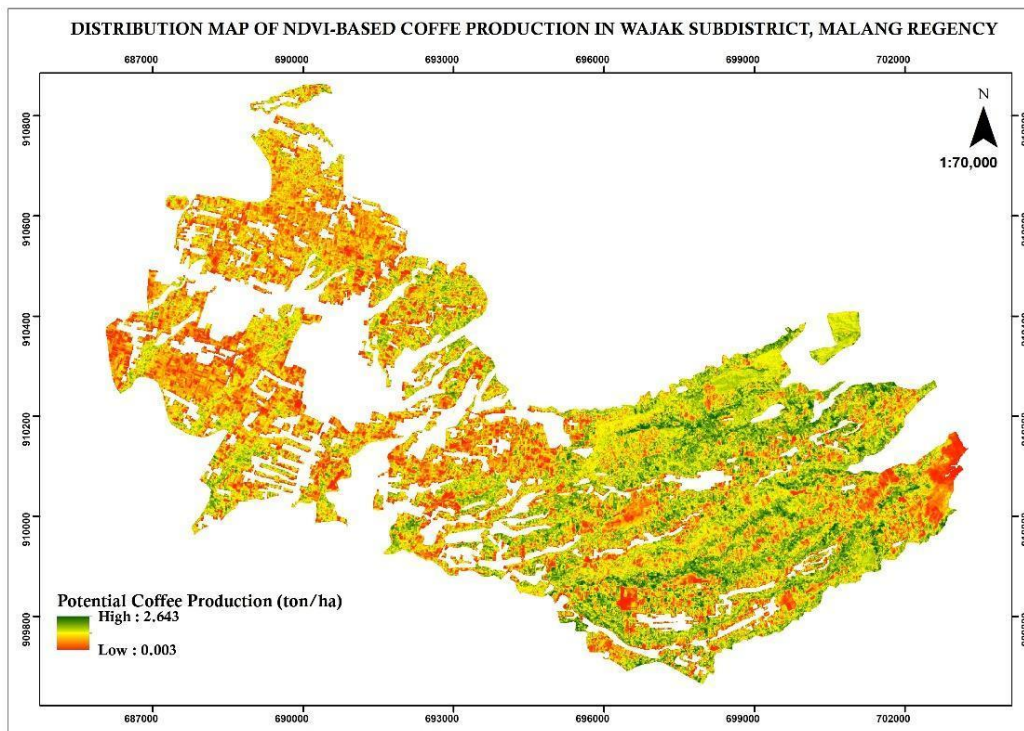
Gambar 6. Hasil uji korelasi NDVI dengan produksi kopi (ton/ha)

Modelling produksi kopi berbasis NDVI menggunakan metode regresi eksponensial. Hasil analisis regresi disajikan pada Gambar 7 untuk mengetahui pengaruh NDVI dengan produksi kopi. Hasil uji regresi mendapatkan koefisien determinasi (R^2), signifikansi dan formula regresi. Koefisien determinasi menunjukkan besarnya persentase pengaruh NDVI terhadap produksi kopi. Signifikansi menunjukkan nyata atau tidaknya nilai yang dihasilkan, hal ini dibandingkan dengan nilai p (value) < 0,05. Hasil koefisien determinasi menunjukkan nilai $R^2 = 0.7787$, hal ini menunjukkan bahwa 77.87% model produksi dipengaruhi oleh NDVI. Model produksi kopi berbasis NDVI berupa $\hat{Y} = 0.2 + 0.005e^{7.003NDVI}$. Hasil sebaran produksi kopi berbasis NDVI memiliki nilai berkisar antara 0.20 hingga 2.84 ton/ha yang disajikan dalam Gambar 8.

NDVI dapat digunakan untuk memprediksi hasil panen, baik secara langsung maupun tidak langsung (de Wit dkk. (2012). Nogueira dkk. (2018) menjelaskan bahwa NDVI merupakan indeks terbaik dalam menduga produksi tanaman kopi dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.58 hingga 0.90. Wang dkk. (2016) menjelaskan bahwa NDVI akan menghasilkan nilai yang sangat tinggi pada akhir musim tanaman, dengan catatan tanaman tidak dalam kondisi stres dan pertumbuhannya dalam kondisi yang normal.



Gambar 7. Hasil analisis regresi antara NDVI dengan produksi kopi (ton/ha)



Gambar 8. Peta Sebaran Potensi Produksi Kopi Berbasis NDVI (ton/ha)

Uji akurasi model

Uji akurasi model dilakukan 2 tahap yaitu dengan uji t 2 sampel berpasangan dan MAPE. Uji t 2 sampel berpasangan digunakan untuk menganalisis ada atau tidaknya perbedaan hasil produksi kopi yang diperoleh di lapangan dengan hasil pendugaan baik berbasis parameter tanaman, maupun NDVI. Berdasarkan hasil uji t, model produksi kopi berbasis parameter tanaman maupun NDVI menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan produksi aktual (nilai t hitung < t tabel (2.45); $p(\text{value}) > 0.05$). Nilai t hitung model berbasis parameter tanaman dan NDVI masing-masing sebesar 1.84 ($p(\text{value}) = 0.11$) dan 0.52 ($p(\text{value}) = 0.62$). Sedangkan berdasarkan uji kelayakan model menggunakan MAPE menunjukkan kedua model tergolong good forecasting dalam menduga produksi kopi di Kecamatan Wajak. Nilai MAPE untuk model produksi berbasis parameter tanaman dan NDVI masing-masing sebesar 17.97% dan 18.52%.

KESIMPULAN

Produksi kopi di Kecamatan Wajak berkisar antara 0.32 hingga 2.57 ton/ha. Model produksi berbasis parameter tanaman berupa:

$$\hat{Y}=(0.163 \times \text{LAI})+(0.035 \times \text{NPB})+(0.792 \times \text{LPB})+(0.974 \times \text{SD})+(0.032 \times \text{CD})-(0.0002 \times \text{TC})-1.135 \quad (R^2=0.815; p<0.05).$$

Semua parameter tanaman yang digunakan dalam penyusunan model memiliki hubungan yang signifikan terhadap pendugaan produksi kopi. Model produksi berbasis NDVI berupa $\hat{Y} = 0.0053e^{7.003\text{NDVI}}$ ($R^2=0.778; p<0.05$). NDVI memiliki pengaruh pendugaan produksi kopi sebesar 77.87%. Semua model yang disusun memiliki kelayakan yang tergolong good forecasting. Produksi kopi di Kecamatan Wajak dapat dianalisis menggunakan 2 metode yaitu berbasis parameter tanaman dan NDVI. Pendugaan produksi kopi dapat dilakukan menggunakan metode terestrial (parameter tanaman) maupun penginderaan jauh (NDVI).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dibiayai oleh Hibah Doktor Non Lektor Kepala Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya dengan nomor kontrak 3456.2/UN10.F04/PN/2022 serta artikel ini merupakan bagian dari tesis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L., Cheek, D., Aragao, L., Andere, L., Duarte, B., Salazar, N., Lima, A., Duarte, V., & Arai, E. (2017). Development of a point-based method for map validation and confidence interval estimation: A case study of burned areas in Amazonia. *J. Remote Sens. GIS*, 6(1), 193.
- Aziz, M. H., & Santosa, B. (2019). Pemanfaatan citra Sentinel-2A untuk estimasi produksi tanaman kopi di sebagian wilayah Kabupaten Temanggung. *Jurnal Bumi Indonesia*, 8(3), 1-8.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Kecamatan wajak dalam angka 2020*. Kurnia Offshet.
- Barbosa, B. D. S., Araújo e Silva Ferraz, G., Mendes dos Santos, L., Santana, L. S., Bedin Marin, D., Rossi, G., & Conti, L. (2021). Application of RGB Images obtained by UAV in coffee farming. *Remote Sensing*, 13(12), 2397.
- Bernardes, T., Moreira, M. A., Adami, M., Giarolla, A., & Rudorff, B. F. T. (2012). Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS remote sensing imagery. *Remote Sensing*, 4(9), 2492–2509.
- Bhardwaj, P. (2019). Types of sampling in research. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*, 5(3), 157.
- Brook, R. J., & Arnold, G. C. (2018). *Applied regression analysis and experimental design*. CRC Press.
- de Wit, A., Duveiller, G., & Defourny, P. (2012). Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations. *Agricultural and forest meteorology*, 164, 39–52.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., & Martimort, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, 120, 25–36.
- Escobar, H. C., Muñoz, J., Checa, J., & Noguera, W. (2019). Initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. var) castillo in the coffee zone of Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 124–137.
- Etafa, A. T. (2022). Effect of dominant shade tree species on selected soil physicochemical properties and coffee production in Sayyo district, western Ethiopia. *Trees, Forests and People*, 8, 100245.
- Fall, C. M. N., Lavaysse, C., Kerdiles, H., Dramé, M. S., Roudier, P., & Gaye, A. T. (2021). Performance of dry and wet spells combined with remote sensing indicators for crop yield prediction in Senegal. *Climate Risk Management*, 33, 100331.
- Farooq, A. (2012). Spectral vegetation indices performance evaluated for Cholistan Desert. *Journal of Geography and regional Planning*, 5(8), 165–172.
- Horton, N. J., & Kleinman, K. (2015). *Using R and RStudio for data management, statistical analysis, and graphics*. CRC Press.
- Irawan, L. Y., Yulyanto, A., TS, A. Z., Ma'ruf, A., Sa'idah, E. N., & Setiawan, F. M. (2020). Identifikasi Bahaya Longsor Lahan di Sebagian Wilayah Poncokusumo dan Wajak Kabupaten Malang. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 4(2), 160–171.
- Khair, U., Fahmi, H., Al Hakim, S., & Rahim, R. (2017). Forecasting error calculation with mean absolute deviation and mean absolute percentage error. *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1), 012002.
- Khumaidi, A. (2020). Data mining for predicting the amount of coffee production using CRISP-DM method. *Techno Nusa Mandiri: Journal of Computing and Information Technology*, 17(1), 1–8.
- Larasati, W., & Rahadian, R. (2016). Struktur komunitas mikroarthropoda tanah di lahan penambangan galian C Rowosari, Kecamatan Tembalang, Semarang. *Jurnal Akademika Biologi*, 5(1), 15–23.
- McCoy, R. M. (2005). *Field methods in remote sensing*. Guilford Press.

- Mishra, P., Singh, U., Pandey, C. M., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of cardiac anaesthesia*, 22(4), 407.
- Musaffa, M. (2021). Analisis kandungan klorofil pada tingkat perkembangan daun kopi robusta (*Coffea canephora*). *Jurnal Agroplant*, 4(2), 1–10.
- Najih, R. R., Hakim, L., & Zayadi, H. (2021). Estimasi karbon pada tegakan kopi di lahan agroforestri Desa Pandansari Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. *Jurnal Sains Alami (Known Nature)*, 3(2), 23-30.
- Nogueira, S., Moreira, M. A., & Volpato, M. M. (2018). Relationship between coffee crop productivity and vegetation indexes derived from oli/landsat-8 sensor data with and without topographic correction. *Engenharia Agrícola*, 38, 387–394.
- Pamoniara, W. (2013). Analisis produktivitas tanaman kopi di Kecamatan Gemawang Kabupaten Temanggung. *Economics Development Analysis Journal*, 2(1).
- Purba, O. M., & Toekidjo, J. P. (2013). Produktivitas Kopi arabika (*Coffea arabica* L.) rakyat di Kecamatan Raya Kabupaten Simalungun. *Vegetalika*, 1(2), 67–77.
- Putra, A. N., Kristiawati, W., Mumtazydah, D. C., Anggarwati, T., Annisa, R., Sholikah, D. H., & Okiyanto, D. (2021). Pineapple biomass estimation using unmanned aerial vehicles in various forcing stages: Vegetation index approach from ultra-high-resolution image. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100025.
- Raves, M. L. (2007). Metode inventarisasi sumber daya lahan. *Andi. Yogyakarta*, 298.
- Rizki, D., Wijonarko, B. R., & Purwanto, P. (2020). Karakter agronomis dan fisiologis tanaman kopi robusta (*coffea canephora*) pada dataran tinggi di Kecamatan Pejawaran Kab. Banjarnegara. *Composite: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 11–16.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (No. E75-10354).
- Sadono, R. (2018). Prediksi lebar tajuk pohon dominan pada pertanaman jati asal kebun benih klon di Kesatuan Pemangkuan Hutan Ngawi, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12(2), 127–141.
- Sarmiento-Soler, A., Vaast, P., Hoffmann, M. P., Jassogne, L., van Asten, P., Graefe, S., & Rötter, R. P. (2020). Effect of cropping system, shade cover and altitudinal gradient on coffee yield components at Mt. Elgon, Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106887.
- Sianturi, V. F., & Wachjar, A. (2016). Pengelolaan pemangkasan tanaman kopi arabika (*Coffea arabica* L.) di Kebun Blawan, Bondowoso, Jawa Timur. *Buletin Agrohorti*, 4(3), 266–275.
- Silva Neto, F. J. da, Bonfanti, L., Gazaffi, R., & Fontanetti, A. (2019). Effects of shade trees spatial distribution and species on photosynthetic rate of coffee trees. *Coffee Science, Lavras*, 14(3), 326-337.
- Sobari, I., Sakiroh, S., & Purwanto, E. H. (2012). Pengaruh jenis tanaman penabung terhadap pertumbuhan dan persentase tanaman berbuah pada kopi arabika varietas kartika 1. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 3(3), 217–222.
- Tassew, A. A., Yadessa, G. B., Bote, A. D., & Obso, T. K. (2021). Influence of location, elevation gradients, processing methods, and soil quality on the physical and cup quality of coffee in the Kafa Biosphere Reserve of SW Ethiopia. *Heliyon*, 7(8), e07790.
- Tegegne, T. K., Chojenta, C., Getachew, T., Smith, R., & Loxton, D. (2019). Antenatal care use in Ethiopia: A spatial and multilevel analysis. *BMC pregnancy and childbirth*, 19(1), 1–16.
- Valente, J. J., Bennett, R. E., Gómez, C., Bayly, N. J., Rice, R. A., Marra, P. P., Ryder, T. B., & Sillett, T. S. (2022). Land-sparing and land-sharing provide complementary benefits for conserving avian biodiversity in coffee-growing landscapes. *Biological Conservation*, 270, 109568.
- Wang, R., Cherkauer, K., & Bowling, L. (2016). Corn response to climate stress detected with satellite-based NDVI time series. *Remote Sensing*, 8(4), 269.
- Wardiana, E., & Pranowo, D. (2014). Selection of vegetative and generative characters of Arabica coffee by using sequential path analysis and structural equation models. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 20(2), 77–86.
- Wilujeng, S., Darliana, I., Solihat, R. F., & Rohmat, T. (2021). Pertumbuhan anakan kopi (*Coffea arabica* Lin.) berbasis sistem agroforestri di Hutan Rakyat Cimarias Sumedang. *Jurnal Hutan Tropis*, 9(1), 149–157.