



PENILAIAN KEPARAHAN GEJALA VIRUS PADA *Capsicum frutescens* BERBASIS INDEKS VEGETASI DAN PENGAMATAN VISUAL DI LAPANGAN

ASSESSMENT OF VIRUS SYMPTOMS SEVERITY ON *Capsicum frutescens* BASED ON VEGETATION INDEX AND VISUAL OBSERVATIONS IN THE FIELD

Muhammad Taufik¹, Asmar Hasan^{1*}, Sri Hendrastuti Hidayat², Ayu Kartini Parawansa³, dan Arifin Tasrif⁴

¹Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

³Fakultas Pertanian, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

⁴Politeknik Pembangunan Pertanian, Bogor, Indonesia

Email: asmarhasan_faperta@uho.ac.id

* Corresponding Author, Diterima: 5 Jul. 2022, Direvisi: 30 Sep. 2022, Disetujui: 16 Des. 2022

ABSTRACT

Viral infections can cause varying symptoms in plants. Assessment of the severity of plant virus symptoms in the field generally uses conventional methods based on visual observations. Along with the current development of digital technology, the latest assessment methods based on digital image analysis have also been developed. However, information regarding the precision and accuracy of the two assessment methods is still minimal, especially the assessment of the severity of symptoms caused by viruses. This study aims to evaluate the results of disease severity assessment based on conventional methods and digital image analysis based on NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and compare the accuracy of the two assessment methods in estimating crop production variables. The field survey was carried out by recording images and visually observing the symptoms of a virus attack on the canopy of chili plants. This was followed by measuring the weight of the plant sample fruit and analyzing the digital image of the plant. The results showed that the assessment of the severity of viral symptoms using the digital image analysis method based on the NDVI vegetation index was more precise (standard deviation < 0.04) than the visual observation method (standard deviation > 4.00), especially in the generative phase. In addition, the NDVI vegetation index method is also more accurate in estimating chili fruit weight because the regression coefficient is positive with $R^2 > 0.90$.

Keywords : Accuracy, cayenne pepper, digital image analysis, NDVI, precision

ABSTRAK

Infeksi virus dapat menyebabkan gejala yang bervariasi pada tanaman. Penilaian tingkat keparahan gejala virus tanaman di lapangan umumnya menggunakan metode konvensional berbasis pengamatan visual. Seiring dengan perkembangan teknologi digital saat ini, telah dikembangkan pula metode penilaian terkini berbasis analisis citra digital. Namun informasi terkait kepresisian dan keakurasian kedua metode penilaian tersebut masih sangat terbatas khususnya penilaian keparahan gejala yang disebabkan oleh virus. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil penilaian keparahan penyakit berdasarkan metode konvensional dan analisis citra digital berbasis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) serta membandingkan akurasi kedua metode penilaian tersebut dalam mengestimasi variabel produksi tanaman. Survei lapangan dilakukan dengan melakukan perekaman citra dan pengamatan secara visual terhadap gejala serangan virus pada tajuk tanaman cabai. Dilanjutkan dengan pengukuran bobot buah sampel tanaman, dan analisis citra digital tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penilaian keparahan gejala virus menggunakan metode analisis citra digital berbasis indeks vegetasi NDVI lebih presisi (standar deviasi < 0,04) dibandingkan metode pengamatan visual (standar deviasi > 4,00), khususnya pada fase generatif. Selain itu, metode indeks vegetasi NDVI juga lebih akurat dalam mengestimasi bobot buah cabai karena koefisien regresi bertanda positif dengan nilai $R^2 > 0,90$.

Kata kunci : Akurasi, analisis citra digital, cabai rawit, NDVI, presisi

1. PENDAHULUAN

Infeksi virus pada tanaman cabai sangat penting artinya karena dapat menyebabkan kerusakan pada sel tanaman, utamanya pada bagian kloroplas. Pigmen klorofil yang bekerja dengan menyerap cahaya dan mengonversinya ke bentuk energi biologi yang disebut fotosintesis terdapat dalam kloroplas (Chen *et al.*, 2018). Saat virus menginfeksi tanaman maka secara tidak langsung dapat mengganggu proses fotosintesis sehingga berdampak terhadap terganggunya pertumbuhan dan menyebabkan kehilangan hasil tanaman yang nyata.

Sebelumnya telah dilaporkan bahwa infeksi campuran CMV dan ChiVMV pada beberapa kultivar tanaman cabai dapat menyebabkan kehilangan hasil tanaman berkisar 18,3–98,6 % (Taufik *et al.*, 2007), dan mencapai 100% jika disebabkan oleh virus Gemini dengan gejala berupa daun menangkup disertai tulang daun transparan (Sulandari *et al.*, 2006; Hannum *et al.*, 2019).

Infeksi virus dapat menyebabkan gejala yang bervariasi pada tanaman, bergantung terhadap banyak hal diantaranya yaitu interaksi jenis virus dengan inangnya (Osterbaan & Fuchs, 2019), serta interaksi antar jenis virus yang berbeda (Moreno & López-Moya, 2020). Penilaian keparahan gejala virus pada tanaman di lapangan umumnya masih dilakukan secara konvensional berdasarkan hasil pengamatan visual manusia, namun seringkali terjadi infeksi virus tanpa gejala yang jelas atau muncul gejala yang sangat bervariasi dapat menyebabkan variasi yang tinggi terhadap hasil penilaian dan cenderung kurang akurat.

Selain metode konvensional, penilaian keparahan gejala virus tanaman telah dikembangkan berbasis analisis citra digital dengan tingkat akurasi di atas 95% (Hasan *et al.*, 2021a). Tidak hanya itu, kami juga telah melaporkan bahwa analisis citra digital berbasis indeks vegetasi dapat digunakan untuk mengindra tanaman cabai terinfeksi virus tanpa gejala kasatmata (Hasan *et al.*, 2021b). Keterbatasan penelitian kami sebelumnya adalah belum dilaporkan perbandingan antara metode konvensional dan analisis citra digital dalam menilai tingkat keparahan gejala virus tanaman, termasuk mengevaluasi hubungannya dengan variabel produksi tanaman.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil penilaian keparahan penyakit berdasarkan metode konvensional dan analisis citra digital berbasis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) serta membandingkan akurasi

kedua metode penilaian tersebut dalam mengestimasi variabel produksi tanaman.

2. BAHAN DAN METODE

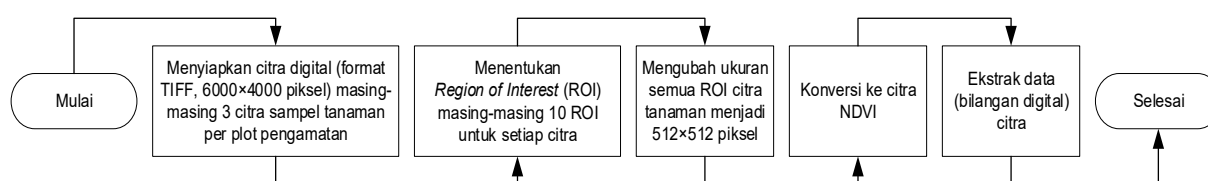
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan cabai rawit (*Capsicum frutescens*) milik petani di Desa Wolasi, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara. Penelitian dilakukan pada bulan November sampai Desember 2021, menggunakan metode survei yang disertai dengan perekaman citra sampel tanaman pada empat plot pengamatan tanaman cabai rawit.

2.2 Perekaman dan Pengolahan Citra Tanaman

Perekaman citra tanaman dilakukan dua kali, yaitu pada fase vegetatif dan generatif, masing-masing 6 dan 13 minggu setelah tanam (mst). Waktu perekaman citra tanaman yang dibutuhkan yaitu ± 30 menit, dimulai pukul 9:30 am WITA, pada kondisi langit cerah dengan intensitas matahari yang relatif tinggi. Spesifikasi dan pengaturan kamera yang digunakan merujuk pada penelitian sebelumnya (Hasan *et al.*, 2021b) dengan modifikasi panjang fokal maksimal lensa kamera menjadi 24 mm. Kamera diposisikan tegak lurus terhadap permukaan tajuk tanaman dengan jarak ± 60 cm. Sebanyak 3 tanaman per plot pengamatan dipilih secara acak (tanaman bergejala maupun tanpa gejala) sebagai sampel untuk direkam citranya.

Pengolahan citra dilakukan menggunakan aplikasi Fiji-ImageJ (Schindelin *et al.*, 2012) yang telah terpasang *plugin* Photo Monitoring (Horning, 2012) seperti pada penelitian sebelumnya (Hasan *et al.*, 2021). Tahapan pengolahan citra (Gambar 1) dimulai dengan menyiapkan citra digital sampel tanaman dalam format TIFF yang berukuran 6000×4000 piksel. Masing-masing sebanyak 3 sampel citra digital sampel tanaman per plot pengamatan ditentukan area daun yang akan dinilai (*region of interest*, ROI) menggunakan *rectangle tool* secara simetris, yaitu sebanyak 10 ROI sehingga total ROI citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 ROI citra digital per plot pengamatan. Ukuran semua ROI citra disamakan dengan *resize tool* menjadi 512×512 piksel, kemudian dilanjutkan dengan mengonversinya menjadi citra NDVI dan mengekstrak datanya (bilangan digital) menggunakan *measurement tool*.



Gambar 1. Tahapan Pengolahan Citra NDVI

2.3 Pengukuran Keparahan Gejala

Pengukuran keparahan gejala berbasis indeks vegetasi NDVI dilakukan berdasarkan rata-rata bilangan digital dari setiap citra NDVI pada setiap plot pengamatan. Bilangan digital yang diperhitungkan adalah $> 0,00$ (Beisel *et al.*, 2018); semakin rendah bilangan digital citra NDVI suatu daun tanaman (mendekati angka 0,00) maka gejala virus pada daun semakin parah, demikian sebaliknya.

Pengukuran keparahan gejala berdasarkan pengamatan visual dilakukan dengan mengamati variasi gejala yang muncul pada tanaman secara kasatmata, mengelompokkan gejala-gejala tersebut ke dalam kategori tertentu kemudian menghitung persentase keparahannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$KP = \frac{\sum_{i=1}^n (n_i \times v_i)}{N \times Z} 100\%$$

Keterangan: KP: Keparahan Penyakit, n_i : jumlah daun tanaman pada setiap kategori gejala, v_i : skor pada setiap kategori gejala, N: jumlah seluruh daun tanaman yang diamati, Z: nilai skor dari kategori gejala tertinggi

Skor keparahan gejala penyakit virus sebagai berikut (Adilah & Hidayat, 2014)

- 0 : Tidak bergejala
- 1 : Tulang daun memucat, terlihat bercak kuning pada daun
- 2 : Seluruh tulang daun menguning, sebagian besar lamina daun menguning, daun keriting
- 3 : Sebagian besar lamina daun menguning, daun keriting dan kecil
- 4 : Seluruh atau sebagian besar daun pada tanaman menguning, daun keriting, kecil, dan tanaman kerdil

2.4 Pengukuran Bobot Buah

Semua tanaman sampel yang direkam citranya pada setiap plot pengamatan dipanen dan diukur

bobot buahnya menggunakan timbangan digital pada 13 mst.

2.5 Analisis Data

Semua data ditabulasi dan dilakukan uji Mann-Whitney untuk membandingkan penilaian keparahan gejala berdasarkan indeks vegetasi NDVI dengan pengamatan visual, serta uji Kruskal-Wallis untuk membandingkan bobot buah tanaman pada plot pengamatan menggunakan aplikasi STAR 2.0.1. Dilakukan juga analisis regresi untuk melihat hubungan antara metode penilaian keparahan gejala (variabel bebas) dengan bobot buah (variabel terikat) menggunakan aplikasi Microsoft Excel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penilaian keparahan gejala virus berbasis indeks vegetasi NDVI dan pengamatan visual

Penilaian keparahan gejala virus berbasis indeks vegetasi NDVI dan pengamatan visual memberikan hasil yang bervariasi pada setiap plot pengamatan. Penentuan tingkat keparahan gejala virus berdasarkan indeks NDVI dan pengamatan visual menggunakan pendekatan penilaian yang berbanding terbalik.

Semakin rendah nilai indeks NDVI pada suatu citra daun tanaman maka diindikasikan bahwa semakin tidak sehat tanaman tersebut (gejala infeksi virus semakin parah), sebaliknya semakin tinggi nilai persentase keparahan gejala berdasarkan pengamatan visual maka semakin tidak sehat tanaman tersebut.

Gejala visual yang terlihat pada sampel tanaman cabai berupa belang hijau kekuningan dengan bentuk daun yang abnormal seperti menggulung dan menangkup (Gambar 2), dan sebelumnya telah dilaporkan bahwa gejala visual tersebut disebabkan oleh kelompok virus Gemini yang ditemukan menginfeksi tanaman cabai di Sulawesi Tenggara (Taufik *et al.*, 2018).

Sejak lama kelompok virus ini telah dideteksi berasosiasi dengan tanaman cabai di Indonesia (Hidayat *et al.*, 2006). Beberapa sentra budidaya cabai di Indonesia seperti wilayah Yogyakarta (Jawa Tengah) dan Jawa Barat dilaporkan mengalami insidensi penyakit hingga sebesar 100% untuk cabai rawit dan mencapai 35% untuk cabai besar (Sulandari *et al.*, 2006), serta wilayah Magelang (Jawa Tengah) dengan gejala berupa daun berwarna kekuningan dan menggulung (Wilisiani, 2019).

Hasil penilaian keparahan gejala pada 6 minggu setelah tanam (mst) atau fase vegetatif menunjukkan bahwa citra sampel tanaman pada plot 1 memberikan nilai indeks NDVI yang lebih rendah yang diikuti secara berturut oleh plot 2, 4, dan 3. Hal ini mengindikasikan bahwa tingkat keparahan gejala virus pada tanaman sampel di plot 1 lebih tinggi dibandingkan plot lainnya (Tabel 1).

Tren yang sama juga ditunjukkan oleh hasil penilaian keparahan gejala virus berdasarkan pengamatan visual, khususnya pada plot 1 yang memberikan persentase penilaian keparahan yang paling tinggi dan diikuti oleh plot 2, sedangkan gejala

infeksi virus pada sampel tanaman pada plot 3 dan 4 belum terlihat kasatmata (Tabel 1).

Saat 13 mst atau pada fase generatif, nilai indeks NDVI pada citra sampel tanaman di semua plot lebih rendah dibandingkan pada fase vegetatif, tetapi nilai indeks NDVI citra sampel tanaman pada plot 2, 3, dan 4 masih lebih tinggi dibandingkan dengan plot 1 (Tabel 2), diduga hal ini disebabkan karena meningkatnya perkembangan gejala virus sehingga menyebabkan nilai indeks menurun. Disisi lain, berdasarkan pengamatan visual diketahui bahwa keparahan gejala virus pada sampel tanaman di plot 1 juga meningkat diikuti secara berturut oleh plot 3, 2, dan 4 (Tabel 2).

Walaupun berdasarkan hasil uji Mann-Whitney diketahui bahwa rata-rata nilai keparahan gejala berdasarkan indeks NDVI berbeda tidak nyata dengan rata-rata keparahan gejala berdasarkan pengamatan visual pada masing-masing plot, baik pengamatan fase vegetatif maupun generatif (Tabel 1 dan 2).

Namun, penilaian keparahan gejala berdasarkan teknik analisis citra digital berbasis indeks vegetasi NDVI masih dianggap lebih presisi dalam penelitian ini karena nilai standar deviasi yang merepresentasikan keragaman data hasil penilaian lebih rendah atau relatif lebih homogen dibandingkan dengan pengamatan gejala visual secara langsung utamanya pada fase generatif (13 mst).

Somwanshi & Humbe (2015) menjelaskan bahwa kelelahan, kehilangan konsentrasi, dan tingkat pengetahuan pengamat atau penilai dapat menjadi faktor penyebab berkurangnya ketepatan penilaian keparahan gejala penyakit secara visual langsung di lapangan.

Metode analisis citra digital telah dilaporkan dapat digunakan untuk menilai keparahan penyakit (Bock *et al.*, 2020) sehingga dapat menjadi solusi dalam meningkatkan akurasi penilaian keparahan gejala penyakit khususnya yang disebabkan oleh



Gambar 2. Gejala Virus Gemini pada Tanaman Cabai Rawit di Lapangan

Tabel 1. Uji Mann-Whitney Keparahannya Gejala Virus Berbasis Indeks Vegetasi NDVI dan Pengamatan Visual pada Cabai Rawit, Pengamatan 6 MST

Plot	Rata-rata Keparahannya Gejala Berbasis ... $\pm$ SD			Prob > W
	Indeks vegetasi NDVI (piksel)	vs	Pengamatan Visual (%)	
Plot 1	0,088 $\pm$ 0,032	vs	5,333 $\pm$ 9,238	0,658 ^{tn}
Plot 2	0,119 $\pm$ 0,021	vs	1,333 $\pm$ 2,309	0,659 ^{tn}
Plot 3	0,160 $\pm$ 0,020	vs	0,000 $\pm$ 0,000	0,064 ^{tn}
Plot 4	0,133 $\pm$ 0,020	vs	0,000 $\pm$ 0,000	0,065 ^{tn}

Keterangan: SD (standar deviasi); tn (berbeda tidak nyata); vs (versus)

Tabel 2. Uji Mann-Whitney Keparahan Gejala Virus Berbasis Nilai Indeks NDVI pada Cabai Rawit, Pengamatan 13 MST

Plot	Rata-rata Keparahan Gejala Berbasis ... $\pm$ SD		Prob > W
	Indeks NDVI (piksel)	vs Pengamatan Visual (%)	
Plot 1	0,069 $\pm$ 0,010	vs 49,333 $\pm$ 12,858	0,100 ^{tn}
Plot 2	0,083 $\pm$ 0,038	vs 10,667 $\pm$ 8,327	0,100 ^{tn}
Plot 3	0,072 $\pm$ 0,008	vs 21,333 $\pm$ 4,619	0,077 ^{tn}
Plot 4	0,073 $\pm$ 0,016	vs 10,667 $\pm$ 4,619	0,077 ^{tn}

Keterangan: SD (standar deviasi); tn (berbeda tidak nyata); vs (versus)

Tabel 3. Uji Kruskal-Wallis Rata-Rata Bobot Buah Cabai pada Pengamatan 13 MST

Plot	Rata-rata (g) $\pm$ SD
Plot 1	0,500 $\pm$ 0,361
Plot 2	0,433 $\pm$ 0,252
Plot 3	0,597 $\pm$ 0,300
Plot 4	0,597 $\pm$ 0,275
Chi-square	0,609
Pr > Chi-square	0,894 ^{tn}

Keterangan: SD (standar deviasi); tn (berbeda tidak nyata)

virus. Penelitian terbaru kami dapat membuktikan bahwa penilaian keparahan gejala mosaik yang disebabkan oleh *Tobacco mosaic virus* (TMV) berbasis analisis citra digital memiliki nilai akurasi dan presisi yang tinggi (Hasan *et al.*, 2021).

3.2 Bobot Buah

Hasil pengamatan bobot buah cabai sebagai salah satu variabel produksi tanaman menunjukkan bahwa sampel tanaman di plot pengamatan 3 dan 4 masing-masing memberikan bobot buah yang lebih tinggi dibandingkan dengan plot 1. Namun, hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan bobot buah tanaman yang nyata diantara semua plot pengamatan (Tabel 3).

Perbedaan bobot buah yang tidak nyata antar plot pengamatan tersebut diduga disebabkan karena buah cabai yang ditimbang bobotnya merupakan hasil panen pertama kali, dimana ukuran buah cabai yang dihasilkan oleh semua sampel tanaman relatif sama. Kemungkinan akan terjadi kondisi yang berbeda apabila buah cabai yang ditimbang bobotnya berasal dari hasil panen selanjutnya.

Buah cabai secara umum memiliki ukuran yang relatif berbeda saat panen pertama dibandingkan dengan panen berikutnya dan rata-rata ukuran buah cabai saat panen pertama lebih besar dibandingkan dengan panen terakhir (Hamid & Haryanto, 2011). Chamikara *et al.* (2015) juga melaporkan bahwa

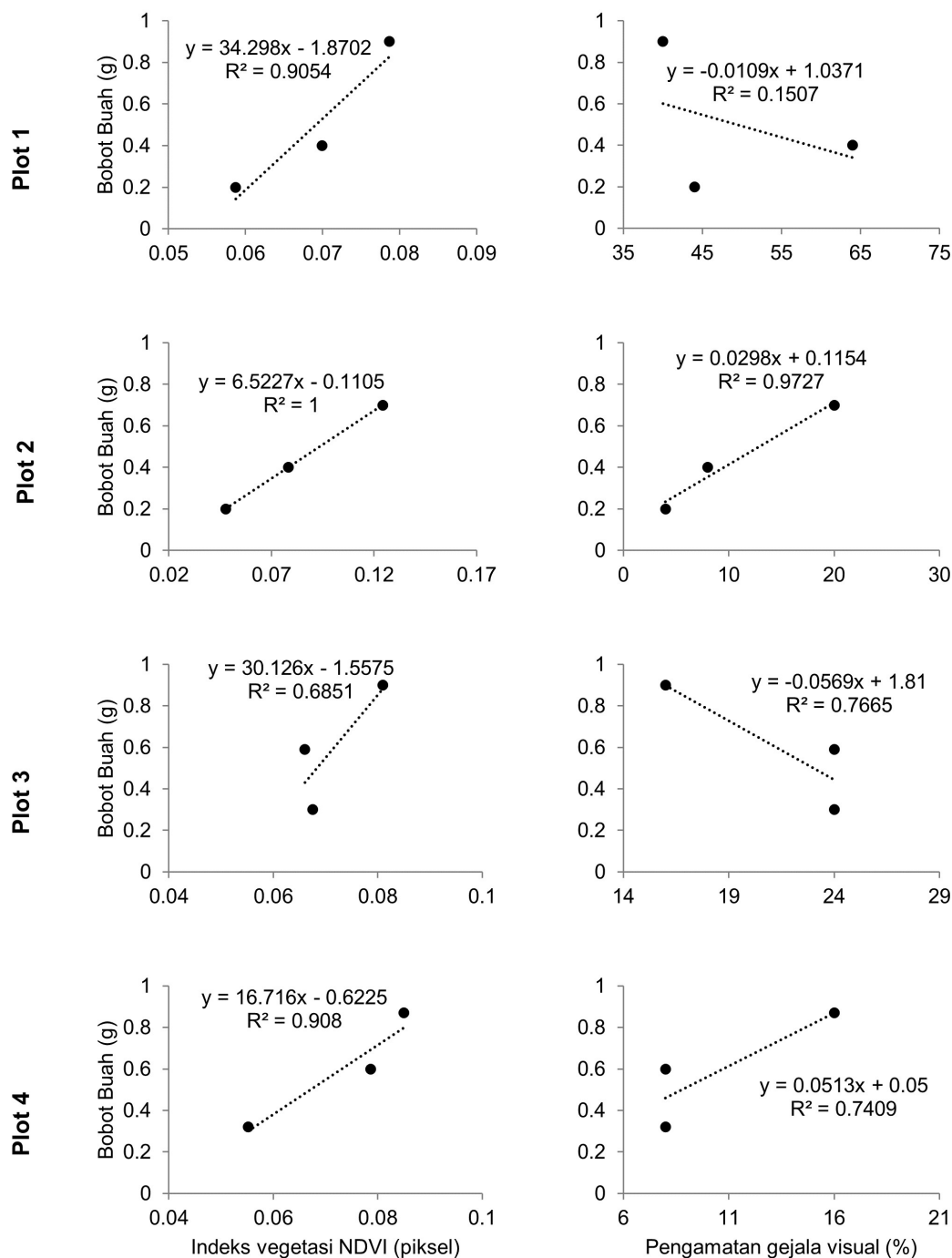
diameter buah cabai berkorelasi positif dan nyata terhadap bobot buah, yang berarti semakin besar ukuran buah cabai maka bobotnya juga akan semakin besar.

3.3 Pengaruh Keparahan Gejala Terhadap Bobot Buah

Hasil penilaian keparahan penyakit berdasarkan indeks vegetasi NDVI menunjukkan bahwa semakin rendah nilai NDVI maka semakin rendah bobot buah cabai yang dihasilkan oleh tanaman yang menggambarkan tingkat kesehatan tanaman yang semakin menurun akibat adanya infeksi virus, demikian pula sebaliknya dan kondisi ini dapat terlihat pada semua plot pengamatan.

Disisi lain, hubungan yang terjadi antara hasil penilaian keparahan penyakit berdasarkan pengamatan gejala visual dengan bobot buah yaitu semakin rendah persentase keparahan gejala virus pada tanaman maka semakin tinggi bobot buahnya, demikian pula sebaliknya. Namun kondisi tersebut hanya terlihat pada plot 1 dan 3, yang membuktikan adanya keterbatasan kemampuan visual pengamat dalam mengenali variasi gejala penyakit virus sehingga menyebabkan hasil penilaian menjadi tidak akurat dan dapat berdampak terhadap tidak tepatnya pendugaan bobot buah (Gambar 3).

Keterbatasan visual pengamat dalam mengenali gejala dapat dipicu oleh batas perbedaan antara



Gambar 3. Hubungan Penilaian Keparahan Penyakit Berdasarkan Indeks Vegetasi NDVI dan Pengamatan Gejala Visual terhadap Bobot Buah Cabai

gejala berat dan ringan yang kurang jelas sehingga dapat mengurangi keakuratan penilaian. Adanya potensi terjadinya fenomena tanaman bergejala virus menjadi terlihat pulih (*recovery*) juga dapat menjadi sebab penilaian gejala menjadi tidak konsisten. Tanaman terlihat pulih dari gejala virus kemungkinan terjadi karena tertundanya aktivitas replikasi virus dalam sel tanaman yang dipicu oleh

suhu lingkungan yang rendah (Zhao *et al.*, 2016), atau adanya aktivitas dari *RNA silencing* (Ghoshal & Sanfaçon, 2015; Zhao *et al.*, 2016). Fenomena *recovery* tersebut sifatnya tidak permanen sehingga dapat menciptakan anomali penampilan gejala pada tanaman yang terinfeksi virus.

Hasil analisis regresi antara bobot buah yang dipengaruhi oleh keparahan gejala berdasarkan

indeks vegetasi NDVI dan pengamatan visual pada setiap plot pengamatan juga menunjukkan bahwa hubungan antara variabel bobot buah dengan variabel keparahan gejala berdasarkan pendekatan indeks vegetasi NDVI memberikan nilai koefisien determinan (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan berdasarkan pengamatan visual, utamanya pada plot 1, 2, dan 4.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penilaian keparahan gejala berdasarkan indeks vegetasi NDVI memang lebih akurat dalam mengestimasi bobot buah cabai dibandingkan dengan berdasarkan pengamatan gejala visual. Hal ini memberikan informasi baru mengenai potensi metode analisis citra digital daun tanaman sakit berbasis indeks vegetasi NDVI untuk mengestimasi bobot buah cabai yang dihasilkan

4. KESIMPULAN

Hasil penilaian keparahan gejala virus berdasarkan metode analisis citra digital berbasis indeks vegetasi NDVI lebih presisi dibandingkan metode pengamatan visual. Selain itu, metode indeks vegetasi NDVI juga lebih akurat dalam mengestimasi bobot buah cabai.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh pendanaan dari Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian RI TA 2021 sesuai kontrak Nomor: 597/PL.040/H.1/03/2021.K, Tanggal: 30 Maret 2021, terima kasih disampaikan kepada Prof. (R). Dr. Ir. H. Fadry Djufry, M.Si. beserta seluruh jajaran atas dukungan yang berharga terhadap program kemitraan penelitian ini. Terima kasih disampaikan kepada Ketua LPPM Universitas Halu Oleo (Dr. H. La Aba, S.Si, M.Si) dan staf atas dukungan administrasi, petani cabai dan mahasiswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini serta semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

6. DAFTAR PUSTAKA

Adilah, N. F., & S.H. Hidayat. 2014. Keparahen Penyakit Daun Keriting Kuning dan Pertumbuhan Populasi Kutu Kebul pada Beberapa Genotipe Cabai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 10 (6) : 195–201.

Beisel, N. S., J. B. Callahan, N. J. Sng, D. J. Taylor, A. L. Paul, & R. J. Ferl. 2018. Utilization of Single-image Normalized Difference

Vegetation Index (SI-NDVI) for Early Plant Stress Detection. *Applications in Plant Sciences*. 6 (10) : 1–10.

Bock, C. H., J. G. A. Barbedo, E. M. Del Ponte, D. Bohnenkamp, & A.K. Mahlein. 2020. From Visual Estimates to Fully Automated Sensor-based Measurements of Plant Disease Severity: Status and Challenges for Improving Accuracy. *Phytopathology Research*. 2 (9) : 1–30.

Chamikara, M. D. M., M. Ishan, S. S. Karunadasa, M. K. D. I. Perera, P. I. Rajapaksha, R.V. Lelwala, V. D. W. Kasthuriarachchi, & D. T. Jeyakumar. 2015. Morphological and Microsatellite Marker Analysis of Fruit Size and Shape in Selected Accessions and Commercial Cultivars of *Capsicum* species in Sri Lanka. *International Journal of Multidisciplinary Studies*. 2 (1) : 29–50.

Chen, Y., B. Zhou, J. Li, H. Tang, J. Tang, & Z. Yang. 2018. Formation and Change of Chloroplast-located Plant Metabolites in Response to Light Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 19 (3) : 1–17.

Ghoshal, B., & H. Sanfaçon. 2015. Symptom Recovery in Virus-infected Plants: Revisiting the Role of RNA Silencing Mechanisms. *Virology*. 479: 167–179.

Hamid, A. & M. Haryanto. 2011. *Bertanam Cabai Hibrida untuk Industri*. AgroMedia. <https://books.google.co.id/books?id=MroCMTiVM7wC>.

Hanum, S., R. M. Aceh, & Elimasni. 2019. Begomovirus Detection on Diseased Chili Plant (*Capsicum annum* L.) in Tanah Karo North-Sumatera with PCR techniques. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 305 (1) : 1–7.

Hasan, A., Widodo, K. H. Mutaqin, M. Taufik, & S. H. Hidayat. 2021. Quantitative Assessment of Mosaic Disease Severity Based on Digital Image Processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 694 (1) : 1–9.

Hasan, A., Widodo, K.H. Mutaqin, M. Taufik, & S.H. Hidayat. 2021. Metode Single Image-NDVI untuk Deteksi Dini Gejala Mosaik pada *Capsicum annum*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 17 (1) : 9–18.

Hidayat, S.H., O. Chatchawankanpanich, E. Rusli, & N. Aidawati. 2006. *Begomovirus* Associated With Pepper Yellow Leaf Curl

- disease in West Java, Indonesia. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*. 11(2):87–90.
- Hidayat, S.H., D. Haryadi, & E. Nurhayati. 2009. Use of Serological-based Assay for the Detection of *Pepper yellow leaf curl Indonesia virus*. *Plant Pathology Journal*. 25(4):328–332.
- Horning. 2012. *Public Lab: update on the photo monitoring plugin for ImageJ/Fiji*. <https://publiclab.org/notes/nedhorning/11-1-2012/update-photo-monitoring-plugin-imagej-fiji>. Diakses pada 26 Agustus 2019.
- Moreno, A.B., & J.J. López-Moya. 2020. When Viruses Play Team Sports: Mixed Infections in Plants. *Phytopathology*. 110: 29–48.
- Osterbaan, L.J., & M. Fuchs. 2019. Dynamic Interactions Between Plant Viruses and Their Hosts for Symptom Development. *Journal of Plant Pathology*. 101:885–895.
- Schindelin, J., I. Arganda-carreras, E. Frise, V. Kaynig, M. Longair, T. Pietzsch, S. Preibisch, & C. Rueden. 2012. Fiji: an open-Source Platform for Biological-image Analysis. *Nature Methods*. 9(7):676–682.
- Somwanshi, D. R., & V. T. Humbe. 2015. Soybean Rust Severity Measurement Using Image Processing Technique. *Advances in Computational Research*. 7(1):265–267.
- Sulandari, S., R. Suseno, S.H. Hidayat, J. Harjosudarmo, & S. Sosromarsono. 2006. Deteksi dan Kajian Kisaran Inang Virus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai. *HAYATI Journal of Biosciences*. 13(1):1–6.
- Taufik, M., S.H. Hidayat, S. Sujiprihati, G. Suastika, & M. Sumaraw. 2007. Ketahanan Beberapa Kultivar Cabai Terhadap *Cucumber mosaic virus* dan *Chilli veinal mottle virus*. *Journal HPT Tropika*. 7(2):130–139.
- Taufik, M., S.H. Hidayat, Gusnawaty, R. Syaman, R.D.R. Wulan, & A.L.P. Putra. 2018. Laporan Pertama Virus Gemini pada Tanaman Cabai di Sulawesi Tenggara. In *seminar nasional dan kongres perhimpunan fitopatologi indonesia komisariat daerah Sulawesi Tenggara, 3 Oktober 2017*. Hal. 518–527.
- Wilisiani, F. 2019. Deteksi Begomovirus pada Tanaman Cabai di Magelang Indonesia. *AGROISTA Jurnal Agroteknologi*. 3 (1) : 1–10.
- Zhao, F., Y. Li, L. Chen, L. Zhu, H. Ren, H. Lin, & D. Xi. 2016. Temperature Dependent Defence of *Nicotiana tabacum* Against *Cucumber mosaic virus* and Recovery Occurs With the Formation of Dark Green Islands. *J. Plant Biol*. 59: 293–301