

Uji Vigor Benih Cabai (*Capsicum* sp.) dengan Metode *Radicle Emergence* Menggunakan Analisis Citra Digital

*Pepper (*Capsicum* sp.) Seed Vigor Test using Radicle Emergence Method and Digital Image Processing*

Hafidz Ade Wirianto¹, Candra Budiman^{2*}, Rahmad Suhartanto²

¹Program Studi Agronomi dan Hortikultura Departemen Agronomi dan Hortikultura,
Institut Pertanian Bogor (IPB University)

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, (IPB University)
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

*Penulis Korespondensi: candraagh42@yahoo.com

Disetujui: 17 November 2023 / *Published Online* Januari 2024

ABSTRACT

Radicle emergence method as a pepper seed vigor test was carried out to get a faster and more accurate seed quality test. The application of digital image processing technology with image-J software is to obtain quantitative data of seed diameter/length, and radicle length at each observation interval. Observations of the radicle emergence were carried out every three hours, from 72 hours to 126 hours. Radicle emergence vigor test that ISTA has determined is to observe the germination of seeds with a radicle length of 2 mm to estimate the quality of the seeds. This research was conducted by observing the number of seeds that have four categories of radicle length 1 mm, 2 mm, 50% seed length (PJB), and seed length (PJB), and performed correlation analysis on several benchmarks of seed quality in the laboratory (germination, vigor index, maximum growth potential, and growth rate) and nurseries (number of leaves, plant height, and percentage of growth). Based on the test results using image processing, the radicle length category 1 mm (84 hour interval) and 2 mm (93 hour interval) had a strong correlation with the seed vigor benchmark, while the radicle length category $\geq 50\%$ PJB and \geq PJB only had a strong correlation with vigor index and growth rate. The average radicular length at 114 hours of observation also has a strong relationship with the vigor index and the growth rate.

Keywords: correlation, germination, radicle length, seedling growth rate

ABSTRAK

Penggunaan metode *radicle emergence* sebagai uji vigor benih cabai dilakukan untuk mendapatkan waktu pengujian mutu benih yang lebih cepat dan akurat. Penerapan teknologi pengolahan citra digital dengan *software image-J* bertujuan untuk mendapatkan data kuantitatif informasi benih berupa diameter/panjang benih, dan panjang radikula pada setiap interval pengamatan. Pengamatan kemunculan radikula dilakukan selama tiga jam sekali dimulai pada interval 72 jam hingga 126 jam. Uji vigor *radicle emergence* yang telah ditetapkan ISTA adalah mengamati perkecambahan benih yang memiliki panjang radikula sebesar 2 mm untuk menduga mutu benih yang diuji. Penelitian ini dilakukan dengan mengamati jumlah benih yang memiliki empat kategori panjang radikula yaitu ≥ 1 mm, ≥ 2 mm, $\geq 50\%$ panjang benih (PJB), dan \geq panjang benih (PJB), dan melakukan analisis korelasi pada beberapa tolok ukur mutu benih di laboratorium (daya berkecambah, indeks vigor, potensi tumbuh maksimum, dan kecepatan tumbuh) dan di persemaian (jumlah daun, tinggi tanaman, dan persentase daya tumbuh). Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan citra digital pada kategori panjang radikula ≥ 1 mm (interval 84 jam) dan ≥ 2 mm (interval 93 jam) memiliki korelasi yang kuat dengan tolok ukur vigor benih, sedangkan pada kategori panjang radikula $\geq 50\%$ PJB dan \geq PJB hanya memiliki korelasi yang kuat dengan indeks vigor dan kecepatan tumbuh.

Kata kunci: daya berkecambah, kecepatan tumbuh benih, korelasi, panjang radikula

PENDAHULUAN

Cabai merupakan komoditas yang sangat diminati oleh masyarakat Indonesia sehingga produktivitas cabai harus terus ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan. Pada tahun 2015, produksi cabai di Indonesia mencapai 869.954 ton (cabai rawit), sedangkan pada tahun 2020 produksi cabai di Indonesia meningkat sebanyak 73% menjadi 1,508,404 ton (BPS, 2020). Data dari BPS diperkuat dengan data FAO (2019) yang menyatakan produktivitas cabai di Indonesia meningkat signifikan selama lima tahun terakhir. Produktivitas tahun 2015 hanya mencapai 74.888 kg ha⁻¹ dan meningkat sebesar 13% menjadi 86.179 kg ha⁻¹ pada tahun 2019. Produksi yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti luas lahan, bibit, pupuk, pestisida, dan tenaga kerja. Andayani (2016) menyatakan rata-rata penggunaan bibit cabai mencapai 6.227 pohon dan sekitar 15.747 pohon per ha. Hal ini menunjukkan permintaan bibit cabai yang tinggi di petani, sehingga produksi bibit perlu ditingkatkan. Benih cabai bermutu tinggi berperan penting dalam kegiatan pembibitan karena akan berpengaruh terhadap mutu bibit dan ketahanannya terhadap penyakit. Menurut Wiguna (2015), benih bermutu merupakan salah satu faktor penentu dalam pencapaian peningkatan produktivitas pertanian.

Uji mutu benih tanaman adalah kegiatan untuk menentukan kualitas benih. Benih yang baik memiliki vigor, daya berkecambah, tingkat kemurnian yang tinggi serta bebas dari patogen (Ilyas, 2012). Vigor benih adalah kemampuan benih menghasilkan tanaman normal pada lingkungan yang kurang memadai (sub optimum) dan mampu disimpan pada kondisi yang sub optimum (Sari dan Faisal, 2017). Benih yang memiliki vigor tinggi pada umumnya dipanen dari buah yang telah mengalami masak fisiologis, karena pada saat tersebut komponen biokimia di dalam benih telah berkembang secara sempurna/optimum (Sutopo, 2002). Pengujian vigor benih dapat dilakukan dengan beberapa metode salah satunya adalah uji *radicle emergence* (RE). Uji mutu benih tersebut dikembangkan oleh *International Seed Testing Association* (ISTA) dengan mengamati awal kemunculan radikula sepanjang 2 mm pada benih jagung, *oil seed rape*, dan lobak. Benih dengan daya berkecambah rendah menunjukkan awal dari proses deteriorasi benih yang bisa menyebabkan penurunan vigor benih (ISTA, 2018).

Penggunaan analisis citra digital pada pengembangan metode uji vigor RE dilakukan untuk

memudahkan pengamatan kemunculan radikula pada benih yang diamati, khususnya pada benih berukuran kecil. Hermender (2018) menyebutkan analisis citra digital memiliki banyak kelebihan dibandingkan analisis manual, yaitu lebih cepat dan bisa dilakukan otomatis sehingga pengujian lebih efisien.

Penelitian terkait pengembangan citra digital dalam analisis mutu benih sudah dilakukan oleh Taris (2020) pada benih mentimun. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan citra digital dapat digunakan dalam pengujian RE. Persentase pemunculan radikula yang dianalisis menggunakan analisis citra digital berkorelasi erat pada nilai rata-rata waktu perkecambahan, daya tumbuh lapang pada 4 minggu setelah tanam (MST), indeks vigor, dan daya berkecambah. Tujuan penelitian ini mengembangkan analisis citra digital sebagai alat untuk menguji mutu vigor benih dengan metode *radicle emergence*.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan yaitu Februari hingga Mei 2022. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Benih dan *Greenhouse* no. 6 Kebun Percobaan Cikabayan, Departemen Agronomi dan Hortikultura (AGH), Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bahan-bahan yang digunakan meliputi enam varietas benih cabai yaitu Sigantung, Dian, Maruti, Sonar, Pelita dan Dewata.

Bahan untuk uji laboratorium yaitu kertas buram, kain flanel berwarna hitam, akuades, alkohol 70%, dan stiker label. Bahan untuk uji di lapangan yaitu media semai dengan komposisi pupuk kandang, arang sekam, dan *cocopeat*. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan petri, alat pengecambah benih *eco-germinator*, *handsprayer*, pinset, mistar, kamera Sony α6400, tripod, lampu duduk 15 watt, perangkat lunak citra digital (*Image-J*). Alat yang digunakan untuk penelitian di *greenhouse* adalah tray semai, *handsprayer*, dan *net-house*.

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian pada uji laboratorium dan di persemaian adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan faktor tunggal yaitu varietas yang terdiri dari 6 varietas, yaitu Sigantung, Maruti, Sonar, Pelita, Dian, dan Dewata. Pengujian daya berkecambah (DB), indeks vigor (IV), potensi tumbuh maksimum (PTM) dan kecepatan tumbuh (Kct) dilakukan dengan metode uji diatas kertas (UDK). Setiap varietas dilakukan pengecambahan sebanyak 25 butir benih dan diulang sebanyak empat kali, sehingga jumlah benih yang dikecambahkan untuk setiap varietas adalah 100 butir

benih. Benih dikecambahkan dalam *eco-germinator* dengan suhu rata-rata 27.8 °C. Pengujian di *Greenhouse* dilakukan dengan menanam enam varietas benih cabai hingga 5 Minggu Setelah Tanam (MST) pada suhu rata-rata 29.4 °C. Parameter yang diamati yaitu persentase daya tumbuh (DT) dan perkembangan vegetatif tanaman berupa tinggi tanaman dan jumlah daun.

Pengambilan citra atau gambar dilakukan pada saat pengujian pemunculan radikula (*radicle emergence*) menggunakan metode Uji Di atas Kertas (UDK) dalam cawan petri, tetapi mengganti kertas buram menggunakan kain flanel berwarna hitam. Pengujian RE dan pengujian mutu fisiologis benih dilakukan pada waktu yang sama, hal ini bertujuan mencegah benih mengalami kerusakan setelah kemasan benih dibuka. Pengujian RE dilakukan dengan mengecambahkan setiap varietas sebanyak 25 butir benih pada cawan petri dan dilakukan pengulangan sebanyak empat kali. Jumlah seluruh benih yang dikecambahkan untuk tiap varietas adalah 100 butir benih. Benih dikecambahkan dalam *eco-germinator* dengan rata-rata suhu 27.8 °C. Pengamatan dilakukan setiap 3 jam mulai dari jam ke 72 hingga ke 126 jam menggunakan kamera dengan latar belakang kain berwarna hitam.

Gambar diproses dengan perangkat lunak pengolah gambar yaitu *Image-J* sehingga didapatkan data numerik berupa panjang radikula. Panjang radikula yang didapatkan kemudian dilakukan penggolongan menjadi empat kategori pada Tabel 1, yaitu ≥ 1 mm, ≥ 2 mm, $\geq 50\%$ PJB (panjang benih), dan \geq PJB. Setelah dilakukan penggolongan, dilakukan perhitungan persentase jumlah benih yang memenuhi empat kategori tersebut pada 19 interval pengamatan (72-126 jam).

Nilai persentase jumlah benih yang memenuhi kategori radikula tersebut kemudian dikorelasikan dengan hasil pengujian fisiologis benih DB, IV, PTM KCT, dan hasil pengujian di persemaian DT (2MST dan 3MST) menggunakan korelasi *pearson*. Analisis korelasi *pearson* menurut Elba (2015) digunakan untuk menyatakan besar hubungan linier antara dua variabel (persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula tertentu dengan tolok ukur mutu benih) untuk data kualitatif. Menurut Sugiyono (2013) analisis korelasi (r) dapat digunakan untuk mencari kuatnya hubungan antar variabel, serta menurut Kurniawan (2016) analisis regresi merupakan pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan/fungsi. Hubungan terkuat diinterval waktu tercepat antara persentase jumlah benih pada empat

kategori radikula dengan tolok ukur mutu benih yang ditandai dengan nilai koefisien korelasi (r) yang tinggi, akan dilanjutkan dengan analisis regresi linier sehingga didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan persamaan liniernya.

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis regresi linier sederhana, pada analisis regresi tersebut terdapat nilai koefisien determinasi (R^2) adalah nilai yang digunakan untuk mengukur besarnya kontribusi variabel *independent* (x) dalam penelitian ini adalah persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula pada kategori tertentu terhadap variasi (naik/turunnya) variabel dependen (y) yaitu tolok ukur mutu benih (Kurniawan, 2016). Model persamaan linier yang didapat digunakan untuk menduga nilai mutu fisiologis benih dengan variabel x berupa persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula tertentu dan variabel y adalah nilai mutu fisiologis benih dugaan. Nilai mutu fisiologis dugaan kemudian dilakukan uji korelasi dan uji t parsial dengan nilai mutu fisiologis aktual (hasil pengamatan). Hal tersebut dilakukan untuk menunjukkan terdapat korelasi yang kuat antara nilai mutu benih hasil dugaan menggunakan persentase RE dengan hasil pengamatan tolok ukur mutu fisiologis benih. Data diolah menggunakan perangkat lunak SPSS dan *Microsoft Excel*. Uji lanjut dilakukan menggunakan metode *Duncan multiple range test* (DMRT) dengan taraf uji 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Viabilitas dan Vigor Awal Benih

Hasil pengujian viabilitas dan vigor benih pada Tabel 2, terlihat viabilitas benih varietas Sigantung berbeda nyata dengan varietas yang lain. Varietas Sigantung memiliki viabilitas yang lebih rendah dibandingkan lima varietas lain yang diuji, nilai daya berkecambah yang dimiliki sebesar 90%. Walaupun memiliki nilai daya berkecambah terendah (90%), nilai DB varietas Sigantung tersebut masih masuk dalam kategori bagus karena menurut Kementan (2019) nilai DB minimum untuk benih cabai rawit bermutu kategori benih sebar adalah 70%. Tolok ukur potensi tumbuh maksimum untuk masing-masing varietas tidak berbeda nyata untuk uji DMRT taraf nyata 5%. Tolok ukur indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih memiliki perbedaan yang nyata pada uji DMRT 5%,

Nilai indeks vigor varietas Pelita, Sonar dan Dewata lebih tinggi dibandingkan dengan varietas Sigantung, Maruti dan Dian. Pada tolok ukur kecepatan tumbuh benih varietas Pelita dan Dewata

tidak berbeda nyata, kedua varietas tersebut memiliki nilai kecepatan tumbuh lebih tinggi, sedangkan varietas Sigantung memiliki kecepatan tumbuh yang lebih lambat dengan nilai Kct sebesar 10.013% /etmal. Hasil pengujian mutu benih kemudian akan dilakukan uji korelasi dengan pengamatan pertumbuhan radikula pada empat kategori panjang yaitu ≥ 1 mm, ≥ 2 mm, $\geq 50\%$ PJB, dan \geq PJB. Pengamatan RE yang akan dikorelasikan dilakukan dengan 19 interval yaitu dimulai dari 72 jam setelah pengecambahan sampai 126 jam setelah pengecambahan.

Tabel 3 menunjukkan pengamatan vegetatif tidak dipengaruhi secara nyata oleh varietas yang diteliti. Selama pengamatan dari 2 MST hingga 5 MST tidak ada perbedaan pada tolok ukur tinggi tanaman dan jumlah daun antar varietas. Maka, tidak dilakukan uji lanjut pada pengamatan tolok ukur vegetatif antar varietas. Hal ini juga menunjukkan bahwa mutu benih tidak mempengaruhi vegetatif tanaman, sehingga pengamatan vegetatif yang dilakukan pada penelitian ini tidak dapat dijadikan tolok ukur kualitas benih yang diuji.

Tabel 2. Uji viabilitas dan vigor benih cabai di laboratorium menggunakan *eco-germinator*

Varietas	Tolak ukur			
	DB (%)	IV (%)	PTM (%)	KCT (% per hari)
Sigantung	90b	18b	95a	10.01d
Maruti	99a	37b	95a	12.48bc
Sonar	97a	57a	98a	13.13ab
Pelita	99a	73a	99a	14.30a
Dian	97a	25b	99a	11.60c
Dewata	100a	68a	100a	14.24a
P-value	**	**	tn	**

Keterangan: DB = daya berkecambah (setelah 14 hari), IV = indeks vigor (setelah 7 hari), PTM = potensi tumbuh maksimum, KCT = kecepatan tumbuh. Huruf yang berbeda dalam kolom menunjukkan ada perbedaan yang signifikan dalam uji lanjut DMRT $\alpha = 0.05$.

Tabel 3. Pengamatan vegetatif (rata-rata jumlah daun dan tinggi tanaman cabai) di persemaian

Varietas	Tinggi tanaman (cm)				Jumlah daun			
	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
Sigantung	1.10	1.79	1.50	2.97	1.50	2.70	3.20	2.85
Maruti	1.39	2.30	2.50	4.06	2.50	3.70	4.15	4.37
Sonar	1.40	2.10	2.88	3.40	2.88	2.94	3.72	3.73
Pelita	1.64	2.48	3.29	4.40	3.29	3.85	4.13	4.27
Dian	1.21	1.97	2.81	4.53	2.82	3.65	4.52	4.72
Dewata	1.40	2.17	3.16	5.18	3.16	3.32	5.36	5.27
P-value	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: tn = Tidak berbeda nyata dalam pengujian ANOVA $\alpha = 0.05$.

Varietas Dewata pada pengamatan daya tumbuh memiliki nilai yang kecil, hal ini dikarenakan selama kegiatan pengamatan terdapat kendala berupa hama burung yang menyerang persemaian khususnya pada tray semai varietas Dewata, sehingga terdapat perbedaan nilai yang tinggi antara hasil pengujian vigor di laboratorium dan persemaian. Serangan hama burung tersebut terjadi pada 2 MST sehingga persentase jumlah benih pada varietas Dewata tidak mengalami perubahan yang signifikan pada pengamatan minggu selanjutnya karena sebagian

benih yang telah berkecambah mati. Setelah terjadi serangan hama burung, dilakukan pemasangan *net-house* pada persemaian untuk mencegah serangan terjadi kembali. Nilai persentase daya tumbuh (DT) pada persemaian di 2 MST kemudian akan dikorelasikan dengan nilai pemunculan radikula (RE). Pemilihan DT pada 2 MST untuk diuji korelasi karena terdapat perbedaan yang nyata pada nilai DT antar varietas di 2 MST dan belum rusak diserang burung. Berdasarkan perbedaan nilai DT tersebut dapat disimpulkan bahwa benih yang diuji memiliki

nilai vigor yang berbeda-beda.

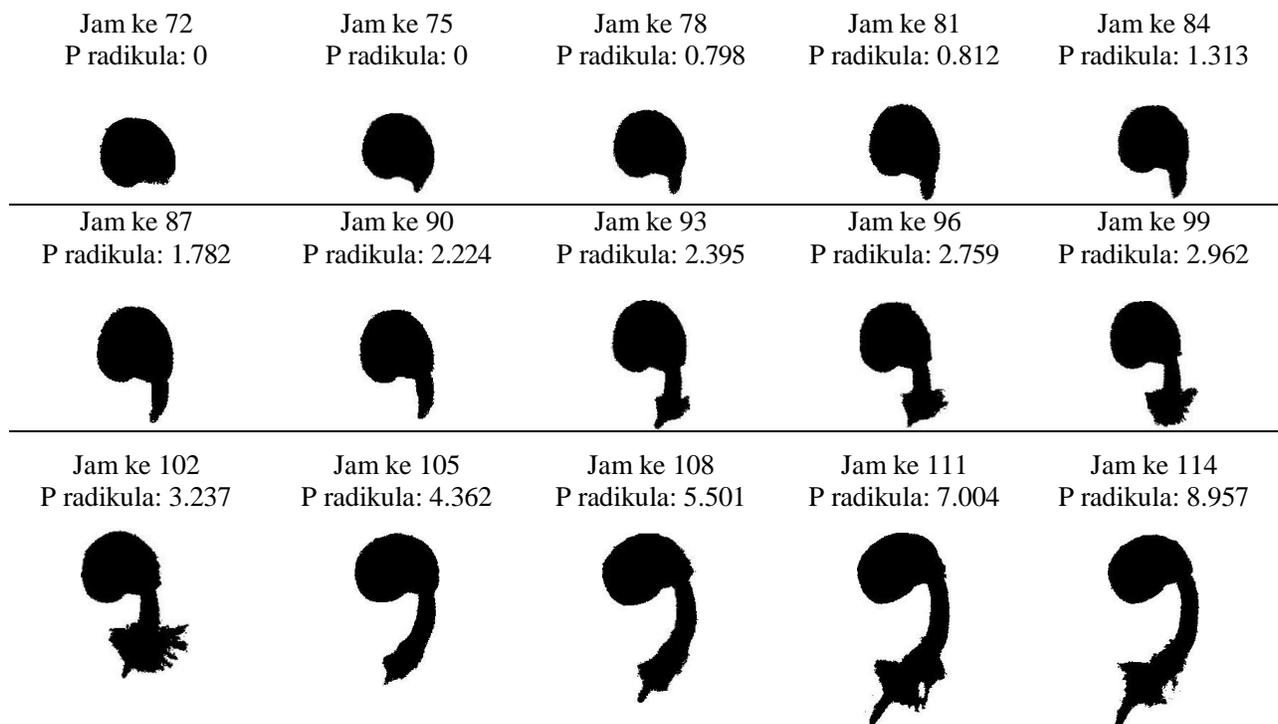
Gambar 1 merupakan citra benih yang dikonversi menjadi citra *binary*. Citra dibawah adalah benih varietas Pelita pada ulangan satu, dan benih nomor lima. Benih diamati sejak interval 72 jam, ketika radikula pada benih belum tumbuh (belum teramati). Saat benih masuk interval 75 jam radikula mulai tumbuh namun belum menembus kulit benih sehingga hanya terlihat tonjolan saja, maka panjang radikula dianggap 0 mm. Benih tumbuh radikula pada interval 78 jam dengan panjang radikula 0.798 mm, pada interval tersebut benih belum masuk kedalam empat kategori radikula yang ditetapkan dalam penelitian ini. Benih masuk pada empat

kategori radikula $\geq 1\text{mm}$, $\geq 2\text{mm}$, $\geq 50\%$ PJB, dan \geq PJB berturut-turut pada interval 84 jam, 90 jam, 90 jam, dan 105 jam. Benih masuk kedalam kategori benih $\geq 2\text{mm}$ dan $\geq 50\%$ PJB pada interval yang sama yaitu 90 jam, hal ini karena 50% PJB untuk varietas Pelita ulangan satu rata-rata sebesar 1.88 mm. kategori panjang radikula \geq PJB, varietas pelita membutuhkan panjang radikula sebesar 3.76 mm. Interval pengamatan 84 jam benih memiliki ukuran panjang radikula sebesar 1.31 m, pada interval 90 jam panjang radikula mencapai 2.22 mm, dan untuk interval 105 jam benih memiliki panjang radikula sebesar 4.36 mm (lebih panjang dari ukuran benih).

Tabel 4. Pengamatan persentase daya tumbuh cabai di persemaian

Varietas	Daya tumbuh (%)				
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST
Sigantung	7.5a	35.0cd	34.0d	31.5c	31.5d
Maruti	1.5a	63.5bc	75.0ab	73.0ab	72.5ab
Sonar	11.0a	73.0ab	79.5ab	76.0ab	75.0ab
Pelita	6.0a	90.0a	98.5a	96.5a	96.5a
Dian	3.0a	50.0bcd	66.0bc	66.5b	66.0bc
Dewata	5.5a	41.5cd	42.5cd	39.0c	39.0cd

Keterangan: Huruf yang berbeda dalam kolom menunjukkan perbedaan yang signifikan pada uji lanjut DMRT $\alpha = 0.05$.



Gambar 1. Citra *binary* pada varietas Pelita ulangan 1, benih nomor 5 pada 19 interval pengamatan, panjang radikula (mm)

Analisis Korelasi dan Regresi pada Panjang Radikula ≥ 1 mm

Hasil analisis korelasi dan regresi pada Tabel 5 menunjukkan, korelasi yang kuat pada tolok ukur indeks vigor dan koefisien determinasi yang tinggi. Interval pengamatan dengan korelasi terkuat pada 84 jam memiliki koefisien determinasi sebesar 0.646, hal ini menunjukkan keragaman indeks vigor dipengaruhi oleh jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 1 mm pada 84 jam sebesar 64.6% dan persentase sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Nilai koefisien determinasi yang tinggi juga terdapat pada tolok ukur kecepatan tumbuh benih, dengan nilai tertinggi berada di interval 84 jam yaitu sebesar 0.636. Koefisien determinasi 0.636 menggambarkan bahwa kecepatan tumbuh benih dipengaruhi oleh jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 1 mm sebesar 63.6% untuk interval 84 jam, sedangkan persentase sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Tolok ukur daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum memiliki korelasi yang rendah, sehingga nilai koefisien determinasi yang didapat juga rendah. Kedua tolok ukur tersebut memiliki koefisien determinasi (R^2) dibawah 0.5, dengan interpretasi daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum dipengaruhi oleh faktor jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 1 mm dibawah 50%. Koefisien determinasi yang rendah menurut Kurniawan (2016) menunjukkan bahwa banyak faktor lain yang tidak

diketahui mempengaruhi variabel y (nilai daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum benih) selain variabel x (jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 1 mm).

Analisis regresi linier untuk interval 84 jam dilakukan karena memiliki korelasi terkuat pada tolok ukur indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih, dengan nilai koefisien korelasi berurutan sebesar 0.804 dan 0.797. Persamaan regresi linier untuk kedua tolok ukur tersebut yaitu $y = 0.7092x + 0.3351$ untuk indeks vigor dan $y = 0.05x + 10.19$ untuk kecepatan tumbuh. Besarnya nilai koefisien korelasi dan didukung dengan hubungan kuat pada nilai koefisien determinasi (R^2) maka interval 84 jam dapat direkomendasikan untuk penelitian lebih lanjut terkait uji RE benih cabai dengan kategori panjang radikula ≥ 1 mm.

Analisis Korelasi dan Regresi pada Panjang Radikula ≥ 2 mm

Hasil analisis Tabel 6 nilai korelasi terkuat tolok ukur indeks vigor terdapat pada interval 93 jam dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0.643. Tolok ukur indeks vigor pada interval 93 jam dapat diduga dengan jumlah benih yang memiliki panjang radikula pada interval tersebut sebesar 64.3% dan persentase sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Korelasi kuat dengan tolok ukur kecepatan tumbuh dimulai pada interval 81 jam dengan puncak korelasi terkuat pada interval 93 jam dengan nilai 0.799.

Tabel 5. Analisis korelasi dan regresi persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 1 mm dengan pengamatan tolok ukur mutu benih

Interval (Jam)	Tolok ukur mutu benih							
	DB		IV		PTM		Kct	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
81	0.497	0.247	0.772*	0.595	0.244	0.059	0.769*	0.592
84	0.526	0.277	0.804**	0.646	0.293	0.086	0.797*	0.636
87	0.454	0.206	0.776*	0.602	0.206	0.043	0.747*	0.558
90	0.442	0.196	0.783*	0.612	0.206	0.043	0.742*	0.550
93	0.480	0.231	0.744*	0.554	0.239	0.057	0.729*	0.531
96	0.537	0.288	0.767*	0.588	0.272	0.074	0.769*	0.591
99	0.561	0.315	0.778*	0.605	0.310	0.096	0.784*	0.614
102	0.593	0.351	0.756*	0.571	0.364	0.132	0.780*	0.608
105	0.626*	0.392	0.759*	0.576	0.400	0.160	0.790*	0.625
108	0.640*	0.410	0.750*	0.563	0.436	0.190	0.786*	0.619
111	0.659*	0.434	0.737*	0.543	0.476	0.227	0.781*	0.611
114	0.677*	0.458	0.702*	0.493	0.466	0.217	0.763*	0.582
117	0.680*	0.463	0.695*	0.484	0.470	0.221	0.757*	0.574

Keterangan: DB = daya berkecambah, IV = indeks vigor, PTM = potensi tumbuh maksimum, Kct = kecepatan tumbuh, * = berkorelasi kuat, ** = berkorelasi sangat kuat.

Tabel 6. Analisis korelasi dan regresi persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 2 mm dengan pengamatan tolok ukur mutu benih di laboratorium

Interval	Tolok ukur mutu benih							
	DB		IV	PTM		Kct		
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
81	0.423	0.179	0.663*	0.439	0.098	0.010	0.669*	0.447
84	0.395	0.156	0.684*	0.468	0.079	0.006	0.681*	0.464
87	0.404	0.164	0.684*	0.467	0.100	0.010	0.685*	0.469
90	0.467	0.218	0.729*	0.532	0.196	0.038	0.735*	0.540
93	0.526	0.277	0.802**	0.643	0.246	0.061	0.799*	0.638
96	0.493	0.243	0.768*	0.590	0.233	0.054	0.762*	0.581
99	0.461	0.213	0.772*	0.596	0.211	0.044	0.742*	0.550
102	0.440	0.194	0.760*	0.578	0.204	0.042	0.727*	0.528
105	0.488	0.238	0.817**	0.668	0.246	0.061	0.784*	0.614
108	0.537	0.289	0.803**	0.645	0.266	0.071	0.797*	0.635
111	0.577	0.333	0.782*	0.611	0.321	0.103	0.796*	0.633
114	0.567	0.321	0.769*	0.591	0.355	0.126	0.776*	0.603
117	0.601*	0.361	0.767*	0.589	0.369	0.136	0.781*	0.610

Keterangan: DB = daya berkecambah, IV = indeks vigor, PTM = potensi tumbuh maksimum, Kct = kecepatan tumbuh, * = berkorelasi kuat, ** = berkorelasi sangat kuat.

Nilai koefisien determinasi untuk analisis regresi kecepatan tumbuh pada 93 jam yaitu sebesar 0.547, hal ini menunjukkan bahwa sebesar 54.7%, kecepatan tumbuh benih dapat dijelaskan oleh persentase jumlah benih dengan radikula ≥ 2 mm pada interval tersebut. Tolok ukur potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah benih tidak memiliki korelasi yang kuat, sehingga nilai koefisien determinasi (R²) pada seluruh interval dibawah 0.5, tolok ukur potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah dapat dijelaskan oleh persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula ≥ 2 mm dengan nilai dibawah 50% (banyak faktor lain yang mempengaruhi).

Analisis regresi linier untuk tolok ukur indeks vigor pada interval 93 jam, dapat dijelaskan pada persamaan linier $y = 0.705x + 12.023$. Analisis regresi linier pada tolok ukur kecepatan tumbuh dapat dijelaskan dengan persamaan linier $y = 0.0499x + 10.2$. Kedua tolok ukur tersebut memiliki nilai koefisien (R²) diatas 0.5, maka interval 93 jam untuk kategori panjang radikula ≥ 2 mm dapat direkomendasikan untuk dilakukan pengembangan uji vigor benih dengan metode *radicle emergence*. Korelasi sangat kuat pada interval 93 jam pada tolok ukur indeks vigor lebih cepat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Karuniasari (2016) dan Kusumawardhana *et al.* (2018) pada interval 120 jam, penelitian oleh Sulistyaningrum (2019) pada interval 114 jam, serta penelitian oleh Ermis *et al.*(2016) yang menggunakan interval 96 jam untuk

menduga mutu benih cabai dengan uji RE. Hal tersebut disebabkan *germinator* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *eco-germinator* sehingga suhu dan kelembaban yang digunakan untuk pengecambahan tidak dapat di kontrol. Menurut Taghfir (2018) suhu dapat mempengaruhi aktivitas respirasi dalam benih sehingga apabila benih berada pada suhu yang rendah kandungan cadangan benih dapat dipertahankan kualitasnya. Menurut Purba (2013) respirasi benih dapat meningkat akibat aktivitas enzim yang ada dalam benih serta di pengaruhi oleh kadar air dan kelembaban nisbi ruangan yang tinggi. Aktivitas respirasi tersebut menyebabkan benih dapat lebih cepat untuk berkecambah.

Analisis Korelasi dan Regresi pada Panjang Radikula $\geq 50\%$ Panjang Benih

Tabel 7 menjelaskan korelasi kuat terjadi pada tolok ukur daya berkecambah pada interval 111-114 jam dengan nilai koefisien korelasi berturut-turut sebesar 0.652, 0.665, dan 0.667. Namun nilai R² pada tolok ukur daya berkecambah berada dibawah 0.5 yang menunjukkan jumlah benih dengan panjang radikula $\geq 50\%$ PJB hanya dapat menjelaskan nilai daya berkecambah dibawah 50% atau terdapat banyak faktor lain yang mempengaruhi. Tolok ukur indeks vigor dan kecepatan tumbuh memiliki hubungan yang sangat kuat pada interval 105 jam dengan panjang rata-rata radikula yang tumbuh sebesar 4.70 mm.

Tabel 7. Analisis korelasi dan regresi persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula $\geq 50\%$ PJB dengan pengamatan tolok ukur mutu benih di laboratorium

Interval	Tolok ukur mutu benih							
	DB		IV		PTM		Kct	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
81	0.517	0.268	0.698*	0.487	0.209	0.044	0.733*	0.538
84	0.425	0.181	0.664*	0.441	0.111	0.012	0.680*	0.463
87	0.477	0.227	0.699*	0.489	0.191	0.036	0.726*	0.528
90	0.508	0.258	0.756*	0.572	0.236	0.056	0.766*	0.587
93	0.533	0.284	0.796*	0.633	0.266	0.071	0.791*	0.626
96	0.515	0.266	0.771*	0.594	0.246	0.061	0.774*	0.598
99	0.498	0.248	0.752*	0.566	0.249	0.062	0.747*	0.559
102	0.482	0.233	0.757*	0.574	0.232	0.054	0.749*	0.562
105	0.537	0.288	0.805**	0.648	0.274	0.075	0.799*	0.639
108	0.593	0.352	0.790*	0.624	0.324	0.105	0.808**	0.653
111	0.652*	0.425	0.742*	0.550	0.416	0.173	0.790*	0.625
114	0.665*	0.442	0.755*	0.570	0.447	0.200	0.799*	0.638
117	0.667*	0.446	0.747*	0.558	0.457	0.209	0.787*	0.619

Keterangan: DB = daya berkecambah, IV = indeks vigor, PTM = potensi tumbuh maksimum, Kct = kecepatan tumbuh, * = berkorelasi kuat, ** = berkorelasi sangat kuat.

Nilai koefisien korelasi dengan tolok ukur indeks vigor pada interval 105 jam sebesar 0.805, dan nilai koefisien determinasi sebesar 0.648. Sehingga pada interval 105 jam indeks vigor benih dapat diduga dengan jumlah benih yang memiliki panjang radikula $\geq 50\%$ PJB sebesar 64.8%. Tolok ukur kecepatan tumbuh benih memiliki hubungan sangat kuat pada interval 108 jam dan hubungan kuat pada interval 81- 105 jam dan 111-117 jam. Namun, interval pengamatan yang direkomendasikan peneliti adalah interval 105 jam, karena pada interval tersebut terdapat hubungan yang sangat kuat dengan indeks vigor. Sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengembangkan uji vigor benih maka tolok ukur indeks vigor menjadi patokan dalam penentuan interval pengamatan. Nilai koefisien korelasi dengan tolok ukur kecepatan tumbuh pada interval 105 jam sebesar 0.799, dengan koefisien determinasi sebesar 0.639, hal tersebut menunjukkan bahwa tolok ukur kecepatan tumbuh benih dapat diduga oleh jumlah benih dengan panjang radikula $\geq 50\%$ PJB sebesar 63.9%. Korelasi yang rendah pada potensi tumbuh maksimum dengan kategori panjang radikula $\geq 50\%$ PJB memiliki nilai koefisien determinasi yang kecil, sehingga nilai PTM tidak dapat dijelaskan dengan persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula $\geq 50\%$ PJB. Analisis regresi linier untuk interval yang memiliki korelasi terkuat (105 jam) dengan tolok ukur indeks vigor dapat dijelaskan

dengan persamaan regresi linier. Persamaan yang dapat menjelaskan hubungan tersebut yaitu $y = 0.7177x + 0.6373$. Analisis regresi linier untuk tolok ukur kecepatan tumbuh pada interval dengan korelasi kuat (105 jam) dapat dilihat hubungannya melalui persamaan garis $y = 0.0506x + 9.4034$.

Analisis Korelasi dan Regresi pada Kategori Panjang Radikula \geq Panjang Benih

Tabel 8 menjelaskan bahwa persentase antara jumlah benih yang memiliki radikula \geq PJB memiliki hubungan yang kuat dengan tolok ukur indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih. Hubungan yang sangat kuat dengan tolok ukur indeks vigor terlihat dari koefisien korelasi yang didapatkan bernilai positif lebih dari 0.8. korelasi yang sangat kuat tersebut terjadi pada interval 108 sampai 117 jam, dengan nilai rentang koefisien korelasi sebesar 0.800 - 0.836. Nilai koefisien korelasi terbesar berada pada interval 114 jam dengan nilai 0.836 yang memiliki rata-rata panjang radikula yang tumbuh 6.55 mm. Nilai koefisien determinasi untuk interval 114 jam sebesar 0.699, hal ini menunjukkan bahwa indeks vigor benih dapat dijelaskan dengan jumlah benih yang memiliki panjang radikula \geq PJB pada interval 114 sebesar 69.9%, dan persentase lainnya dipengaruhi oleh faktor yang tidak diketahui.

Tabel 8. Analisis korelasi dan regresi persentase jumlah benih yang memiliki panjang radikula \geq PJB dengan pengamatan tolok ukur mutu benih di laboratorium

Interval	Tolok ukur mutu benih							
	DB		IV		PTM		Kct	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
81	0.229	0.053	0.356	0.127	0.081	0.007	0.363	0.132
84	0.321	0.103	0.462	0.214	0.127	0.016	0.463	0.215
87	0.412	0.170	0.585	0.342	0.208	0.043	0.589	0.347
90	0.530	0.281	0.686*	0.471	0.318	0.101	0.701*	0.492
93	0.528	0.279	0.691*	0.478	0.251	0.063	0.710*	0.504
96	0.484	0.234	0.632*	0.399	0.201	0.040	0.666*	0.444
99	0.458	0.210	0.668*	0.446	0.171	0.029	0.690*	0.476
102	0.449	0.202	0.735*	0.541	0.135	0.018	0.743*	0.552
105	0.500	0.250	0.761*	0.579	0.204	0.042	0.779*	0.606
108	0.558	0.311	0.800**	0.640	0.268	0.072	0.822**	0.676
111	0.583	0.340	0.833**	0.694	0.296	0.087	0.845**	0.714
114	0.539	0.290	0.836**	0.699	0.284	0.081	0.824**	0.679
117	0.522	0.273	0.824**	0.678	0.286	0.082	0.797*	0.635

Keterangan : DB = daya berkecambah, IV = indeks vigor, PTM = potensi tumbuh maksimum, KCT = kecepatan tumbuh, r = koefisien korelasi, R² = koefisien determinasi, * = berkorelasi kuat, ** = berkorelasi sangat kuat.

Hubungan kuat juga terjadi pada tolok ukur kecepatan tumbuh benih, pada interval 108-114 jam. Korelasi yang kuat terlihat pada nilai koefisien korelasi di interval 108, 111, dan 114 jam dengan nilai koefisien berturut-turut sebesar 0.822, 0.845, dan 0.824. Setelah dilakukan analisis regresi pada interval 114 jam didapatkan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0.679. Maka, kecepatan tumbuh benih dapat dijelaskan dengan jumlah benih yang memiliki radikula \geq PJB pada interval 114 jam sebesar 67.9%, dan persentase sisanya dipengaruhi oleh faktor yang lain. Hasil analisis regresi linier sederhana antara jumlah persentase benih yang memiliki panjang radikula \geq PJB pada interval 114 jam dengan indeks vigor didapatkan persamaan linier $y = 0.7143x + 5.619$. Analisis regresi linier antara kecepatan tumbuh benih dengan jumlah benih dengan panjang radikula \geq PJB pada interval 114 jam, didapatkan persamaan linier yaitu $y = 0.05x + 9.7765$. Interval 114 jam, memiliki benih dengan rata-rata panjang radikula yang tumbuh sebesar 6.55 mm, panjang radikula tersebut sudah jauh melewati ketentuan RE oleh ISTA (2018) yang hanya menggunakan panjang radikula 2 mm, maka interval 114 jam tidak sesuai untuk pengujian RE.

Analisis Korelasi dan Regresi pada Empat Kategori Panjang Radikula dengan Daya Tumbuh di Persemaian

Hasil analisis korelasi dan regresi antara jumlah benih pada empat kategori radikula dengan

persentase daya tumbuh selama 2 MST terdapat korelasi yang kuat. Kategori panjang radikula \geq 1mm memiliki korelasi yang kuat pada interval 84 jam sampai 93 jam dengan nilai koefisien korelasi tertinggi pada 84 jam yaitu sebesar 0.728. Kategori panjang radikula \geq 2 mm memiliki korelasi kuat dari interval 84 jam sampai 99 jam dengan nilai koefisien korelasi berada di rentang 0.684-0.743. Kategori panjang radikula \geq 50% PJB memiliki korelasi yang kuat pada interval 84 – 99 jam dengan rentang nilai korelasi 0.714 – 0.751. Sedangkan, untuk kategori panjang radikula \geq PJB hanya memiliki korelasi yang kuat dengan persentase daya tumbuh lapang selama 2 MST pada interval 96 jam dan 99 jam dengan nilai korelasi berturut-turut sebesar 0.619 dan 0.644.

Korelasi terkuat untuk hubungan antara persentase daya tumbuh di persemaian pada 2 MST dengan beberapa kategori panjang radikula, berada pada interval 84 jam untuk kategori panjang radikula \geq 1 mm, dan 93 jam untuk kategori \geq 2 mm. Hasil analisis regresi linier untuk panjang radikula \geq 1 mm dengan persentase daya tumbuh memiliki koefisien regresi sebesar 0.530, dengan persamaan linier yaitu $y = 0.6322x + 25.852$, sehingga persentase daya tumbuh benih di persemaian dapat dijelaskan dengan jumlah benih yang memiliki panjang radikula \geq 1 mm sebesar 53%. Analisis regresi pada kategori panjang radikula \geq 2 mm dengan persentase daya tumbuh didapatkan hasil persamaan garis $y = 0.6197x + 28.677$, dengan nilai koefisien determinasi

sebesar 0.513, sehingga nilai persentase daya tumbuh dapat diduga dengan jumlah benih yang memiliki

radikula ≥ 2 mm sebesar 51.3% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Tabel 9. Analisis korelasi persentase jumlah benih yang memiliki pada empat kategori panjang radikula dengan pengamatan tolok ukur persentase daya tumbuh di persemaian (2 MST)

Interval	DT (%)							
	1 mm		2 mm		50% PJB		PJB	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
	2 MST							
84	0.728*	0.530	0.684*	0.467	0.720*	0.519	0.535	0.287
87	0.687*	0.472	0.743*	0.553	0.751*	0.564	0.490	0.240
90	0.661*	0.438	0.746*	0.557	0.744*	0.554	0.402	0.162
93	0.662*	0.438	0.716*	0.513	0.717*	0.514	0.537	0.288
96	0.640*	0.410	0.726*	0.527	0.745*	0.555	0.619*	0.384
99	0.564	0.319	0.714*	0.510	0.736*	0.542	0.644*	0.414

Keterangan : DT = daya tumbuh di persemaian, MST = minggu setelah tanam, 50% PJB = setengah panjang benih, PJB = panjang benih, R² = koefisien determinasi, * = berkorelasi kuat.** = berkorelasi sangat kuat.

Pengujian Model Pendugaan Metode Radicle Emergence

Persamaan linier yang didapatkan dari hasil analisis regresi linier digunakan untuk menduga mutu fisiologis benih. Nilai mutu benih dugaan dikorelasikan dengan nilai mutu benih aktual (hasil pengamatan) apabila terjadi korelasi yang kuat maka model persamaan linier tersebut dapat menduga mutu fisiologis benih secara akurat. Hasil pengujian model pendugaan untuk keseluruhan kategori panjang radikula didapatkan nilai koefisien korelasi yang kuat pada tolok ukur indeks vigor dan kecepatan tumbuh. Sedangkan, untuk pendugaan tolok ukur DT terdapat korelasi yang kuat antara data DT-dugaan dengan data DT-aktual pada kategori

panjang radikula ≥ 1 mm dan ≥ 2 mm di interval berturut-turut 84 dan 93 jam. Penggunaan kategori panjang radikula ≥ 1 mm (interval 84 jam) dan ≥ 2 mm (interval 93 jam), sangat baik untuk menduga mutu benih pada tolok ukur indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan persentase daya tumbuh. Ketiga tolok ukur mutu vigor tersebut pada pengujian uji t-parsial memberikan nilai thitung < tabel atau -thitung> -ttabel. Hal tersebut menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara nilai mutu fisiologis hasil dugaan dengan nilai mutu fisiologis hasil pengamatan, sehingga dapat disimpulkan model persamaan linier yang digunakan mampu menduga mutu fisiologis benih secara akurat.

Tabel 10. Hasil uji model pendugaan tolok ukur vigor benih (kecepatan tumbuh, indeks vigor, dan persentase daya tumbuh) dengan empat kategori panjang radikula menggunakan nilai korelasi pearson dan uji t parsial

Kategori panjang radikula	Interval pengamatan RE	Model Persamaan linier	Korelasi aktual-dugaan	Uji t parsial (THit - Ttab)
Indeks vigor				
≥ 1 mm	84 jam	$y = 0.7092x + 9.3351$	0.803**	$-2.5 \times 10^{-4} > -2.012$
≥ 2 mm	93 jam	$y = 0.705x + 12.023$	0.802**	$-5.2 \times 10^{-5} > -2.02$
$\geq 50\%$ PJB	105 jam	$y = 0.7177x + 0.6373$	0.804**	$-3.8 \times 10^{-4} > -2.012$
\geq PJB	114 jam	$y = 0.7143x + 5.619$	0.836**	$1.1 \times 10^{-4} < 2.012$
Kecepatan tumbuh				
≥ 1 mm	84 jam	$y = 0.05x + 10.019$	0.797*	$6.1 \times 10^{-4} < 2.012$
≥ 2 mm	93 jam	$y = 0.0499x + 10.2$	0.798*	$3 \times 10^{-3} < 2.012$
$\geq 50\%$ PJB	105 jam	$y = 0.0506x + 9.4034$	0.799*	$-4.6 \times 10^{-3} > -2.012$
\geq PJB	114 jam	$y = 0.05x + 9.7765$	0.824**	$-1.2 \times 10^{-3} > -2.012$

Keterangan : * = berkorelasi kuat, ** = berkorelasi sangat kuat, uji-t parsial yang digunakan menggunakan asumsi nilai dugaan dan aktual memiliki keragaman yang sama.

Tabel 10. Hasil uji model pendugaan tolok ukur vigor benih (kecepatan tumbuh, indeks vigor, dan persentase daya tumbuh) dengan empat kategori panjang radikula menggunakan nilai korelasi pearson dan uji t parsial (Lanjutan)

Kategori panjang radikula	Interval pengamatan RE	Model Persamaan linier	Korelasi aktual-dugaan	Uji t parsial (THit - Ttab)
Persentase daya tumbuh				
≥ 1 mm	84 jam	$y = 0.6322x + 25.852$	0.727*	$2.5 \times 10^{-4} < 2.012$
≥ 2 mm	93 jam	$y = 0.6197x + 28.677$	0.716*	$-3.9 \times 10^{-4} > -2.012$

Keterangan : * = berkorelasi kuat. ** = berkorelasi sangat kuat, uji-t parsial yang digunakan menggunakan asumsi nilai dugaan dan actual memiliki keragaman yang sama.

Seluruh hasil analisis di atas dapat menggambarkan hubungan yang kuat antara empat kategori panjang radikula dengan indeks vigor dan kecepatan tumbuh, sedangkan hubungan kuat dengan daya tumbuh di persemaian hanya terjadi pada kategori panjang radikula ≥ 1 mm dan ≥ 2 mm saja. Maka, dapat disimpulkan pengujian pemunculan radikula dengan kategori radikula ≥ 1 mm dan ≥ 2 mm sangat cocok untuk digunakan sebagai metode untuk menguji vigor benih cabai pada interval berturut-turut 84-93 jam. Menurut Marin *et al.* (2018) pengujian RE memiliki potensi untuk memprediksi kemampuan benih untuk berkecambah, hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yaitu nilai jumlah benih yang memiliki radikula pada empat kategori panjang berkorelasi kuat dengan tolok ukur mutu benih yaitu indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan daya tumbuh di persemaian (2 MST).

KESIMPULAN

Kesimpulan

Pengembangan metode uji vigor benih cabai dengan empat kategori panjang radikula menggunakan pengolahan citra digital, memiliki korelasi yang kuat pada tolok ukur indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan persentase daya tumbuh (2 MST). Kategori panjang radikula yang cocok untuk pengembangan metode uji adalah ≥ 1 mm dan ≥ 2 mm di interval berturut-turut 84 dan 93 jam. Kategori panjang radikula ≥ 50% PJB dan ≥ PJB tidak memiliki korelasi yang kuat dengan persentase daya tumbuh di persemaian. Maka, dapat disimpulkan pengujian vigor benih dengan metode *radicle emergence* menggunakan pengolahan citra digital dapat digunakan sebagai pengujian alternatif mutu benih yang cepat dan akurat.

Saran

Pengambilan citra digital sebaiknya menggunakan benih yang telah diberi perlakuan

warna yang sama dengan warna media pengecambahan, agar memudahkan pengubahan citra menjadi gambar biner sehingga yang akan terlihat pada *software Image-J* hanya radikulanya saja. Pengamatan pada interval 93 jam perlu dilakukan pengujian lebih lanjut menggunakan suhu terkontrol sesuai aturan ISTA, sehingga nantinya didapatkan data yang valid untuk menduga vigor benih.

DAFTAR PUSTAKA

- Andayani, S.A. 2016. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi cabai merah. *Mimbar Agribisnis*. 1(3):261-268. <https://doi.org/10.25157/ma.v1i3.46>
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020. Produksi tanaman sayuran 2020 [internet]. <https://www.bps.go.id/indicator/55/61/6/produksi-tanaman-sayuran.html> [diunduh 2021 Sep 13]
- Elba, D.S., N. Sa'diyah, Y. Nurmiaty. Korelasi antara karakterbuah terung (*Solanum melongena* L.) dan pengujian viabilitas benih setelah disimpan 6 bulan. *J. Agrotek Tropika*. 3(2):181-184. <https://doi.org/10.23960/jat.v3i2.1991>
- Ermis, S., E. Ozden, E.S. Njje, I. Demir. 2016. Pre-treatment germination percentages affected the advantage of priming treatment in pepper seeds. *Am. J. Exp. Agric*. 13(1):1-7. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2016/26810>
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2019. Crops and livestock Products [internet].S. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [diunduh 2021 Sep 13]
- Hemender, S. Sharma, V.S. Mor, Jitender, A. Bhuker. 2018. Image analysis: a modern approach to seed quality testing. *Curr. Appl. Sci. Technol*. 27(1):1-11. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/40945>

- Ilyas, S. 2012. Ilmu dan Teknologi Benih Teori dan Hasil-hasil Penelitian. Bogor: IPB Press.
- [ISTA] International Seed Testing Assosiation. 2018. International Rules for Seed Testing. Switzerland (CH): Bassersdorf.
- Karuniasari, D.I. 2016. Pengembangan metode uji vigor benih dan bibit dengan uji pemunculan radikula (Radicule Emergence) pada benih cabai [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2019. Keputusan menteri pertanian tentang teknis sertifikasi benih hortikultura. Jakarta: Kementan.
- Kurniawan, R., B. Yuniarto. 2016. Analisis Regresi Dasar dan Penerapannya dengan R. Jakarta (ID): Penerbit Kencana.
- Kusumawardana, A., B. Pujiasmanto, Pardono. 2019. Pengujian mutu benih cabai (*Capsicum annum*) dengan metode uji pemunculan radikula. J. Hort. 29(1):9-16. <https://doi.org/10.21082/jhort.v29n1.2019.p9-16>
- Marin, M., G. Laverack, A.A. Powell, S. Matthews. 2018. potential of the electrical conductivity of seed soak water and early counts of radicle emergence to assess seed quality in some native species. Seed Science and Technology. 46(1):71-86. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.1.07>
- Purba, H.W.S.F.E., Sitepu, Haryati. 2013. Viabilitas benih rosela (*Hibiscus sabdariffa L.*) Pada berbagai kadar air awal dan kemasan benih. J. Online Agroekoteknologi. 1(2):318-326.
- Sari, W., M.F. Faisal. 2017. Pengaruh Media Penyimpanan Benih Terhadap Viabilitas dan Vigor Benih Padi Pandanwangi. Agrosience. 7(2):300-310. <https://doi.org/10.35194/agsci.v7i2.155>
- Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D. Bandung (ID): Penerbit Alfabeta.
- Sulistyaningrum, B. 2019. Pendugaan vigor benih dan bibit dengan uji pemunculan radikula (*Radicule Emergence*) pada benih cabai [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sutopo, L. 2002. Teknologi Benih. Jakarta (ID): Raja Grafindo Persada.
- Taghfir, D.B., S. Anwar, B.A. Kristanto. 2018. Kualitas benih dan pertumbuhan bibit cabai (*Capsicum frutescens L.*) pada perlakuan suhu dan wadah penyimpanan yang berbeda. J. Agro Complex. 2(2):137-147. <https://doi.org/10.14710/joac.2.2.137-147>
- Taris, N.H. 2020. Pengembangan metode uji viabilitas benih mentimun (*Cucumis sativus L*) dengan engolahan citra digital [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor