

PENDUGAAN MUTU BENIH DENGAN TEKNOLOGI NEAR INFRARED (NIR)

Gani Jawak^{1*}

¹Dosen Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia

Email korepondensi: gani.jawak@ulm.ac.id

ABSTRAK

Near infrared (NIR) merupakan metode nondestruktif yang dapat dikembangkan dalam pengujian mutu benih. Penelitian ini dilakukan untuk menduga mutu benih dengan memanfaatkan NIR. Benih yang digunakan adalah benih bayam dan kacang tanah viabel dan nonviabel. Benih nonviabel diperoleh dengan merendam benih dalam etanol 96% (1 menit) dan dioven (60°C selama 24 jam). Pengujian dengan NIR dilakukan dengan meletakkan benih dalam cawan petri pada NIR *instrument* sebanyak tiga kali. Hasil pembacaan dilihat pada komputer. Pengujian laboratorium untuk mengetahui DB, PTM, dan KA. Kacang tanah dan bayam masing-masing ditanam dengan metode UKDdp dan UDK menggunakan empat ulangan masing-masing 25 benih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai reflektan benih kacang tanah viabel pada panjang gelombang 1000-2500 nm lebih rendah dibandingkan nonviabel. Nilai reflektan benih bayam viabel pada panjang gelombang 1000-1300 nm lebih tinggi dibandingkan benih nonviabel sedangkan pada panjang gelombang >1300 nm nilai reflektannya lebih rendah. KA dan PTM benih kacang tanah viabel berbeda nyata dengan benih nonviabel sedangkan daya berkecambahnya tidak berbeda nyata. KA, DB, dan PTM pada bayam viabel berbeda nyata dibandingkan dengan nonviabel. Pengujian mutu benih dengan memanfaatkan nilai reflektan NIR pada kacang tanah sejalan dengan hasil pengujian laboratorium dan dapat dijadikan alternatif dalam pengujian mutu benih secara non destruktif sedangkan pada bayam masih membutuhkan kajian lebih lanjut.

Kata Kunci: Bayam, kacang tanah, nondestruktif, korelasi.

ABSTRACT

Near infrared (NIR) is a nondestructive method that can be developed in seed quality testing. This study was conducted to estimate the quality of seeds by utilizing NIR. The seeds used are spinach and peanut seeds viabel and nonviabel. Nonviable seeds are obtained by soaking the seeds in 96% ethanol (1 minute) and ovening (60 °C for 24 hours). Testing with NIR was carried out by placing seeds in a petri dish on the NIR instrument three times. The readings are viewed on a computer. Laboratory testing to determine DB, PTM, and KA. Peanuts and spinach were each grown by UKDdp and UDK methods using four repetitions of 25 seeds each. The results showed that the reflectance value of viabel peanut seeds at wavelengths of 1000-2500 nm was lower than nonviabel. The reflectance value of viabel spinach seeds at wavelengths of 1000-1300 nm is higher than that of nonviable seeds while at wavelengths > 1300 nm the reflectance value is lower. KA and PTM of viabel peanut seeds differ markedly from nonviable seeds while their clogging power is not significantly different. KA, DB, and PTM in viabel spinach differ markedly compared to nonviabel. Testing seed quality by utilizing the NIR reflectance value in peanuts is in line with the results of laboratory testing and can be used as an alternative in non-destructive seed quality testing while spinach still requires further study.

Keywords: Correlation, nondestructiv, peanuts, spinach.

ISSN: 2962-3634

CIWAL: Jurnal Pertanian

<https://jurnal.unikastpaulus.ac.id/index.php/ciwal>

PENDAHULUAN

Infrared merupakan gelombang elektromagnetik dengan kisaran panjang gelombang lebih panjang dari spektrum cahaya tampak yaitu antara 700 –3000 nm atau 0.7-2.5 μm . *Infrared* dibagi atas tiga bagian yaitu near, middle, dan far infrared. *Near Infrared* (NIR) memiliki kisaran panjang gelombang 780–2500 nm atau jumlah gelombang per cm 12.800 cm^{-1} hingga 4000 cm^{-1} (Ruiz, 2001; Schwanninger *et al.*, 2011). Hasil kerja NIR dilihat dari besarnya reflektan dan absorban elektromagnetik dalam menganalisis komponen, kualitas, dan pemasakan. Teknologi NIR sangat sederhana dan bersifat nondestruktif. NIR dapat diaplikasikan dalam pengukuran bahan-bahan kimia kompleks seperti bahan pakan ternak, teknologi pascapanen, dan dalam bidang pertanian lainnya. NIR dapat diaplikasikan untuk bahan-bahan organik yang kaya dengan ikatan O–H (seperti kadar air, karbohidrat, lemak), ikatan C–H (seperti bahan–bahan organik turunan minyak bumi), dan ikatan N–H (seperti protein dan asam amino). Cara kerja dari alat NIR adalah dengan menghubungkan (korelasi) secara statistik sinyal NIR pada beberapa panjang gelombang

tertentu dengan karakteristik atau kandungan bahan yang diukur.

Reflektan dan absorpsi NIR membawa banyak informasi karena setiap molekul terdiri dari banyak ikatan kimia. Keragaman spektrum reflektan merupakan hasil pengukuran parameter yang diuji yang digambarkan dalam bentuk panjang gelombang, amplitudo, dengan tinggi, puncak dan lebar gelombang yang beragam intensitasnya. Keragaman informasi ini dapat menyulitkan dalam menginterpretasikan spektrum yang terbentuk. Menurut Schwanninger *et al.* (2011) teknologi *infrared* merupakan salah satu metode pengujian non destruktif, dapat menganalisis dengan kecepatan tinggi, tidak menimbulkan polusi, penggunaan preparat contoh yang sederhana dan tidak memerlukan bahan kimia.

Metode kalibrasi dapat digunakan untuk mendeskripsikan informasi dari spektrum NIR. Beberapa metode yang telah digunakan adalah *stepwise multiple linear regression*, metode *multivariate kalibrasi* seperti *principal component analysis* (PCA), *principal component regression* (PCR) dan *partial least square analysis* (PLS), metode algoritma *modified partial least-square regression* (MPLS) (Fontaine *et al.*, 2002).

NIR saat ini banyak dimanfaatkan untuk menduga mutu benih, metode ini dimanfaatkan karena selain mudah, cepat, persiapan sampel mudah, *online for process application* dan bisa diaplikasikan pada bahan organik dan bimaterial. Namun metode ini memiliki kekurangan dalam deteksi mutu benih yaitu membutuhkan kalibrasi dan *opportunity* untuk analisis data. Penggunaan metode ini dalam pengujian mutu benih telah banyak dimanfaatkan dalam pengukuran kadar air benih, pengukuran pH, total *soluble solid*, kandungan karbohidrat, dan kandungan minyak.

Firdaus dan Ahmad (2017) menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) dengan input reflektan gelombang NIR untuk mendeteksi varietas benih padi dengan tingkat keakuratan 98.1%. Firdaus *et al.* (2014) menyatakan bahwa reflektan gelombang NIR dapat digunakan untuk menduga daya berkecambah benih padi dengan tingkat keakuratan 80.05%. Percobaan ini dilakukan untuk menduga mutu benih dengan memanfaatkan NIR yang dikorelasikan dengan mutu benih berdasarkan viabilitas yang sebenarnya pada kondisi sub-optimum.

METODE

Tempat dan Waktu Percobaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2014 di Laboratorium Teknik Pengolahan dan Hasil Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biomassa Fakultas Teknologi Pertanian dan Laboratorium Penyimpanan Benih Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian IPB. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kacang tanah dan bayam, kertas CD, etanol, dan plastik. Peralatan yang digunakan adalah germinator cabinet APB IPB 72-1, pinset, cawan petri, oven, perangkat *instrument* NIR (Gambar 1) dan alat tulis lainnya.



Gambar 1. Seperangkat *Near Infrared* (NIR) *instrument* yang terkoneksi dengan komputer.

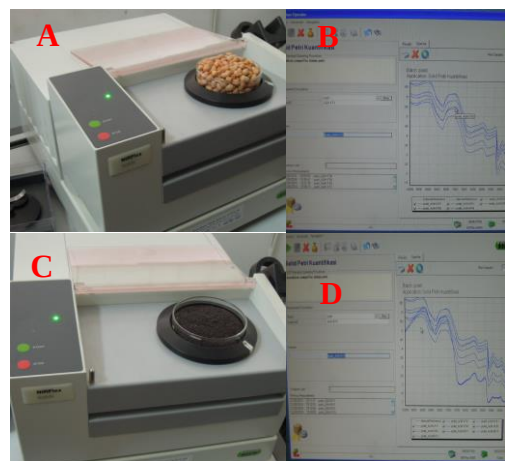
Penyiapan benih

Benih kacang tanah dan bayam dibagi menjadi dua kelompok.

Kelompok pertama adalah benih yang viabel (hidup) dan kelompok kedua adalah benih yang nonviabel (mati). Benih nonviabel diambil dari lot benih viabel yang kemudian diberi perlakuan pengusangan cepat berupa perendaman dalam etanol 96% selama 1 menit, dilanjutkan pemanasan dalam oven 60°C selama 24 jam. Pembagian kelompok benih viabel dan nonviabel ini dimaksudkan agar data yang terdeteksi oleh NIR instrument dapat terbaca dengan pembandingan yang jelas.

Pembacaan Senyawa Kimia dalam Benih dengan NIR Instrument

Benih kacang tanah dan bayam (baik yang viabel maupun nonviabel) dimasukkan dalam cawan petri secara merata. Cawan petri lalu diletakkan pada NIR instrument yang telah diaktifkan. NIR instrument akan membaca kandungan C, H, O, dan N yang terdapat pada senyawa kimia di dalam benih (Gambar 2). Pembacaan ini dilakukan pada beberapa titik yang berbeda secara otomatis. Data yang terekam lalu ditransfer ke komputer sehingga muncul data kuantitatif yang dapat diterjemahkan ke dalam bentuk grafik. Pembacaan dengan NIR instrument kedua kelompok benih dilakukan sebanyak 3 kali.



Gambar 2. Pembacaan kandungan C, H, O, dan N pada benih. (A) Peletakan benih kacang tanah pada NIR instrument, (B) Hasil pembacaan dalam tampilan grafik, (C) Peletakan benih bayam pada NIR instrument dan (D) Hasil pembacaan dalam tampilan grafik.

Pengujian Viabilitas Benih

Pengujian viabilitas benih dilakukan untuk membuktikan apakah perbedaan pembacaan senyawa oleh NIR instrument pada benih viabel dan non viabel setara dengan viabilitas benih sesungguhnya. Pengujian viabilitas benih dilakukan dengan tolok ukur daya berkecambah.

Analisis statistik hasil daya berkecambah benih menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap satu faktor. Faktor yang diberikan adalah status viabilitas benih yang terdiri dua taraf yaitu benih viabel (hidup) dan benih non viabel (mati). Uji lanjut *Duncans*

Multiple Range Test (DMRT) dilakukan apabila perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan pada taraf nyata 95% ($\alpha = 0.05$).

Pengujian daya berkecambah dilakukan dengan metode uji diatas kertas (UDK) dalam cawan petri untuk benih bayam dan uji kertas digulung didirikan dalam plastik (UKDdp) untuk benih kacang tanah (Jawak dan Juharni, 2022). Setiap jenis benih menggunakan 25 butir benih untuk pengujian. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak empat kali. Pengamatan pada masing-masing komoditas dilakukan pada hari ke-7 setelah tanam.

Pengamatan dilakukan terhadap viabilitas benih (daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum) dan kadar air benih. Penentuan kriteria kecambah normal sesuai dengan ISTA (2010). Penghitungan nilai daya berkecambah (DB) dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$DB (\%) = \frac{\sum KN}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Keterangan:

KN = Jumlah kecambah normal yang diamati pada pengamatan hari ke-7.

Potensi tumbuh maksimum (PTM) dihitung dengan rumus:

$$PTM (\%) = \frac{\sum KN \text{ total} + \sum KAB}{\sum \text{benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Keterangan:

KN = Jumlah total benih yang berkecambah normal pada pengamatan hari ke-7

KAB = Jumlah benih yang berkecambah abnormal pada pengamatan hari ke-7

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengkonfirmasi kandungan air di dalam benih. Kandungan air yang berbeda tentu saja akan berpengaruh terhadap pembacaan spectra NIR. Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan metode oven suhu rendah 103 -105°C selama ± 17 jam. Penghitungan kadar air benih (KAB) menggunakan rumus berikut:

$$KAB (\%) = \frac{K2-K3}{K2-K1} \times 100\%$$

Keterangan:

K1 = bobot wadah kosong

K2 = bobot wadah+benih sebelum dikeringkan dalam oven

K3 = bobot wadah+benih setelah dikeringkan dalam oven

HASIL DAN PEMBAHASAN

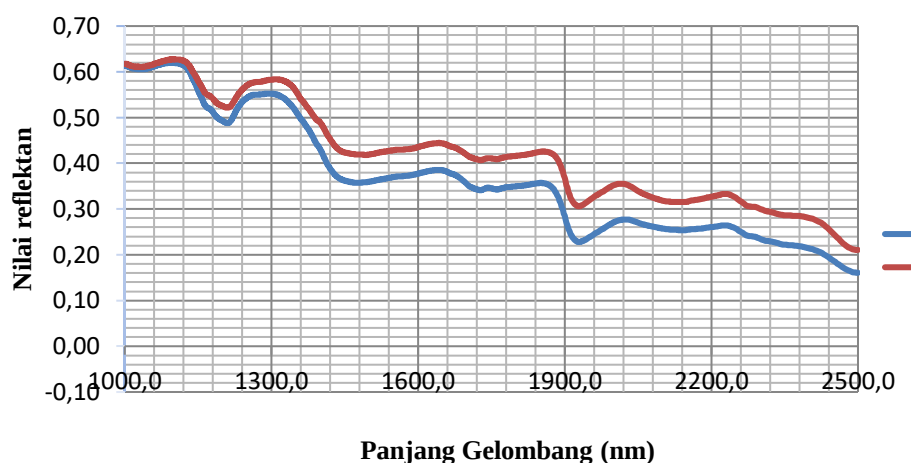
Spektra Reflektan NIR pada Benih Kacang Tanah dan Bayam

Hasil percobaan menggunakan NIR menunjukkan bahwa nilai reflektan dari benih kacang tanah viabel selalu lebih rendah dibandingkan nilai reflektan dari kacang tanah nonviabel (Gambar 3). Nilai reflektan yang lebih rendah menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan C, H, O, dan N yang diserap oleh alat. Hal ini mengindikasikan bahwa benih kacang tanah viabel memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan benih kacang tanah nonviabel. Hasil berbeda ditunjukkan oleh pengujian non-destruktif menggunakan bayam viabel dan bayam nonviabel (Gambar 4). Kisaran panjang gelombang 1000-1300 nm, nilai reflektan benih bayam viabel lebih tinggi dibandingkan nilai reflektan benih nonviabel tetapi pada kisaran panjang gelombang >1300 nm nilai reflektan benih bayam viabel lebih rendah dibandingkan benih bayam nonviabel.

Zulfahrizal et al. (2013) menyatakan bahwa Selang panjang gelombang 1445-1465 nm dan 1935-1955 nm memberi informasi kadar air serta panjang gelombang 1200-1220 nm, 1730-1750 nm, 1755-1775 nm, 2320-

2340 nm, dan 2340-2360 nm memberi informasi tentang kadar lemak. Osborne et al., (1995) menyatakan bahwa panjang gelombang 2500 nm dan 2488 nm menunjukkan nilai reflektan pati, panjang gelombang 1480 nm menunjukkan nilai reflektan glukosa, panjang gelombang 1450 nm menunjukkan nilai reflektan kadar air dan pati, pada panjang gelombang 1440 menunjukkan nilai reflektan pati dan sukrosa, panjang gelombang 1037 nm menunjukkan nilai reflektan minyak/oil dan pada panjang gelombang 1020 menunjukkan nilai reflektan protein. Kadar β -karoten dilihat pada nilai reflektan panjang gelombang 5000-5500 nm (Samson et al., 2013).

Nilai reflektan pati kacang tanah viabel pada panjang gelombang 2488 nm yaitu 0.160 lebih rendah dari kacang tanah nonviabel yaitu 0.212. Nilai reflektan protein benih kacang tanah viabel pada panjang gelombang 1020 nm yaitu 0.606 lebih rendah dari kacang tanah nonviabel yaitu 0.611. Nilai reflektan kandungan air kacang tanah viabel pada panjang gelombang 1450 nm yaitu 0.362 lebih rendah dari kacang tanah nonviabel yaitu 0.423. Secara umum terlihat pola nilai reflektan benih non viabel lebih tinggi dibandingkan

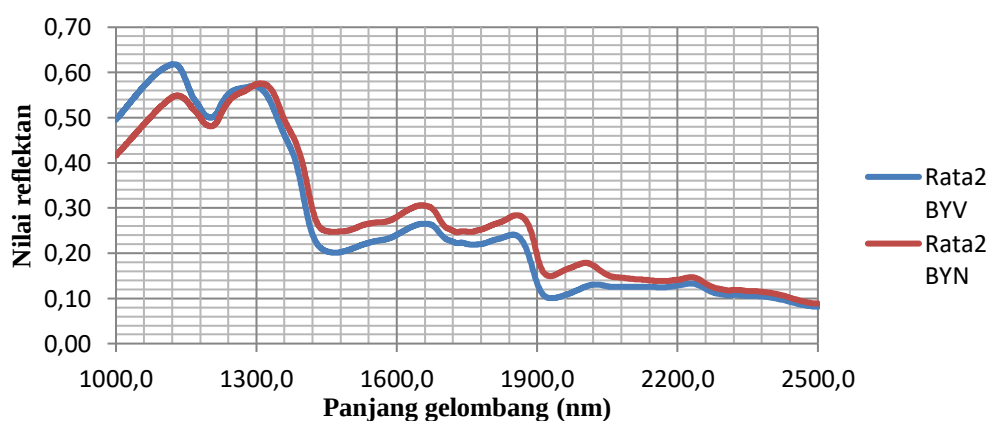


Gambar 3. Rata-rata spectra NIR kasar (raw spectra) dari sampel benih kacang tanah (KTV = kacang tanah viabel, KTN = kacang tanah nonviabel)

dengan benih viabel pada benih kacang tanah. Semakin rendah nilai reflektan yang terlihat menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan C, H, N, dan O pada benih yang diuji.

Benih bayam viabel nilai reflektan untuk parameter kandungan kimia pati dan air (berturut turut yaitu

0.082 dan 0.202) lebih rendah dibandingkan dengan bayam nonviabel (berturut-turut yaitu 0.089 dan 0.0248). Kandungan kimia protein dan oil bayam viabel (berturut-turut yaitu 0.520 dan 0.542) lebih tinggi dibandingkan bayam non viabel (berturut-turut yaitu 0.439 dan 0.459).



Gambar 4. Rata-rata spectra NIR kasar (raw spectra) dari sampel benih bayam (BYV= bayam viabel, BYN= bayam non viabel)

Pengujian Viabilitas Benih

Hasil pengujian viabilitas benih dengan metode UKDdp pada kacang tanah dan UDK pada bayam menunjukkan bahwa kadar air pada benih non viabel berbeda nyata dengan benih viabel (Tabel 1). Pada tolak ukur daya berkecambah benih kacang tanah tidak berbeda signifikan sedangkan pada benih bayam menunjukkan perbedaan yang signifikan (Tabel 1). Tolak ukur PTM baik pada benih kacang tanah maupun bayam menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antar perlakuan masing-masing benih (Tabel 1). Besarnya persentase kadar air benih kacang tanah dan bayam ini sejalan dengan hasil pengukuran dengan NIR dimana nilai reflektan air pada benih kacang tanah viabel dan bayam viabel lebih rendah dibandingkan dengan benih yang nonviabel. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Sutrisno *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa kadar air memiliki hubungan dengan NIR reflektan dimana semakin tinggi kadar air maka reflektan NIR semakin rendah.

Tabel 1. Kadar air dan viabilitas benih kacang tanah dan bayam

Perlakuan	KA	DB	PTM
-----Kacang tanah-----			
Viabel	5.89 a	5.00 a	87.00 a
Nonviabel	1.25 b	0.00 a	0.00 b
-----Bayam-----			
Viabel	12.82 a	51.00 a	79.00 a
Nonviabel	1.98 b	0.00 b	3.00 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 5% (KA= kadar air, DB = daya berkecambah, PTM = potensi tumbuh maksimum)

Daya berkecambah benih kacang tanah viabel sangat rendah namun potensi tumbuh maksimumnya masih tinggi (Tabel 1). Hal ini dikarenakan benih yang digunakan sudah mengalami deteriorasi sebelum digunakan dimana kadar air benih viabel sangat rendah (5.89%) dibandingkan dengan yang seharusnya (9-11%). Hasil ini sejalan hasil pengujian NIR dimana nilai reflektan pati, protein, dan oilnya lebih kecil dari benih non viabel. Nilai reflektan yang kecil pada benih kacang

tanah viabel mengindikasikan bahwa benih kacang tanah viabel memiliki kandungan pati, oil, dan protein lebih tinggi dibandingkan dengan benih nonviabel.

Benih bayam viabel persentase daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimumnya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan benih nonviabel. Hal ini tidak sejalan dengan nilai reflektan yang dihasilkan pada pengujian NIR dimana nilai reflektan protein dan oil bayam viabel lebih besar dibandingkan dengan nonviabel yang mengindikasikan kandungan protein dan oil dalam benih bayam viabel lebih rendah dibandingkan dengan benih nonviabel. Menurut Tatipata *et al.* (2004) dan Tatipata (2008) benih yang mengalami kemunduran dapat dicerminkan oleh menurunnya kadar fosfolipid, protein membran, fosfor anorganik mitokondria, aktivitas spesifik suksinat dehidrogenase dan sitokrom oksidase. Jawak *et al.* (2022) dan Ekowahyuni *et al.* (2013) menyatakan bahwa laju respirasi menurunkan cadangan makanan seperti pati dan protein dalam benih dan menyebabkan deteriorasi benih.

Pengujian mutu benih secara non destruktif dapat memberi keuntungan

bagi produsen maupun konsumen benih karena pengujian mutu benih dapat dilakukan dalam waktu yang singkat. Pasikatan dan Dowell (2001) memanfaatkan NIR untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan benih-benih yang terinfestasi oleh insekta dan fungi. Deteksi fungi pada benih dapat dilakukan dengan melihat nilai reflektan pada panjang gelombang 1005 nm, 1555 nm, 1030 nm, dan 1360 nm. Serangan insekta di dalam benih gandum dapat dideteksi dengan melihat nilai reflektan pada panjang gelombang 1194 nm dan 1304 nm.

NIR dapat mengklasifikasikan benih pinus yang viabel dan nonviabel berdasarkan kandungan bahan kimia yang hanya ditemukan dalam benih viabel (Tigabu 2003). Menurut Min *et al.* (2006) kadar klorofil pada benih kubis china dapat diukur dengan NIR pada panjang gelombang 710 nm dan berkorelasi positif dengan kadar klorofil hasil pengukuran *spectroscopy*. Kadar air benih kubis berkorelasi positif dengan konsentrasi N ($r = 0.76$) pada panjang gelombang 1467 nm, 1910 nm dan 1938 nm. Panjang gelombang 2136 nm mengindikasikan protein yang berpotensi digunakan untuk memprediksi kandungan N.

Natsunaga *et al.* (2007) menyatakan NIR dapat digunakan untuk menduga asam amino dengan nilai $R^2=0.69$ dan sukrosa dengan nilai $R^2=0.74$ dalam benih kedelai. Rossato *et al.* (2013) menggunakan NIR untuk mengetahui kandungan minyak benih lobak dan berkorelasi positif dengan dengan pengujian secara kimia dengan $R^2=0.92$. Selain melihat kandungan minyak NIR dapat juga digunakan untuk mendeteksi hama penyakit dalam benih seperti hasil penelitian Draganova *et al.* (2010) yang mendeteksi infeksi *Fusarium* pada benih jagung dengan ketepatan 99.89% untuk benih sehat dan 93.7% untuk benih yang terinfeksi dan Phatkaeo *et al.* (2012) memanfaatkan NIR untuk mendeteksi infeksi *Aspergillus flavus* pada benih jagung. Pemanfaatan NIR untuk pengujian kemurnian benih gandum dilakukan oleh Saleh (2012) sehingga memudahkan dalam perbaikan genetik tanaman. Mo *et al.* (2014) memanfaatkan NIR *hyperspectral* untuk membedakan benih cabai yang viabel dan non viabel pada panjang gelombang 400-700 nm dengan akurasi 96.7% untuk benih viabel dan 99.4% untuk benih nonviabel. Firdaus *et al.* (2014) menyatakan bahwa NIR dapat

digunakan untuk menduga daya berkecambah benih menggunakan model jaringan sistem tiruan (JST) 10-5-3 dengan input reflektan-snv dan menduga potensi tumbuh maksimum menggunakan model JST 10-5-1 dengan input reflektan-dg2. Firdaus dan Ahmad (2017) juga melakukan penelitian untuk membedakan varietas padi menggunakan NIR dan hasilnya menunjukkan bahwa setiap varietas padi memiliki nilai reflaktan yang berbeda-beda sesuai dengan proporsi kandungan kimia penciri dari masing-masing varietas yang diuji.

KESIMPULAN

Pengujian mutu benih kacang tanah dengan NIR sejalan dengan hasil pengujian laboratorim berdasarkan kadar air, daya berkecambah, dan potensi tumbuh maksimum sedangkan pada benih bayam tidak sejalan dengan pengujian di laboratorium pada tolok ukur potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah. Pengujian mutu benih dengan memanfaatkan infrared khususnya *Near Infrared* (NIR) perlu lebih banyak dilakukan karena pengujian mutu benih dengan metode ini dapat mempercepat waktu pengujian benih dan

hasilnya berkorelasi dengan pertumbuhan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Draganova, T., Daskalov, P., & Tsonev, R. 2010. An approach for identifying of fusarium infected maize grains by spectral analysis in the visible and near infrared region, SIMCA models, parametric and neural classifiers. *Int. J. Bio. Automatio*, 14(2), 19-128.
- Ekowahyuni, L. P., Sutjahjo, S. H., Sujiprihati, S., Suhartanto, M. R., & Syukur, M. 2013. Evaluasi vigor daya simpan benih pada berbagai genotipe cabai (*Capsicum annum* L.) dengan metode pengusangan cepat. *WIDYA Kesehatan dan Lingkungan*, 1(1), 24-30.
- Firdaus, J. & Ahmad, U. 2017. Deteksi benih varietas padi menggunakan gelombang near infrared dan model jaringan saraf tiruan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 1(1), 29-36.
- Firdaus, J., Hasbullah, R., Ahmad, U., & Suhartanto, M. R. 2014. Deteksi cepat viabilitas benih padi menggunakan gelombang near infrared dan model jaringan saraf tiruan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 33(2), 77-86.
- Fontaine, J., Schirmer, B., & Horr, J. 2002. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) enables the fast and accurate prediction of essential amino acid contents 2. Result for wheat, barley, corn, triticale, wheat bran/middlings, rice bran and sorghum. *J. Agric. Food Chem.*, 50(14), 3902-3911.
- Jawak, G., Widajati, E., Liana, D., & Astuti, T. 2022. Pendugaan Kemunduran Benih dengan Uji Fisiologi dan Biokimiawi. *Savana Cendana*, 7 (4), 61-64.
- Jawak, G. & Juharni. 2022. Pengujian daya berkecambah dengan metode pengujian dan suhu yang berbeda. *CIWAL Jurnal Pertanian*, 1(2), 38-49.
- Min, M., Won, S. L., Yong, H. K., & Bucklin, R. A. 2006. Nondestructive detection of nitrogen in chinese cabbage leaves using VIS-NIR spectroscopy. *HortScience*, 41(1), 162-166.
- Mo, C., Kim, G., Lee, K., Kim, M. S., Cho, B. K., Lim, J., & Kang, S. 2014. Non-destructive quality evaluation of pepper (*Capsicum annum* L.) seeds using LED-induced hyperspectral reflectance imaging. *Sensors*, 14, 7489-7504.
- Natsunaga, M., Sue, Y., Ikeda, T., Egashira, H., Akazawa, T., Ura, N. 2007. Development and evaluation of dedicated bench-type near infrared spectrometers to estimate the flavor of green soybean from single pod measurements. *J. Near Infrared Spectrosc*, 15, 327-332.
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. H. 1995. *Practical NIR Spectroscopy*.
- Pasikatan, M. C., & Dowell, F. E. 2001. Sorting systems based on optical methods for detecting and removing seeds infested internally by insect or fungi. *Applied Spectroscopy Reviews*, 36(4), 399-416.
- Rossato, R., Prete, C. E. C., de Castro, C., Tømm, G. O., Leite, R. S., Mandarino J. M. G., de Araújo, P. M., & de Carvalho, C. G. P. 2013. Predicting rapeseed oil content with near infrared spectroscopy. *Pesq. Agropec. Bras.*, 48(12), 1601-1604.
- Ruiz, N. 2001. Near Infrared Spectroscopy; Present dan Future

- Application. ASA Technical Bull. FT 52:1-13.
- Saleh, B. 2012. Biochemical and genetic variation of some syrian wheat varieties using NIR, RAPD, and AFLPs techniques. *Journal of Plant Biology Research*, 1(1), 1-11.
- Samson, E., Semangun, H., & Rondonuwu, F.S. 2013. Analisis kandungan karotenoid ekstrak kasar buah pisang tongkat langit (*Musa troglodytarum*) dengan menggunakan spektroskopi NIR (near infrared). *Traditional Medicine Journal*, 18(1), 17-21.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J. C., & Fackler K. 2011. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. *J. Near Infrared Spectroscopy*, 19, 287-308.
- Sutrisno, Purwanto, Y. A., Darmawati, E., & Syaefullah, E. 2012. Identifikasi perubahan mutu selama penyimpanan buah manggis menggunakan near infrared spectroscopy. *J. Ilmu Pertanian Indonesia*, 17(2), 120-125.
- Tatipata, A, Yudono, P, Purwantoro, A., & Mangoendidjojo, W. 2004. Kajian aspek fisiologi dan biokimia deteriorasi benih kedelai dalam penyimpanan. *Ilmu Pertanian*, 11(2), 76-87.
- Tatipata, A. 2008. Pengaruh kadar air awal, kemasan dan lama simpan terhadap protein membran dalam mitokondria benih kedelai. *Bul. Agron.*, 36(1), 8 – 16.
- Tigabu, M. 2003. Characterization of forest tree seed quality with near infrared spectroscopy and multivariate analysis [thesis]. Swedia. Swedish University of Agricultural Sciences
- Zulfahrizal, Sutrisno, Budiastra, I. W., Seminar, K. N., & Munawar, A. M. 2013. Akuisisi spektrum near infrared reflectance pada biji kakao. *Buletin RISTRI*, 4 (1), 1-10