

SHORT COMMUNICATION

Analisis Morfometrik Daun Cabai Bergejala Kuning Keriting Menggunakan Pendekatan Pengolahan Citra Digital dan Algoritma *Data Mining*

Morphometric Analysis of Chili Leaves with Yellow Curly Symptom Using Digital Image Processing Approach and Data Mining Algorithm

**Asmar Hasan*, Muhammad Taufik, La Ode Santiaji Bande, Andi Khaeruni,
Rahayu Mallarangeng, Gusnawaty HS, Asniah, Syair, Abdul Rahman**
Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo
Jalan HEA Mokodompit, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara 93231

(diterima Oktober 2023, disetujui November 2023)

ABSTRAK

Gejala kuning keriting pada daun cabai umumnya disebabkan oleh infeksi Begomovirus. Daun tanaman terinfeksi tidak hanya mengalami perubahan warna sebagai indikator rusaknya klorofil tetapi juga mengalami perubahan morfologi bentuk. Penelitian ini bertujuan menguantifikasi gejala infeksi Begomovirus berdasarkan perubahan morfologi bentuk daun menggunakan pengolahan citra digital dan algoritma *data mining* yang akan memudahkan dalam pemantauan dan analisis perkembangan penyakit tanaman. Total 33 citra daun cabai rawit bergejala kuning keriting maupun tidak bergejala menjadi *dataset* penelitian ini. Citra daun cabai tersebut diolah dan diekstrak karakteristik bentuknya berupa *circularity*, *aspect ratio*, *roundness*, dan *solidity* menggunakan aplikasi Fiji-ImageJ. Selanjutnya dilakukan uji beda (uji-t), pengelompokan citra menggunakan algoritma *Simple K-Means*, dan evaluasi ketepatan hasil pengelompokan berdasarkan indeks ARI dan NMI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum ada perbedaan bentuk yang nyata antara daun bergejala dengan daun tidak bergejala. Daun cabai rawit bergejala kuning keriting memiliki rata-rata nilai *aspect ratio* dan *solidity* yang lebih kecil dibandingkan daun cabai tidak bergejala, sebaliknya memiliki rata-rata nilai *circularity* dan *roundness* yang lebih besar dibandingkan daun cabai tidak bergejala. Evaluasi ketepatan pengelompokan sampel daun cabai rawit bergejala maupun tidak bergejala berdasarkan indeks ARI dan NMI menghasilkan nilai terbaik untuk pengelompokan ke dalam dua kelompok.

Kata kunci: *aspect ratio*, *circularity*, *roundness*, *simple k-means*, *solidity*

ABSTRACT

Yellow curling symptoms on chili leaves are generally caused by Begomovirus infection. The leaves of infected plants not only change color as an indicator of chlorophyll damage but also experience changes in morphological shape. This research aims to quantify the symptoms of Begomovirus infection based on morphological changes in leaf shape using digital image processing and data mining algorithms that will

*Alamat penulis korespondensi: Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo. Jalan HEA Mokodompit, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara 93231.
Tel: 0401-3193596, Surel: asmarhasan_faperta@uho.ac.id

facilitate monitoring and analysis of plant disease development. A total of 33 images of cayenne pepper leaves with yellow curly symptoms and without symptoms became the dataset of this study. Using the Fiji-ImageJ application, the chili leaf images were processed and extracted in the shape characteristics, i.e., circularity, aspect ratio, roundness, and solidity. Furthermore, a t-test and image clustering using the Simple K-Means algorithm was conducted, followed by evaluation of the accuracy of the clustering results based on the ARI and NMI indexes. The results showed that, in general, there was a significant difference in shape between symptomatic and non-symptomatic leaves. The ratio and solidity value of leaves with yellow curly symptom was smaller than those of non-symptomatic chili leaves. In contrast, circularity and roundness value of symptomatic leaves was larger than those of non-symptomatic chili leaves. Evaluation of the accuracy of samples grouping for cayenne pepper leaves with and without symptoms based on the ARI and NMI indicated that grouping them into two groups gave the best value.

Keywords: aspect ratio, circularity, roundness, simple k-means, solidity

Gejala kuning keriting yang sering ditemukan pada tanaman cabai disebabkan oleh infeksi virus dari genus Begomovirus. Tanaman yang terinfeksi oleh virus ini mengalami perubahan pola warna daun menjadi mosaik kuning dan morfologi bentuk daun menjadi abnormal (menangkup, keriting, atau mengerdil) (Selangga *et al.* 2019; Taufik *et al.* 2023c; Taufik *et al.* 2023d).

Selama ini pemantauan penyakit lebih banyak didasarkan pada pengamatan visual morfologi bentuk daun cabai bergejala kuning keriting secara kualitatif sehingga sering bersifat subyektif. Data ini akan sulit untuk mendapatkan hasil perkembangan penyakit yang akurat dan mengestimasi tingkat kerusakan yang berdampak terhadap produktivitas tanaman. Pengembangan teknologi penilaian penyakit pada tanaman berbasis pengolahan citra digital sudah menjadi tren saat ini. Hal ini disebabkan karena teknologi penilaian berbasis pengolahan citra digital bersifat kuantitatif (Hasan *et al.* 2021a) dan memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan pengamatan visual (Taufik *et al.* 2023b).

Terdapat beberapa karakteristik utama citra yang dapat dimanfaatkan dalam analisis tanaman, di antaranya yaitu karakteristik warna (*color*) dan bentuk (*shape*) obyek dalam suatu citra (Ibaraki dan Gupta 2015). Pendekatan karakteristik warna untuk mengkaji gejala infeksi virus pada tanaman cukup banyak dikaji, baik berbasis warna RGB (Hasan *et al.* 2022; Dumaria *et al.* 2023) maupun berbasis indeks vegetasi (Hasan *et al.* 2021b; Taufik *et al.* 2023b; Taufik *et al.* 2023a), sedangkan

untuk kajian gejala virus pada tanaman menggunakan pendekatan karakteristik bentuk, sampai saat ini belum ditemukan laporannya. Berdasarkan studi literatur, kajian karakteristik bentuk baru sebatas di bidang ilmu bedah (Zdilla *et al.* 2016), serta bidang geologi dan mineral (Szmańda dan Witkowski 2021; Ali *et al.* 2023). Oleh karena itu, kuantifikasi perubahan morfologi bentuk daun tanaman cabai terinfeksi Begomovirus sangat penting dalam memberikan informasi yang valid mengenai kerusakan daun akibat infeksi virus sehingga memudahkan dalam mengambil tindakan pengendalian.

Penelitian ini bertujuan mengukur secara kuantitatif gejala infeksi Begomovirus berdasarkan perubahan morfologi bentuk daun menggunakan pengolahan citra digital dan algoritma *data mining* yang akan memudahkan dalam pemantauan dan analisis perkembangan penyakit tanaman.

Penelitian ini menggunakan 27 citra daun cabai rawit (*Capsicum frutescens*) bergejala kuning keriting dan enam citra daun cabai tidak bergejala sebagai *dataset*. Citra daun cabai tersebut direkam menggunakan *scanner* Canon Lide 125 pada resolusi 150 dpi (*dots per inch*) atau 59.055 piksel per cm. Daun tanaman cabai rawit yang digunakan sebagai sampel berasal dari varietas Dewata F1, yang dibudidayakan oleh petani cabai di Kecamatan Konda, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Pengolahan citra daun cabai diawali dengan mengatur kontras agar warna dan tepi area daun menjadi lebih jelas terlihat sehingga memudahkan pada tahap seleksi obyek.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan seleksi pada obyek daun satu per satu menggunakan *wand selection tool*. Seleksi obyek daun tersebut diikuti dengan ekstraksi data citra menggunakan *measurement tool*, dengan terlebih dahulu mengaktifkan fitur *shape descriptors* yang terdapat pada menu *set measurements*. Semua tahapan pengolahan citra digital ini dilaksanakan dengan bantuan aplikasi Fiji-ImageJ (ImageJ versi 1.54f) (Schindelin *et al.* 2012). Terdapat empat atribut morfologi bentuk daun yang dianalisis dalam penelitian, yaitu *circularity*, *aspect ratio*, *roundness*, dan *solidity*.

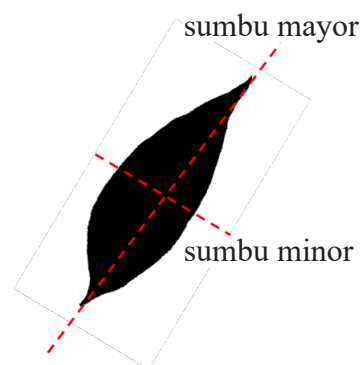
Circularity adalah atribut bentuk yang menunjukkan tingkat kemiripan dengan lingkaran sempurna. Atribut ini memiliki rentang nilai 0.0–1.0 dimana nilai 1.0 menunjukkan lingkaran sempurna, sebaliknya mendekati nilai 0.0 mengindikasikan bentuk yang semakin memanjang (Zdilla *et al.* 2016); sedangkan **aspect ratio (AR)** adalah atribut bentuk yang menunjukkan ukuran geometri suatu bentuk. Dihitung sebagai rasio panjang sumbu mayor (garis terpanjang yang bisa ditarik melalui obyek) terhadap panjang sumbu minor (garis terpendek yang bisa ditarik melalui obyek) (Gambar 1). Rasio ini memberikan deskripsi kuantitatif mengenai pemanjangan bentuk dengan rentang nilai $1.0-\infty$ (Heilbronner dan Barrett 2014). Nilai $AR = 1.0$ mengindikasikan bahwa bentuknya adalah lingkaran sempurna atau bujur sangkar, yang berarti panjang dan lebarnya (atau sumbu mayor dan minor) sama, sedangkan nilai $AR > 1.0$, mengindikasikan bahwa bentuknya memanjang di sepanjang sumbu mayor dimana semakin besar nilai AR maka semakin memanjang bentuknya.

Roundness adalah atribut bentuk yang mengukur seberapa dekat bentuk obyek mendekati bentuk lingkaran sempurna. Atribut ini memperhitungkan kelengkungan dan ketajaman sudut-sudut tepi obyek (Ali *et al.* 2023), yang membedakannya dengan atribut *circularity*. Nilai *roundness* untuk lingkaran sempurna adalah 1.0. Apabila bentuk obyek menyimpang dari lingkaran sempurna (terdapat lengkungan atau sudut yang tajam pada tepi obyek) maka nilai *roundness* < 1.0 ; sedangkan **solidity** adalah

atribut yang mengukur kehalusan bentuk. Apabila nilai *solidity* = 1.0 mengindikasikan bahwa obyek memiliki tepi yang halus atau mulus (mirip dengan lingkaran sempurna atau bujur sangkar), sedangkan nilai *solidity* < 1.0 mengindikasikan bahwa obyek memiliki tepi yang tidak beraturan dan kasar. Semakin dekat nilainya ke 0, maka bentuk obyek semakin tidak beraturan dan kasar (Szmańda dan Witkowski 2021).

Semua data citra berupa nilai-nilai dari setiap atribut morfologi bentuk daun ditabulasi dan dilakukan uji beda menggunakan uji-t sampel tidak berpasangan untuk membandingkan karakteristik bentuk daun bergejala dengan tidak bergejala. Selanjutnya dilakukan pengelompokan citra daun cabai berdasarkan atribut yang memberikan perbedaan yang nyata menggunakan algoritma *data mining*, yaitu *Simple K-Means*, serta evaluasi ketepatan pengelompokan citra berdasarkan indeks ARI (*Adjusted Rank Index*) dan NMI (*Normalized Mutual Information*). Analisis data dilakukan dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel, WEKA versi 3.8.5, dan RStudio Desktop versi 2023.09.1+494.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan morfologi bentuk yang nyata secara statistik antara daun bergejala kuning keriting dengan daun tidak bergejala, khususnya pada atribut *aspect ratio*, *roundness*, dan *solidity* (Tabel 1). Daun cabai bergejala memiliki rata-rata nilai *aspect ratio* dan *solidity* yang lebih kecil dibandingkan daun cabai tidak bergejala, sebaliknya memiliki rata-rata nilai *circularity* dan *roundness* yang lebih besar dibandingkan daun cabai tidak bergejala (Tabel 1).



Gambar 1 Ilustrasi atribut *aspect ratio* pada daun.

Tabel 1 Perbandingan hasil analisis morfometrik antara daun cabai bergejala kuning keriting (B) dengan tidak bergejala (TB)

Kode sampel daun cabai ^a	Variasi gejala ^b	Atribut morfometrik			
		<i>Circularity</i>	<i>Aspect ratio</i>	<i>Roundness</i>	<i>Solidity</i>
B1	w, b	0.535	1.728	0.579	0.895
B2	w, b	0.491	1.927	0.519	0.838
B3	w, b	0.465	1.861	0.537	0.845
B4	w, b	0.569	1.931	0.518	0.923
B5	w	0.396	3.190	0.313	0.878
B6	w, b	0.476	1.831	0.546	0.819
B7	w, b	0.530	2.049	0.488	0.895
B8	w, b	0.588	1.496	0.668	0.887
B9	w, b	0.490	2.038	0.491	0.871
B10	w	0.387	3.179	0.315	0.903
B11	w, b	0.511	1.742	0.574	0.863
B12	w, b	0.532	2.071	0.483	0.880
B13	w, b	0.450	1.998	0.500	0.835
B14	w, b	0.529	2.185	0.458	0.930
B15	w	0.431	3.082	0.324	0.914
B16	w	0.476	2.941	0.340	0.951
B17	w	0.545	2.309	0.433	0.929
B18	w, b	0.461	2.350	0.426	0.862
B19	w, b	0.401	2.376	0.421	0.794
B20	w	0.510	2.422	0.413	0.922
B21	w, b	0.503	1.779	0.562	0.868
B22	w, b	0.584	1.738	0.575	0.913
B23	w, b	0.509	1.947	0.514	0.875
B24	w	0.521	2.464	0.406	0.948
B25	w, b	0.548	1.931	0.518	0.913
B26	w, b	0.560	1.892	0.529	0.905
B27	w, b	0.574	1.608	0.622	0.865
Rata-rata ± SD		0.503 ± 0.056	2.151 ± 0.472	0.484 ± 0.093	0.886 ± 0.039
TB1	-	0.461	2.724	0.367	0.935
TB2	-	0.397	3.143	0.318	0.915
TB3	-	0.403	3.154	0.317	0.870
TB4	-	0.495	2.668	0.375	0.941
TB5	-	0.535	2.380	0.420	0.939
TB6	-	0.467	2.605	0.384	0.912
Rata-rata ± SD		0.460 ± 0.053	2.779 ± 0.309	0.364 ± 0.040	0.919 ± 0.027
Nilai uji-t ^c		0.115	0.002	0.000	0.033
B vs TB		Tidak nyata	Nyata	Nyata	Nyata

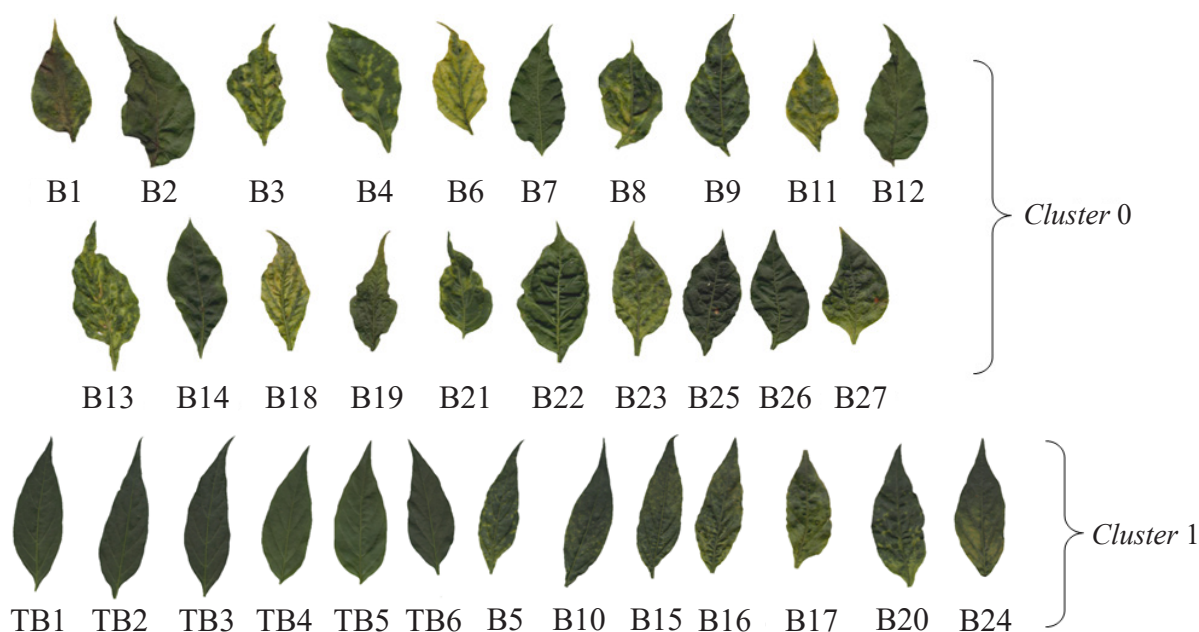
^a(B, bergejala; TB, tidak bergejala).^b(w, perubahan pola warna; b, bentuk abnormal).^c(uji-t sampel tidak berpasangan).

Hasil analisis morfometrik dan *clustering* membuktikan bahwa kebanyakan daun yang bergejala kuning keriting akan memiliki morfologi yang mendekati bentuk “melingkar atau *orbicularis*” berdasarkan atribut *circularity* dan *roundness* utamanya pada gejala yang parah (terjadi perubahan pola warna dan bentuk daun), serta memiliki *aspect ratio* yang lebih kecil (ukuran sisi daun terpanjang dan terpendek relatif tidak jauh berbeda) (Tabel 1 dan Gambar 2).

Berbanding terbalik dengan hal di atas, daun tidak bergejala dan beberapa daun bergejala tetapi pada tingkat gejala yang tidak parah (hanya terjadi perubahan pola warna daun saja) akan memiliki morfologi bentuk yang “memanjang atau *lanceol*” dengan nilai *aspect ratio* yang lebih besar (Tabel 1 dan Gambar 2). Disisi lain, daun cabai yang tidak bergejala rata-rata memiliki tepi yang lebih halus dibandingkan dengan daun cabai bergejala berdasarkan atribut *solidity* (Tabel 1). Hal tersebut mengindikasikan bahwa daun tanaman yang terinfeksi oleh virus penyebab kuning keriting dapat mengalami perubahan morfologi dari bentuk memanjang ke bentuk melingkar, serta memiliki tepi yang tidak beraturan (tepi daun bergelombang karena daun mengeriting).

Infeksi virus tidak hanya menyebabkan terjadinya perubahan warna daun tanaman karena mengalami klorosis (Zhao *et al.* 2016) tetapi juga menyebabkan perubahan struktur daun tanaman. Dilaporkan bahwa *Geminivirus-betasatellite* dapat menyebabkan kerusakan struktural pada kloroplas sebagai organel sel tanaman (Bhattacharyya *et al.* 2015). Perubahan struktural organel sel juga dapat terjadi pada bagian retikulum endoplasma ketika terinfeksi oleh *Brome mosaic virus* (Laliberté dan Sanfaçon 2010). Bahkan infeksi *Abutilon mosaic virus* dapat menginduksi perubahan pada stromula, yaitu suatu struktur sel tumbuhan yang memanjang di permukaan semua jenis plastida (Laliberté *et al.* 2013). Perubahan struktural yang terjadi pada sel dan organel sel tersebut berdampak terhadap pertumbuhan jaringan tanaman yang abnormal termasuk jaringan yang menyusun organ daun.

Algoritma *data mining* yaitu *Simple K-Means* yang dicoba dalam penelitian ini cukup tepat dalam mengelompokkan citra sampel daun cabai berdasarkan karakteristik bentuk ke dalam dua kelompok (ditunjukkan dengan nilai indeks ARI dan NMI yang lebih tinggi jika menggunakan dua kelompok saja, lihat Tabel 2). Hasil *clustering* menunjukkan bahwa daun cabai tidak bergejala ($n = 6$) berada



Gambar 2 Hasil *cluster* sampel citra daun cabai rawit bergejala dan tidak bergejala ($n = 33$) menggunakan pendekatan algoritma *Simple K-Means* ($K = 2$) berdasarkan atribut *aspect ratio*, *roundness*, dan *solidity*.

Tabel 2 Penilaian ketepatan hasil *cluster* citra daun cabai rawit bergejala dan tidak bergejala menggunakan pendekatan algoritma *Simple K-Means* berdasarkan atribut *aspect ratio*, *roundness*, dan *solidity*

Nilai ^a	Jumlah <i>cluster</i> (K)						
	K = 2	K = 3	K = 4	K = 5	K = 6	K = 7	K = 8
ARI	0.307	0.181	0.215	0.253	0.128	0.108	0.060
NMI	0.302	0.165	0.142	0.181	0.140	0.112	0.096

^aARI, *Adjusted Rank Index*; NMI, *Normalized Mutual Information*.

pada kelompok yang berbeda (*cluster* 1) dengan sebagian besar daun cabai bergejala (*cluster* 0). Disisi lain, terdapat tujuh sampel daun cabai bergejala yang berada dalam kelompok yang sama dengan daun cabai tidak bergejala. Jika diamati ketujuh sampel daun cabai bergejala tersebut memang memiliki bentuk yang hampir mirip dengan daun cabai tidak bergejala, tetapi memiliki perbedaan warna yang jelas dan terdapat pola mosaik yang khas pada daun cabai bergejala (Gambar 1).

Beberapa sampel citra daun cabai bergejala yang tergabung dalam kelompok yang sama dengan citra daun tidak bergejala menjadi keterbatasan hasil penelitian ini, namun hal tersebut diduga erat kaitannya dengan hanya menggunakan fitur bentuk (*shape*) saja saat melakukan pengelompokan (*clustering*). Oleh karena itu agar komprehensif, maka memadukan fitur bentuk dengan fitur citra lainnya seperti warna dan tekstur perlu dicoba pada penelitian mendatang.

Secara umum, analisis morfometrik berbasis pengolahan citra daun dan algoritma *data mining Simple K-Means* dalam penelitian ini dapat memberikan informasi kuantitatif mengenai perbedaan karakteristik bentuk antara daun bergejala kuning keriting dan tidak bergejala. Metode ini dapat dimanfaatkan untuk menganalisis karakteristik morfologi bentuk daun bergejala penyakit yang ditemukan di lapangan sehingga memudahkan dalam kegiatan pemantauan penyakit tanaman pada skala luas. Bahkan perpaduan kedua metode tersebut berpotensi dikembangkan sebagai *tool* untuk membantu dalam mengelompokkan daun bergejala kuning keriting sesuai tingkat keparahan gejala (penilaian tingkat keparahan penyakit tanaman).

DAFTAR PUSTAKA

- Ali U, Kikumoto M, Ciantia M, Cui Y, Previtali M. 2023. Systematic effect of particle roundness/angularity on macro- and microscopic behavior of granular materials. *Granular Matter*. 25(3):1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10035-023-01341-y>.
- Bhattacharyya D, Gnanasekaran P, Kumar RK, Kushwaha NK, Sharma VK, Yusuf MA, Chakraborty S. 2015. A geminivirus betasatellite damages the structural and functional integrity of chloroplasts leading to symptom formation and inhibition of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 66(19):5881–5895. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv299>.
- Dumaria T, Hidayat SH, Hidayat P. 2023. Metode termografi inframerah untuk deteksi dini *Pepper yellow leaf curl virus* pada tanaman cabai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 19(1):1–10. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.19.1.1-10>.
- Hasan A, Widodo, Mutaqin KH, Taufik M, Hidayat SH. 2021a. Quantitative assessment of mosaic disease severity based on digital image processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 694(012043):1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/694/1/012043>.
- Hasan A, Widodo, Mutaqin KH, Taufik M, Hidayat SH. 2021b. Metode single image-NDVI untuk deteksi dini gejala mosaik pada *Capsicum annum*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 17(1):9–18. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.17.1.9-18>.
- Hasan A, Widodo, Mutaqin KH, Taufik M, Hidayat SH. 2022. Characteristics of

- virus symptoms in chili plants (*Capsicum frutescens*) based on RGB image analysis. *Agrivita*. 44(3):459–469. DOI: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i0.3731>.
- Heilbronner R, Barrett S. 2014. Shape Descriptors. Di dalam: *Image Analysis in Earth Sciences: Microstructures and Textures of Earth Materials*. Berlin (DE): Springer-Verlag Berlin Heidelberg. hlm 1–520.
- Ibaraki Yasuomi, Gupta SD. 2015. Image analysis for plants: Basic procedures and techniques. Di dalam: Gupta SD, Ibaraki Y, editor. *Plant image analysis: Fundamentals and applications*. Boca Raton (FL): CRC Press, Taylor & Francis Group. hlm 25–40.
- Laliberté JF, Moffett P, Sanfaçon H, Wang A, Nelson RS, Schoelz JE. 2013. e-Book on plant virus infection - A cell biology perspective. *Frontiers Plant Science*. 4(203):1–2. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00203>.
- Laliberté JF, Sanfaçon H. 2010. Cellular remodeling during plant virus infection. *Annual Review Phytopathology*. 48:69–91. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114239>.
- Schindelin J, Arganda-carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, Preibisch S, Rueden C, Saalfeld S, Schmid B, et al. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*. 9(7):676–682. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>.
- Selangga DGW, Hidayat SH, Susila AD, Wiyono S. 2019. The effect of silica (SiO₂) to the severity of yellow leaf curl disease on chili pepper. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23(1):54–60. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.38951>.
- Szmańda JB, Witkowski K. 2021. Morphometric parameters of krumbein grain shape charts—a critical approach in light of the automatic grain shape image analysis. *Minerals*. 11(9):1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11090937>.
- Taufik M, Firihi MZ, Hasan A, Variani VI, Gusnawaty HS, Botek M. 2023a. Vegetation index value on chili leaves with symptoms of geminivirus disease (case study in Konda district, Konawe Selatan regency, Southeast Sulawesi). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1182:012004. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012004>.
- Taufik M, Hasan A, Hidayat SH, Parawansa AK, Tasrif A. 2023b. Penilaian keparahan gejala virus pada *Capsicum frutescens* berbasis indeks vegetasi dan pengamatan visual di lapangan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 11(1):665–672. DOI: <https://doi.org/10.23960/jat.v11i1.6063>.
- Taufik M, Hasan A, Mallarangeng R, HS G, Khaeruni A, Botek M, Syair. 2023c. Relationship between whitefly (*Bemisia tabaci*) population and Pepper yellow leaf curl disease on chili plant yield in the field. *Cropsaver: Journal of Plant Protection*. 6(1):19–25. DOI: <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v6i1.44927>.
- Taufik M, HS G, Syair S, Mallarangeng R, Khaeruni A, Botek M, Hartono S, Aidawati N, Hidayat P. 2023d. Sebaran penyakit daun keriting kuning pada pertanaman cabai di Sulawesi Tenggara dan identifikasi penyebabnya. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 19(3):89–98. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.19.3.89-98>.
- Zdilla MJ, Hatfield SA, McLean KA, Cyrus LM, Laslo JM, Lambert HW. 2016. Circularity, solidity, axes of a best fit ellipse, aspect ratio, and roundness of the foramen ovale: A morphometric analysis with neurosurgical considerations. *The Journal of Craniofacial Surgery*. 27(1): 222–228. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002285>.
- Zhao J, Zhang X, Hong Y, Liu Y. 2016. Chloroplast in plant-virus interaction. *Frontiers in Microbiology*. 7(1565):1–20. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01565>.