



Tersedia online

AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies

Halaman jurnal di <http://jurnal.bapeltanjambi.id/index.php/agrihumanis>



DETEKSI CEPAT KUALITAS INTERNAL PRODUK PERTANIAN SECARA NON DESTRUKTIF DENGAN LOW COST NEAR INFRARED SPEKTROSCOPY (NIRS) (Review)

Non-Destructive Rapid Detection of Internal properties of Agriculture Product using Low Cost Near Infrared Spectroscopy (NIRS) (Review)

Zahron Helmy², Yunisa Tri Suci^{1,2*}, Sudirman Sirait^{1,3}, Edo Saputra^{1,4}

¹Sekolah Pascasarjana Ilmu Keteknikan Pertanian, Institut Pertanian Bogor Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

²Balai Pelatihan Pertanian Jambi, Jambi, Indonesia

³Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

⁴Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

*email: trisuciyunisa@apps.ipb.ac.id

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Dikirim 07 Desember 2022

Diterima 08 Juni 2023

Terbit 29 September 2023

Kata kunci:

Kualitas internal
Low cost NIR
Non destructive
Near infrared
Produk pertanian

Keywords:

Internal Quality
Low cost NIR
Non destructive
Near infrared
Agriculture Product

ABSTRAK

Kualitas produk pertanian dituntut untuk lebih optimal di tengah perkembangan ekonomi yang semakin kompetitif dimana hal ini ditentukan oleh kualitas internal dan eksternal dari produk tersebut. Beberapa metode konvensional untuk mendeteksi kualitas internal dan eksternal ini memiliki kekurangan masing-masing. Salah satu metode untuk mendeteksi kualitas internal dan eksternal dari produk pertanian adalah metode *spectroscopy near infrared*. Dengan kemajuan teknologi seperti nanoimprint litografi berbasis MEMS, mikrokontroler kompak dan 3d printing, dan teknologi nirkabel, sangat memungkinkan untuk mewujudkan sistem pendeteksian *portable*. Seiring perkembangan teknologi komponen elektronik juga mengalami miniaturisasi yang berdampak pada ukuran dari alat spektroskopi juga menjadi lebih kecil. Perkembangan dan penjualan beberapa *handheld spectrometer* yang diantaranya menjadi lebih kecil, ringan, dan murah seperti penggunaan *single array detector* untuk pengembangan *lowcost handheld near infrared* untuk berbagai komoditas pertanian

ABSTRACT

The quality of agricultural products is demanded to be more optimal in the midst of an increasingly competitive economic development where this is determined by the internal and external quality of it. Several conventional methods for detecting internal and external properties have their respective drawbacks. One of the methods to detect the internal and external quality of agricultural products is the *near infrared spectroscopy* method. With advances in technology such as MEMS-based nanoimprint lithography, compact and microcontrollers, 3d printing, and wireless technology, it is possible to realize portable detection systems. Along with the development of technology, electronic components have also experienced miniaturization, the size of the spectroscopic device has also become smaller. Development and sale of few handheld spectrometers, which include becoming smaller, lighter, and cheaper, such as the use of a single array detector for the development of low cost near infrared handhelds for various agricultural commodities.

Kutipan format APA:

Helmy, Z., Suci Y. T., Sirait, S., & Saputra E. (2023). Deteksi Cepat Kualitas Internal Produk Pertanian Secara Non Destruktif dengan Low Cost Near Infrared Spektroskopi. *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, 4(1), 27-44.

1. PENDAHULUAN

Buah dan sayur merupakan sumber nutrisi seperti vitamin, antioksidan, serat, polifenol dan mineral yang berdampak nyata untuk kesehatan tubuh manusia (Syah et al., 2020). Selain itu produk pertanian memiliki sifat *perishable* sehingga diperlukan teknik khusus untuk melindungi dan mempertahankan mutunya selama panen dan transportasi (Wang et al., 2022). Sebanyak 20%-40%

losses produk pertanian terjadi mulai dari panen sampai ke tangan konsumen dimana 2% terjadi *losses* pada tahap pengolahan sedangkan 25% terbuang disebabkan penanganan dan penyimpanan yang buruk (Aggarwal et al., 2018; Magama et al., 2022). Produk pertanian menjadi salah satu segmen industri penting di beberapa negara (Carames et al., 2021). Dampak dari pandemi, perubahan iklim dan cuaca ekstrim, dan isu ketahanan pangan menyebabkan masyarakat sadar akan mengkonsumsi produk yang disebut *superfood* dimana hal ini telah menjadi tren utama dalam kecukupan nutrisi manusia (Rios et al., 2022). Berbagai isu beberapa waktu ini menjadikan sektor pertanian sebagai salah satu sektor utama untuk menghasilkan produk pangan yang berkualitas tinggi di tengah perkembangan ekonomi yang semakin kompetitif dan mengglobal.

Berbagai macam komponen kualitas digunakan untuk mengevaluasi buah dan sayur dimana komponen kualitas ini dibagi menjadi kualitas internal dan kualitas eksternal. Penentuan kualitas produk pertanian dilakukan dengan berbagai metode konvensional yang melibatkan indra visual manusia seperti pendugaan berdasarkan warna, bentuk, ukuran, maupun secara destruktif dan non destruktif dengan berbagai kelebihan dan kekurangan masing-masing metode tersebut. Metode konvensional yang biasa digunakan untuk mendeteksi kandungan internal produk pertanian memiliki kelemahan seperti, memerlukan waktu yang lama, biaya yang mahal, untuk industri atau pun perusahaan bahkan memerlukan instrumen yang mahal dan pekerja khusus yang telah dilatih secara profesional (Aykas et al., 2013).

Sistem spektroskopi secara luas digunakan dalam berbagai kajian bidang seperti fisika, biomolekular kimia, fotovoltai, astronomi, farmasi, bahan bakar, kedokteran dan lainnya (Eady et al. (2022); Saleh et al. (2018); Jeong et al., (2010); Santbergen et al., (2008); Vernon (1960); Bart (2000); Allain (1974), Hu et al., (2015), Chadwick et al., (2014)), Penggunaan NIR sebagai salah satu metode spektroskopi yang tidak merusak bahan untuk bahan pangan telah sukses diterapkan pada industri perkebunan (Zulmi et al. 2022; Kauffman et al. 2019; Rahim dan Rani, 2013). Contoh aplikasi NIR di bidang pertanian seperti mendeteksi protein, kelembaban, lemak, serta karbohidrat pada biji-bijian dan tepung. Deteksi kerusakan secara nondestruktif ini memberikan keuntungan yang besar pada industri karena analisa yang dilakukan lebih sederhana dan dapat memonitor bahan secara *real time*, sehingga pemindahan sampel ke laboratorium dan analisa di laboratorium dapat dihindari sehingga menghemat biaya dan waktu (Sanchez, 2012). Keuntungan lain penggunaan metode NIR untuk mendeteksi mutu secara tidak merusak (non destruktif) adalah dapat menganalisa dengan kecepatan tinggi (dalam beberapa detik), akurat, tidak menimbulkan polusi, penggunaan preparat contoh yang sederhana dan tidak menggunakan bahan kimia (Yan et al. 2009; Pissard et al. 2012).

Namun penggunaan gelombang spektrometer seperti NIR yang digunakan saat ini masih terbatas untuk industri dan skala laboratorium yang memerlukan perangkat komputasi dan software yang berbayar sehingga memerlukan biaya yang mahal. Kemajuan teknologi sekarang telah berkembang menjadikan teknologi spektrometer yang portabel tetapi masih memiliki kekurangan karena belum didukung oleh pengoprasian mandiri walaupun sudah dijual secara komersial, biasanya mengandalkan penggunaan komputer eksternal untuk mengoperasikan, mengumpulkan, dan menganalisis data. Fitur ini secara signifikan meningkatkan biaya operasi dan membatasi jangkauan aplikasi.

Salah satu upaya lain yang dikembangkan untuk mengembangkan pendeteksi kualitas internal produk pertanian secara *non destruktif* yaitu berbasis *spectrometer handheld* yang lebih murah dan mudah pengoperasiannya. Dengan kemajuan teknologi seperti nanoimprint litografi berbasis MEMS, mikrokontroler kompak dan teknologi nirkabel, sangat memungkinkan untuk mewujudkan sistem pendeteksian *portable* pada *platform smartphone* (Das et al., 2016). *Pocket spectrometer* yang terkoneksi melalui bluetooth juga dikembangkan oleh Ciaccheri et al. (2022) untuk membedakan minyak ekstra virgin olive oil dengan minyak *non extra virgin olive oil* dan membangun model prediksi untuk asam lemaknya. Laganovska et al., (2020) mengembangkan spektrometer *portable* berbiaya rendah, *Open-source miniature spectrophotometer (OSMS)* untuk mengukur beberapa senyawa kimia seperti B₁₂, fospat, dan enzim horseradish peroxidase (HRP). Zhu et al. (2022) menggunakan instrumentasi *spectrometer portable* lapangan untuk mendeteksi kualitas *groats oat*. Penggunaan berbagai sensor tunggal untuk *portable spectrometer* berbiaya rendah juga telah dikembangkan pada produk pertanian, seperti pendeteksian jeruk (Sulistyo et al. 2021, Srivastava et al., 2020), klasifikasi

tandan buah segar kelapa sawit (Saeed *et al.*, 2012), kualitas *sweet cherry* (Wang *et al.*, 2018), dan kematangan semangka (Arboleda *et al.*, 2020).

Pemanfaatan teknologi NIR ini memiliki keterbatasan seperti teknologi lainnya. Salah satunya instrumen yang dipakai terbatas pada skala laboratorium pada industri tertentu dengan dimensi dan biaya yang besar sehingga sulit untuk diaplikasikan di lapangan secara *real time*. Oleh karenanya, beberapa penelitian telah dikembangkan untuk pemanfaatan NIR portabel dengan biaya yang lebih rendah. Dalam makalah *state of the art* ini akan dipaparkan beberapa *instrument low cost* NIRS dan aplikasinya pada bidang pertanian sebagai pendeteksi dan menyediakan informasi kandungan mutu secara nondestruktif di lapangan.

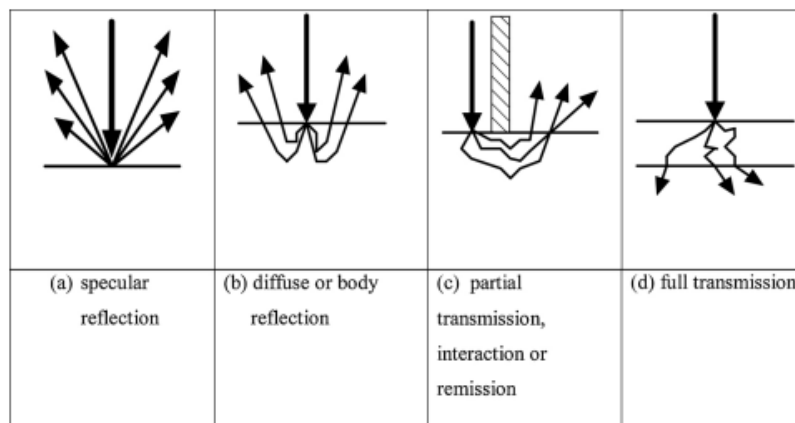
2. NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

2.1. Prinsip Near Infrared Spectroscopy

Sejak ditemukan oleh Sir William Herschel pada tahun 1800 (abad 19) *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang pertanian (Norris (1964) baik di budidaya (Rodrigues *et al.* (2022); Devianti *et al.* (2019)), bidang pascapanen (Yo dan You (2022); Inna *et al.* (2022, 2020); Pissard *et al.* (2021); Pampuri *et al.* (2021); Chen *et al.* (2021); Minas *et al.* (2021) Walsh *et al.* (2020); Nicholai *et al.* (2007); Mc Arthur *et al.* (2020); Basri *et al.* (2017), pengolahan (Ayvaz *et al.* (2015); Zhang *et al.* (2022)), pemanfaatan di produk dairy (Huck, 2016; Madalozzo *et al.* (2015); Ashie *et al.* (2021)), peternakan (Parastar *et al.* (2022); Goi *et al.* (2022); Grasi *et al.* (2018)) dan kesehatan (Saleh *et al.* (2018); Eady *et al.* (2021)) serta industri (Kollenburg *et al.* (2021)).

NIRS merupakan gelombang elektromagnetik berada pada panjang gelombang antara 780-2500 nm (Wei *et al.*, 2014) yang terletak diantara gelombang tampak dan gelombang inframerah. Gelombang NIRS peka pada ikatan molekul bahan organik sehingga banyak digunakan untuk menentukan kandungan kimia bahan pertanian. Bahan organik terdiri dari molekul utama seperti karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, pospor dan sulfur. Atom-atom tersebut terikat secara kovalen dan elektrovalen untuk membentuk molekul. Menurut Murray dan Williams (1990) perubahan energi potensial terjadi saat molekul-molekul tersebut disinari dengan energi dari luar. Bila dibandingkan dengan metode tradisional yang merusak bahan, teknik NIRS mempunyai banyak kelebihan yaitu bebas dari penggunaan sampel kimia, tanpa persiapan sampel, dan dapat digunakan untuk lebih dari satu parameter mutu dalam satu kali proses *scanning* NIRS (Nicolai *et al.*, 2007). Tarkosova dan Covika (2000) melaporkan bahwa NIR telah digunakan untuk menentukan sejumlah parameter mutu.

Gelombang NIR yang dihasilkan oleh instrumen NIR dari cahaya putih akan berinteraksi dengan bahan pertanian dalam bentuk pantulan (*reflection*), pembiasan (*refraction*), penyerapan (*absorption*), penguraian (*diffraction*) dan penerusan (*transmission*) (Burn dan Ciurzaczak, 2008), ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1. Kontribusi dari masing-masing reaksi tergantung komposisi kimia, struktur sel, sifat fisik dari objek dan jarak penyebaran radiasi ke dalam bahan (Nicholai *et al.* 2007) Ketika radiasi menembus objek, karakteristik spektranya akan berubah melalui panjang gelombang, tergantung terhadap proses penghamburan (*scattering*) dan penyerapan (Munawar 2014).



Gambar 1. Representasi interaksi gelombang NIR dengan bahan pertanian

Sumber : Walsh *et al.* (2020)

Penyerapan spektrum buah dari gelombang NIR bersifat tidak konstan sehingga perlu melakukan analisis dan pemilihan panjang gelombang terkait untuk mendefinisikan pada panjang gelombang mana yang terbaik terkait atribut kualitas buah tertentu. Spektrum NIR produk pertanian pada dasarnya berupa gabungan sejumlah besar overtone dan kombinasi ikatan sehingga kesulitan untuk mendeskripsikan spektrum dipengaruhi oleh panjang gelombang yang dipengaruhi efek *scattering*, keragaman jaringan, *noise* dari instrumen, efek lingkungan sekitar, dan sumber keragaman lain (Cozzolino et al. 2011). Analisa kemometrik digunakan untuk mengekstrak informasi yang berguna pada spektrum (Guidetti et al. 2012). Kemometrik mengklasifikasikan kembali beberapa topik seperti rancangan percobaan, metode ekstraksi informasi (model, klasifikasi, uji pendapat) dan pengertian teknik mekanisme kimia (Roggo 2007). Metode analisis kemometrik dibagi menjadi tiga kelompok yaitu Analisis Data Eksplorasi (EDA), teknik regresi, dan pengelompokan. Teknik regresi atau *predictive* model digunakan untuk memprediksi kandungan kimia maupun atribut kualitas lainnya. Beberapa metode yang digunakan dalam metode ini seperti *Partial Least Square* (PLS), *Multiple Linear Regression* (MLR), *Principal Component Regression* (PCR), dan *artificial neural network*. Teknik pengelompokan digunakan untuk mengklasifikasikan atau penyortiran sampel sesuai dengan yang diinginkan. Metode yang biasa digunakan adalah metode supervised seperti *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Partial Least Squares Discriminant Analysis* (PLS-DA) or *Support Vector Machine Classification* (SVMC). Metode unsupervised seperti metode K-median and K-mean, K-nearest neighbor (KNN) dan *Principle Component Analysis* (PCA). Beberapa penelitian yang telah dilakukan menggunakan NIRS dan Analisa kemometrik dapat dilihat pada Tabel 1. Pada analisis NIR metode kemometrik terdiri dari tiga tahap yaitu: (1) pengolahan data spektrum untuk mengeliminasi noise dan kandungan utama spektra untuk pengembangan model, (2) membangun model kalibrasi untuk analisis kuantitatif dan kualitatif dan (3) transfer model untuk prediksi real-time dan online.

Tabel 1. Aplikasi NIRS dan Analisis Kemometrik pada beberapa Varietas Pertanian

Spesies (cultivar)	Parameter	Spectrometer	Panjang Gelombang yang digunakan (nm)	Mode	Pra Pengolahan Data/Metode Kalibrasi	Akurasi/Error	Referensi
Apel Fuji (<i>Malus pumila</i> Mill)	TPT Kadar Air Kekerasan	NIRQuest51 2, Ocean Optics, Dunedin, USA	900–1700 nm	Absorban	LDA dan PLSR	TPT :0,92 ± 0,94 KA : 0,94 ± 0.01 % Kekerasan : 0,64 ± 4,11%	Zeng et al. (2022)
Apel	TPT, Total Asam, Kekerasan Pulp, Indeks Iodin-Pati	Handheld NIR Spectrometer	1100 – 1600 nm	Reflektan	SNV/ PLS	RMSECV = 0.57 RMSECV = 0.80 RMSECV = 0.50 RMSECV = 0.80	Pissard et al. 2021
Apel Manalagi	TPT	NirVana AG410 Visible and Near Infrared Spectrometer with Wavelengths	312 nm - 1050 nm	Reflektan	SNV, MSC, DG1/ PLS	R ² = 0,88 RMSECV = 2,92 RPD 2,76	Kusumiyati et al. (2021)
Naguo Pir	TPT Kekerasan	Spectrometer (DLP NIRscan Nano)	900-1700 nm	Reflektan	PCA/PLS/ PLS	R= 0,95 RMSECV = 7,68 R= 0,25 RMSECV = 7,68	Yu dan You (2022)

Spesies (cultivar)	Parameter	Spectrometer	Panjang Gelombang yang digunakan (nm)	Mode	Pra Pengolahan Data/Metode Kalibrasi	Akurasi/ Error	Referensi
Pir	Kekerasan	Benchtop Vis/NIR Spectrometer	350 – 1800 nm	reflectance	SNV + Dg1/ PLS	0.97 – 1.42	Li et al. (2020)
Sawit	Kandungan Minyak	A NIRFlex N-500 (BUCHI Labortechnik AG, Switzerland)	1000-1500 nm	absorban	Normalisasi, Dg1, kombinasi/MLR dan PLS	R=0.879; CV=19.8%; RPD= 2.46) PLS dan dg1	Inna et al. 2020
Sawit (Brazil)	Keasaman Minyak	Portable NIR Spectrometer (TIDA- 00554 DLP; Texas Instruments, Dallas, TX, USA),	900 to 1,700 nm	reflektan	Dg1/ LDA, k- NN, SIMCA, PLS	R ² = 0,97 RMSECP = 4.37	Kauffmann et al. (2019
Sawit	Asam lemak bebas	FOSS NIR System run by Vision Software	400-2500 nm yang digunakan 1600- 1900nm	reflektan	Dg1 /PLS	Akurasi 48,12%	Rahim dan Rani 2013

Menurut Pasquini (2018) instrumentasi merupakan salah satu dari tiga dasar pilar pendukung dari teknologi NIRs selain dasar-dasar spektroskopi dan kemometrik. Dasar spektroskopi telah lama ditetapkan namun kemajuan teknologi dalam instrumentasi telah berkembang pesat. Tabel 2 menjelaskan beberapa instrument NIR yang sering digunakan oleh peneliti.

Tabel 2. Spesifikasi instrument NIR yang biasa digunakan di Industri dan Laboratorium

Nama	Model pabrikan	Tipe	Rentang spektrum (nm)	Resolusi	Sumber cahaya	Model pengukuran	Sumber daya	Slit with	Dynam ic range
NIRFlex N-500	Buchi	B	800-2500	8 cm ⁻¹	Tungsten -halogen lamp	diffuse reflection	-	-	0–6 AU
Six channels	JDS Uniphase Corporation	H	950– 1650	Ø 33 cm– 1	2 Tungsten -halogen lamps	diffuse reflection	USB< 500 mA (5V)	-	1000:1
MicroPHA ZIR	Thermo Fisher Scientific	H	1600– 2400	Ø 21 cm– 1	Tungsten -halogen lamp	diffuse reflection	Lithium ion battery	-	-
AvaSpec	ASD	H	350– 2500	3–10 nm	Halogen	Customizable	-	10, 25, 50, 100, 200, 500 um	40,000
FieldSpec4	ASD	H	350– 2500 325– 1075	3–30 nm	Halogen	Customizable	-	-	-
LabSpec4	ASD	H	350– 2500	3–10 nm	Halogen	Customizable	-	-	-

Nama	Model pabrikan	Tipe	Rentang spektrum (nm)	Resolusi	Sumber cahaya	Model pengukuran	Sumber daya	Slit with	Dynamic range
Universal Serial Bus	Ocean Optics	H	Grating Dependent	0.3–10 nm	Tungsten-halogen lamp	Customizable	AC/DC	5, 10, 25, 50, 100 or 200 μ m	1300:1
AS726X	AMS	M	6 channels	-	LED	Reflektan sebaran	2.7 - to 3.6 V	-	-
HR4000	Ocean Optics	H	six channels	0.02–8.4 nm	-	Customizable	90 mA@5V DC	5, 10, 25, 50, 100 or 200 μ m	1300:1

B: benchtop spectrometer; H: handheld spectrometer; M: miniature spectral biosensor

2.2. Instrumentasi Low Cost Portable Spectrometer

Seiring perkembangan teknologi, komponen elektronik juga mengalami miniaturisasi, ukuran dari alat spektroskopi juga menjadi lebih kecil. Perkembangan dan penjualan beberapa *handheld spectrometer* yang diantaranya menjadi lebih kecil, ringan, dan murah; dimana dapat dioperasikan di lahan, titik pengiriman, proses produksi, penjualan, pembelian, dan pemakaian langsung. Perubahan dimensi lebih kecil, penggunaan secara handheld dan diikuti biaya penggunaan yang lebih murah menjadikan *spectrometer* ini disebut *Low Cost Portable Spectrometer*. Tabel 3. menunjukkan beberapa komersial *portable* spektrometer beserta karakteristiknya (Pasquini, 2018). Beberapa penelitian telah melaporkan penggunaan berbagai instrument NIR seperti yang dilaporkan Vallone *et al.* (2019) dan Barnaba *et al.* (2014), hasil yang didapatkan cukup ideal ketika menggunakan *portable NIR Spectrometer*. Perbandingan antara Micro-NIR dan FT NIR spectrometer untuk mengukur kualitas buah acerola menghasilkan bahwa Micro-NIR lebih cocok digunakan di lapangan untuk memonitoring parameter kimia buah acerola (Malegori *et al.*, 2017).

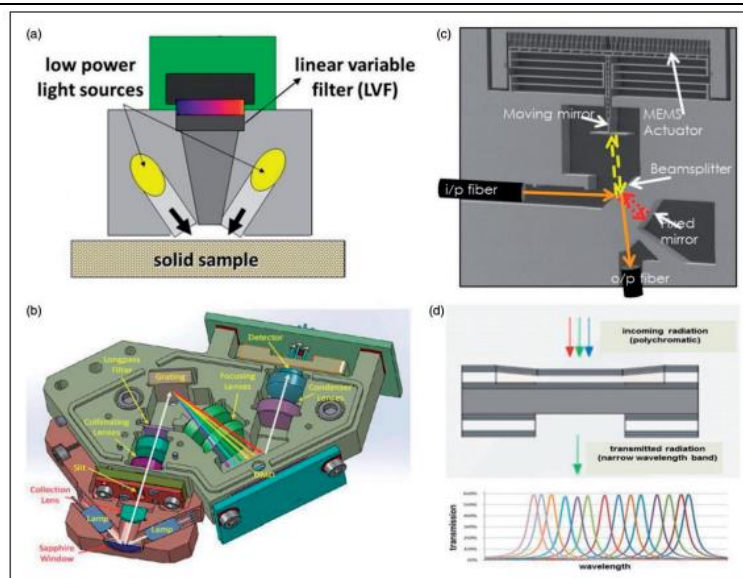
Tabel 3. Komersial Portable Spectrometer (Pasquini, 2018)

Pabrikan	Model/ berat	Technology	Resolusi spectra (nm)/ Spectra range (nm)	Detektor	Waktu scanning	Penyimpanan data	Sumber tenaga/ stand alone
Stellar Inc.	Red-Wave-Micro/ <125 g	MEMS Fabry-Pero	10/ 1750-2150	InGaAS (1)	0.1-10 ms	USB	Eksternal/ tidak
RGB Photonics	Q-Red	Czerny-Tuner Grating	4/900-1700	InGaAs (512)	7ms-600 s	USB, Bluetooth and Proprietary	
Texas Instruments	NanoNIR/ 85 gr	Grating - MEMS - DMD	10/900-1700	InGaAS (1)	0,3 s	USB, Bluetooth/ Memory micro-card	USB or Battery/Yes
Viavi Solutions	MicroNIR OnSite/ 100 gr	LVF e Linear Variable Filter	12-20/950-1650	InGaAs (128)	0.25-0.50 s	USB	USB or Battery/Yes
Young Green	NIR Scan/ 120 gr	MEMS - DMD	10/900-1700	InGaAS (1)	0.3 s	USB, Bluetooth/ Memory micro-card	USB or Battery/Yes

Pabrikan	Model/ berat	Technology	Resolusi spectra (nm)/ Spectra range (nm)	Detektor	Waktu scanning	Penyimpanan data	Sumber tenaga/ stand alone
ASD Panalytical Inc.	Quality SpecTrek/ 2 kg	X	3-8/350-2500	X	X	X	Battery/Yes
Stratio Technology Inc	Link Square/ 57 gr	X	10/450-1000	X	X	WIFI	Battery/Yes
Si-Ware Systems	NeoSpectra	MEMS - FT	8-16/ 1350-2500	InGaAs (1)	2 s	USB	USB/No
ConsumerPhysic	SCiO	X	740-1070 nm	X	1.5 s	bluetooth	Battery/Yes
Spectral Evolution	LF – 2500/ 1,5 kg	Czerny-Turner	10-20/ 1000-2500	InGaAs (256)	0,5-15 ms	USB, Bluetooth	External/No
Flas	Spectral Engine/ 0.0015 kg	Fabry-Perot Interferometer	12-28nm/ 1550-1950 nm	InGaAs	x	x	x
IOR3 S.r.l	PoliSpec NIR/1.5 kg	Concave Grating	2.2/900-1700	InGaAS (256)	0,1-100s	USB, RS232, Bluetooth	External/No
BWTEK	I-Spec plus	Diffraction Grating	4-10 nm/350-2200 nm	nGaAs array	x	x	x
Brimrose	Luminar 5030	AOTF	1-10/900-1800	InGaAS (1)	~5 s	TCP IP, I/O cable	External/No
StellarNet	Dwart-star 12.7 - 7.6 - 5.0	Diffraction Grating	2.5/ 900-1700	InGas	x	x	x
ThermoFisher Scientific	MicroPhasir	Grating MEMS Hadamard	11/ 900-1690	InGaAs (1)	~1 s	USB/Internal storag	Battery/Yes

Prinsip skema penggunaan design monochromator NIRS dapat dilihat pada Gambar 2. Penggunaan miniatur *Nir spectrometer* untuk mendeteksi residu pestisida pada buah centalop menghasilkan akurasi 95,83% (Yu *et al.*, 2021). Pengembangan spektrometer *ultra portable* berbasis *smartphone* dan *wireless* juga telah dikembangkan oleh Das *et al.* (2016) untuk kematangan buah memakai UV LED, dengan indikator klorofil.

Menurut Yan dan Siesler (2018) berdasarkan jenis detektor, *handheld NIR spectrometer* dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu instrument yang tersusun dari kumpulan (*array*) detector dan detector tunggal (*single*) sehingga mengurangi biaya hardware. Penelitian ke depan akan berfokus pada sistem dengan single detektor. Berdasarkan harganya, *single detector* lebih murah, miniatur instrument yang beredar di pasaran harganya diantara US\$1000-5000 (Yan dan Siesler, 2018)



Gambar 2. Prinsip handheld NIRs berdasarkan monochromator yang berbeda (a) VIAVI MicroNIR 1700, linear variable filter, (b) Texas Instruments DLP NIRscan Nano EVM, digital micromirror device (DMDTM), (c) Si-Ware Systems, Michelson interferometer berbasis MEMs, (d) Spectral Engines NIR spectrometer dengan tunable Fabry-Perot interferometer (Yan dan Siesler, 2018).

2.3. Aplikasi

Perkembangan *handheld* spektroskopi sejauh ini menjadi teknik yang paling fleksibel untuk pengukuran langsung ditempat dan di lapangan. Berikut beberapa penelitian yang telah dilakukan (Tabel 4.) dengan mengaplikasikan *handheld spectroscopy* untuk pengukuran internal produk pertanian.

Tabel 4. Penggunaan *handheld spectroscopy* untuk pengukuran internal produk pertanian

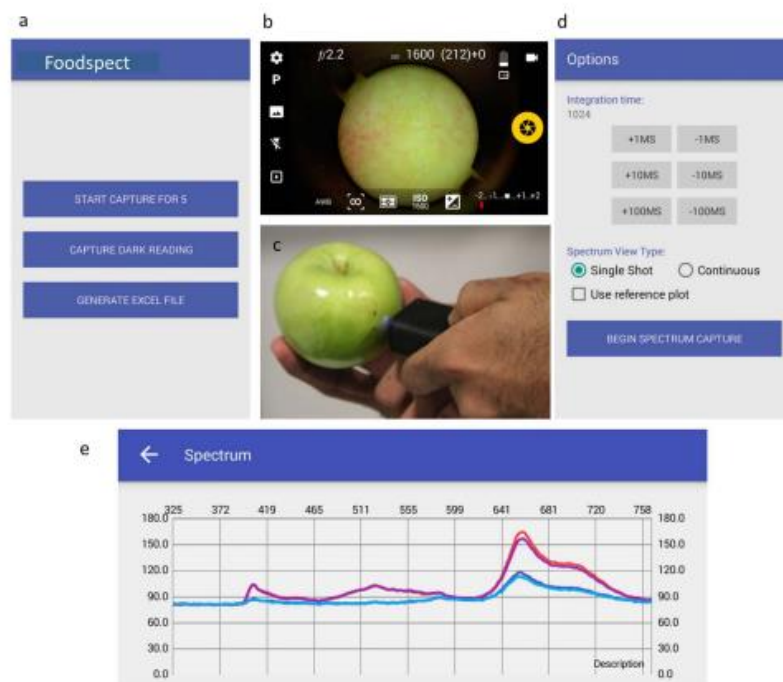
No	Komoditas	Alat yang digunakan	Jenis Data	Metode Analisis	Akurasi/Hasil	Referensi
1.	Kelapa sawit (minyak sawit)	Handheld NIR spectrometer (SCIO™ model CP-SC006)	Pemalsuan minyak sawit dengan spectra 740 nm–1070 nm	PCR, PLS-R, KNN	0,91 %	MacArthur <i>et al.</i> (2020)
2.	Kelapa sawit	NIR Spectrometer (TIDA-00554 DLP; Texas Instruments, Dallas, TX, USA)	Acidity Spektra 900-1700 nm	LDA, k-NN, SIMCA, PLS, MLR	0,97 %	Kaufmann <i>et al.</i> (2019)
3.	Kelapa Sawit (tandan buah segar)	LiDAR scanning sensor	NIR 905 nm	Persentasi reflektan dengan persamaan linear	Buah dengan kematangan tinggi memiliki intensitas	Zulkifli <i>et al.</i> 2018
4.	Kelapa Sawit (tandan buah segar)	Sensor Optical	670 nm	Rata-rata voltase untuk masing-masing tingkat kematangan	Saat kandungan klorofil berkurang dalam ALB maka jumlah penyerapan cahaya berkurang	Utom <i>et al.</i> (2018)
5.	Kelapa Sawit (tandan buah segar)	Multiband optical sensor	Panjang gelombang 615-940 berkolerasi dengan	Discriminant analysis, KNN	88,2% akurasi	Setiawan <i>et al.</i> 2018

No	Komoditas	Alat yang digunakan	Jenis Data	Metode Analisis	Akurasi/Hasil	Referensi
6.	Kelapa Sawit	Fruit battery with charging	panjang gelombang kandungan minyak sawit Voltase tahanan beban		Buah dengan kandungan kelembaban lebih dari 44% dan arat-rata tahanan voltase, antara 20-30 mV menunjukkan buah matang	Misron <i>et al.</i> 2020
7.	Kelapa Sawit (tandan buah segar)	Spectrometer SE Series OtO Photonics, Inc., Hsinchu City, Taiwan)	180-1100 nm	Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (KNN)	93,8 % untuk panjang gelombang 365, 460, 735, dan 850 nm. Area klasifikasi kematangan kelapa sawit ditunjukkan dengan baik pada bagian depan TBS	Goh <i>et al.</i> 2021
8.	Mangga	Micro-NIR spectrophotometer benchtop spectrometers	740-1070nm reflektan manga Keit	PLS / S-G smoothing + SNV + Der2	4,8-8,2 (kekerasan)	Kasim <i>et al.</i> (2021)
9.	Pisang	Micro-Vis/NIR spectrometer	350–1000 Reflektan pisang Kapas dan Mas	PLS / Baseline dan MSC	1.90 (TPT) dan 0,1 (PH)	Masithoh <i>et al.</i> (2021)
10.	Persik	handheld Vis/NIR spectrometer	729–975 nm reflektan persik Siera Rich	NIPALS/ Der2	0,58 (TPT)	Minas <i>et al.</i> 2021

Tabel 5. Perbandingan kinerja spectrometer komersial dengan *smartphone* spektrometer.

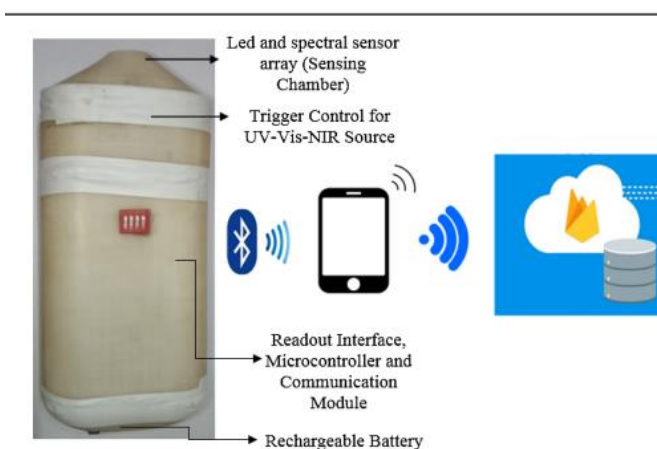
Spesifikasi	Ocean Optic	Hamamatsu dengan Board USB	Smartphone spectrometer dengan Hamamatsu Sensor
Spectral Resolution	10nm	15nm	15 nm
Spectral Resolution	360–1100nm	340–840nm	340–780nm
ADC Bits	16	16	10
Sistem operasi	Windows	Windows	Android
ukuran	89.1mm×63.3mm×34.4mm	108mm×70mm×35mm	88mm×37mm×22mm
Berat	224 g (without light source)	198 g (dengan sumber cahaya dan baterai, <i>built in-house</i>)	48 g (dengan sumber cahaya dan baterai, koneksi bluetooth, microcontroller, filter)
Harga	\$4000	\$1200	Di bawah \$250 (termasuk <i>smartphone</i>)

Das *et al.* (2016) mengembangkan *ultraportable, wireless smartphone spectrometer* untuk deteksi cepat dan tidak merusak kematangan buah, dimana indikator yang dideteksi adalah *fluorescence of chlorophyll* (ChIF) pada apel dengan membandingkan performance dan biaya spectrometer komersial (Hamamatsu dan Ocean Optik) dengan *ultraportable, wireless smartphone spectrometer* yang dikembangkan (Tabel 5). Penjelasan proses akuisisi data untuk interface aplikasi pada *smartphone* dapat dilihat pada Gambar 3.



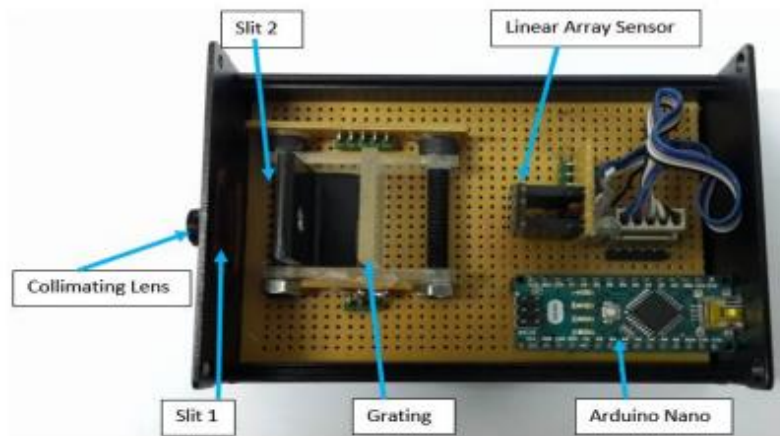
Gambar 3. Data akuisis menggunakan *interface app* dan *smartphone*. (a) mulai interface pada menu aplikasi, (b) jenis gambar permukaan apel dengan *smartphone*, (d) proses akuisis data spectra, (e) Jenis ChIF sample *golden delicious* apel. (Das *et al.*, 2016)

Dibandingkan dengan komersial spektrometer, sensitivitas *smartphone* spektrometer lebih rendah karena bit depth yang lebih kecil disebabkan tidak adanya mikrokontroler dengan bit lebih tinggi. Walaupun demikian *spectrometer* ini lebih cocok untuk *end user* (petani). Sensitifitas *spectrometer* tergantung dari beberapa faktor seperti efisiensi sistem optik, difraksi efisiensi dari kisi, sensitifitas sensor gambar, *converter charge-to-voltage* yang konstan, dan resolusi converter A/D (Das *et al.* 2016). Penggunaan *single array* untuk spektrometer telah dilakukan oleh Srivastava *et al.* (2020) mengembangkan *handheld* spektrometer berbasis *smartphone* untuk nondestruktif test jeruk. Alat ini menggunakan spektrometer dengan panjang gelombang 380-2000nm dengan resolusi 0.5 nm dan detektor AS7262 dan OPT101 dengan berat alat 183.35 g. Pengolahan data statistik spectra menggunakan pre treatment SNV dan average dengan analisis ANN untuk memprediksi model TPT, berat, volume, klorofil, kandungan gula asam dengan akurasi tertinggi didapatkan untuk model prediksi TPT sebesar 87.88 %. Pengembangan *handheld* spektroskopi berbasis sistem data disampaikan pada Gambar 4.



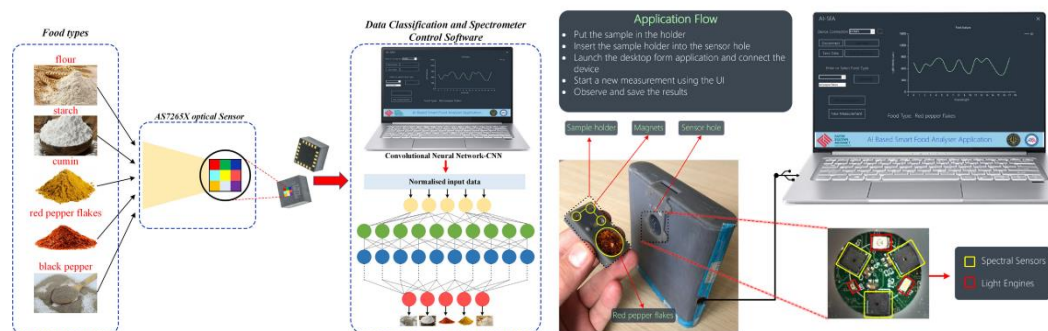
Gambar 4. Pengembangan *handheld* spektroskopi berbasis system (Sumber: Srivastava *et al.* (2020))

Desain dan pengembangan *shortwave NIRS* menggunakan LEDs yang terdiri dari lensa, dua celah NIR transmisi satu array sensor linear, dan mikrokontroler. Lima buah diode cahaya emitting digunakan untuk mengkalibrasi spektroskopi (Gambar 5), menggunakan *cross validation* berhasil menghilangkan substansi yang tidak diinginkan pada sinyal I dengan akurasi terbaik 1,161 nm (Chia dan Tan, 2017).



Gambar 5. Tampak atas desain shortwave NIRS
(Sumber : Chia dan Tan, 2017)

Heydarov *et al.*(2023) mengembangkan alat baru dengan mengkombinasikan desain elektronik rendah biaya (Gambar 6), dengan menggunakan Algoritma *deep learning machine* untuk meningkatkan kinerja alat walaupun dengan resolusi spectra yang rendah dibandingkan dengan instrument *Benchtop spectrometer*. Untuk membedakan spectra dari 9 jenis bahan pangan berbeda.

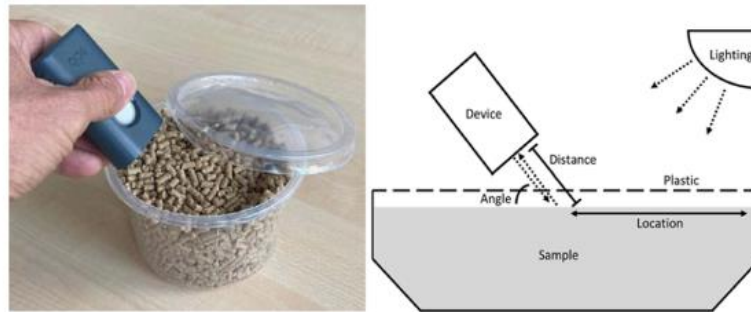


Gambar 6. Diagram blok spectrometer portabel dan proses akuisisi data
(Sumber Heydarov *et al.*, 2023)

Hasil yang didapatkan dari kombinasi 3 sensor spektra komersial masing-masing dengan 6 photodiode dapat menerima data dari 18 poin yang berbeda diantara 410-940 nm dan resolusi optikalnya meningkat sekitar 30 nm. Pengujian Kembali dilakukan untuk membedakan spektra 9 bubuk makanan yang berbeda menggunakan SVM dan CNN yang menghasilkan akurasi 97% dan 95%. Dimana hal ini menunjukkan bahwa kinerja klasifikasi dari kedua metode memenuhi syarat, rapid, dan *reliable* (Heydarov *et al.*, 2023)

Walaupun demikian pengembangan miniatur spektroskopi ini masih perlu dilakukan seperti analisis data spektrum dan pengembangan *software* dan teknologi penyimpanan data seperti *cloud computing*. Komersial *portable* instrument membutuhkan evaluasi yang lebih hati-hati untuk stabilitas jangka panjangnya untuk tujuan standarisasi dan model transfer ke unit yang berbeda. Untuk pengembangan model yang dihasilkan ini tidak mudah mengingat penggunaan miniatur spectrometer ini kebanyakan digunakan dilapangan. Jika hal ini diabaikan maka harga instrument yang murah akan terganti dengan biaya kalibrasi. Bertinetto *et al.* (2022) meneliti beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pengukuran dengan portable NIR di lapangan (Gambar 4: seperti lokasi pengukuran, sudut dan jarak scanning, cahaya latar belakang, wadah plastik, alat, dan holder. Untuk itu pedoman

pengukurandan metodologi yang diberikan adalah kunci penggunaan handheld spectrometer untuk digunakan dilapangan walaupun dengan operator *non expert*. Walupun demikian beberapa penelitian telah menunjukkan kelayakan transfer model dari spectrometer konvensional ke instrument portable (Brito *et al.* (2017); Silva *et al.* (2017); Delgado *et al.* (2017)).



Gambar 4. Contoh dan skema percobaan yang pengaruhi pengukuran handheld NIRS

(Sumber :Bertinetto *et al.* (2022))

3. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1. Kesimpulan

Metode konvensional analisis untuk mendeteksi kandungan internal produk pertanian memerlukan biaya mahal, waktu yang lama, penggunaan labor, menggunakan bahan kimia, bahkan jika terbatasnya laboratorium untuk analisis diperlukan pengiriman sampel atau menggunakan jasa laboran yang akan membuat tambahan biaya ekstra. Perkembangan silikon berbasis *microelectron-mechanical systems (MEMS) technology*, komponen *nano engineered sensor*, *machine learning* analisis mengalihkan metode spektroskopi ke era baru yang lebih murah. Era spektroskopi telah beralih ke arah *handheld* instrumen untuk pengukuran di lapangan, dan langsung ditempat. Produksi *low cost portable handheld* dengan volume lebih besar akan mengurangi biaya produksinya berkontribusi dan memiliki peluang untuk pemakaian secara luas dan aplikasi langsung di lapangan serta dapat digunakan bagi *non expert end user*. *Handheld spectroscopy* secara signifikan dapat meningkatkan kinerja dibandingkan sistem benchtop dari sisi kecepatan pengoperasian, portability, konsumsi daya yang rendah, ukuran dan berat yang lebih kecil. Meskipun demikian, pengembangan *handheld* masih perlu dilakukan, beberapa hal yang membatasi kinerja *handheld portable* yaitu : (1) sensitifitas yang rendah yang berkaitan dengan radiasi, transmisi atau reflektifitas elemen optik, dan efisiensi detektor, (2) terbatasnya rentang (range) scanning, (3) resolusi spektra yang rendah.

3.2. Saran

Agar low cost spectrometer ini dapat digunakan dengan rutin, perlu adanya penelitian yang membahas teknik sensitifitas dan teknik pengembangan algoritma kemometrik yang kuat untuk analisis kualitatif dan kuantitatifnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, S., Mohite, A.M., Sharma, N., 2018. The maturity and ripeness phenomenon with regard to the physiology of fruits and vegetables: a review. *Bull. Transilv. Univ. Brasov, Ser. II For. Wood Ind. Agric. Food Eng.* 11, 77–88.
- Ali, M.M.; Hashim, N.; Hamid, A.S.A. Combination of laser-light backscattering imaging and computer vision for rapid determination of oil palm fresh fruit bunches maturity. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 169, 105235.
- Arboleda, ER, Parazzo KM, Pareja CM. 2020. Watermelon ripeness detector using near infrared spectroscopy. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8 (4), 317-322. DOI:10.14710/jtsiskom.2020.13744.
- Ahie A, Lei H, Han B, Xiong M, Yan H. 2021. Fast Determination of three components in milk thistle Extract with a hand-held NIR spectrometer and chemometrics tools. *J infrared Physics & Technology* 113(2021) 103629. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103629>

- Aykas, D.P., Ball, C., Menevseoglu, A., Rodriguez-Saona, L.E., 2020. In situ monitoring of sugar content in breakfast cereals using a novel FT-NIR spectrometer. *Appl. Sci.* 10, 8774. <https://doi.org/10.3390/app10248774>.
- Azahari DH, Sinuraya JF, Rachmawati RR. 2020. Daya Tahan Sawit Indonesia pada Era Pandemi COVID-19. (3):61–81.
- Barnaba, F.E., Bellincontro, A., Mencarelli, F., 2014. Portable NIR-AOTF spectroscopy combined with winery FTIR spectroscopy for an easy, rapid, in-field monitoring of Sangiovese grape quality. *J. Sci. Food Agric.* 94, 1071–1077. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6391>.
- Bertinetto, CG, Schoot M, Dingemans M, Meeuwssen W, Buydens LMC, Jansen JJ. 2022. Influence of measurement procedure on the use of a handheld NIR spectrophotometer. *Food Research International* 161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111836>.
- Brito A.L.B, Santos A.V.P., Milanez K.D.T.M., Pontes M.J.C., Pontes L.F.B.L. 2017 Calibration transfer of flour NIR spectra between benchtop and portable instruments, *Analytical Methods* 9 (2017) 3184e3190.
- Budiastra IW, Ikeda Y, Nishizu T. 1998. Optical methods for quality evaluation of fruit (Part 2) Prediction of Individual Sugars and Malic Acid Concentrations of Apple and Mangoes by Developed NIR Reflectance System. *Journal of JSAM.* 60(3): 117-127
- Burn DA, Ciurczak EW. 2008. Handbook of near Infrared analysis. CRC press. Taylor and Francis Group.
- Chadwick D.T., McDonnell K.P., Brennan L.P., Fagan C.C., Everard C.D., 2014. Evaluation of infrared techniques for the assessment of biomass and biofuel quality parameters and conversion technology processes: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30 (2014) 672e681.
- C.C. Allain, L.S. Poon, C.S.G. Chan, Enzymatic determination of total serum cholesterol, *Clin. Chem.* 20 (4) (1974) 470–475.
- Chen, H., Lin, B., Cai, K., Chen, A., Hong, S., 2021. Quantitative analysis of organic acids in pomelo fruit using FT-NIR spectroscopy coupled with network kernel PLS regression. *Infrared Phys. Technol.* 112, 103582 <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103582>.
- Ciaccheri, L.; Adinolfi, B.; Mencaglia, A.A.; Mignani, A.G. Bluetooth-Connected Pocket Spectrometer and Chemometrics for Olive Oil Applications. *Foods* 2022, 11, 2265. <https://doi.org/10.3390/foods11152265>
- Das, A., J., Wahi, A., Khotari, I., Raskar, R. 2016 . Ultra-portable, wireless smartphone spectrometer for rapid, non-destructive testing of fruit ripeness. *Scientific Reports* | 6:32504 | DOI: 10.1038/srep32504.
- Deidda, R., Sacre, P.-Y., Clavaud, M., Coïc, L., Avohou, H., Hubert, P., & Ziemons, E. (2019). *Vibrational spectroscopy in analysis of pharmaceuticals: Critical review of innovative portable and handheld NIR and Raman spectrophotometers*. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. doi:10.1016/j.trac.2019.02.035
- Delgado B. de la Roza-, A. Garrido-Varo, A. Soldado, A.G. Arrojo, M.C. Valdes, F. Maroto, D. Perez-Marin. 2017. Matching portable NIRS instruments for in situ monitoring indicators of milk composition, *Food Contr.* 76 (74) (2017) 81
- Eady, M., Payne, M., Sortijas, S., Bethea, E., & Jenkins, D. (2021). A low-cost and portable near-infrared spectrometer using open-source multivariate data analysis software for rapid discriminatory quality assessment of medroxyprogesterone acetate injectables. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 259, 119917. doi:10.1016/j.saa.2021.119917
- Eady, M., Payne, M., Changpim, C., Jinnah, M., Sortijas, S., Jenkin, D. 2022. Establishment of instrument operation qualification and routine performance qualification procedures for handheld near-infrared spectrometers used at different locations within a laboratory network. *J Spectrochimica Acta Part a: Molecular and Biomolekular Spectroscopy* 267 (2022) 120512. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120512>
- Goh, J.Q.; Mohamed Shariff, A.R.; Mat Nawi, N. Application of Optical Spectrometer to Determine Maturity Level of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Based on Analysis of the Front Equatorial, Front Basil, Back Equatorial, Back Basil and Apical Parts of the Oil Palm Bunches. *Agriculture* 2021, 11, 1179. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121179> Academic Editor: Mac.

- Heydarov, S., aydin, M., Faydaci, C., Tuna, S., Ozturk, S. 2023. Low-cost VIS/NIR range hand-held and portable photospectrometer and evaluation of machine learning algorithms for classification performance. *J Engineering Science and Technology*, 37 (2023) 101302. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2022.101302>.
- Hu C.Q., Feng Y.C., Yin L.H. 2015 Review of the characteristics and prospects of near infrared spectroscopy for rapid drug-screening systems in China, *J. Near Infrared Spectrosc.* 23 (2015) 271e283.
- J.-A. Jeong, Y.-S. Park, H.-K. Kim, Comparison of electrical, optical, structural, and interface properties of IZO-Ag-IZO and IZO-Au-IZO multilayer electrodes for organic photovoltaics, *J. Appl. Phys.* 107 (2) (2010), <https://doi.org/10.1063/1.3294605>.
- Jagustyn B, Patyna I, Skawińska A (2013) Evaluation of physicochemical properties of Palm Kernel Shell as agro biomass used in the energy industry. *Chemik* 67: 552–559.
- Jamil, N., Mohamed, A., Adbullah, S., 2009. Automated grading of palm oil fresh fruit bunches (FFB) using neuro-fuzzy technique. In: *Proceedings of 2009 IEEE International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*, Malacca, Malaysia, pp. 245–249.
- Kasim, N.F.M., Mishra, P., Schouten, R.E., Woltering, E.J., Boer, M.P., 2021. Assessing firmness in mango comparing broadband and miniature spectrophotometers. *Infrared Phys. Technol.* 115, 103733 <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103733>.
- MacArthur, R. L., Teye, E., & Darkwa, S. (2020). *Predicting adulteration of Palm oil with Sudan IV dye using shortwave handheld spectroscopy and comparative analysis of models. Vibrational Spectroscopy*, 103129. doi:10.1016/j.vibspec.2020.103129.
- Magama, P., Chiyanzu, I., Mulopo, J. 2022. A systematic review of sustainable fruit and vegetable waste recycling alternatives and possibilities for anaerobic biorefinery. *Journal Biosresource Technology* . <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101031>
- Malegori, C., Nascimento Marques, E.J., de Freitas, S.T., Pimentel, M.F., Pasquini, C., Casiraghi, E., 2017. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT- NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. *Talanta* 165, 112–116. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.12.035>.
- Masithoh, R.E., Pahlawan, M.F.R., Wati, R.K., 2021. Non-destructive determination of SSC and pH of banana using a modular vis/NIR spectroscopy: comparison of partial least square (PLS) and principle component regression (PCR). *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 752 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/752/1/012047>.
- Minas, I.S., Blanco-Cipollone, F., Sterle, D., 2021. Accurate non-destructive prediction of peach fruit internal quality and physiological maturity with a single scan using near infrared spectroscopy. *Food Chem.* 335, 127626 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127626>.
- Misron, N.; Azhar, N.S.K.; Hamidon, M.N.; Aris, I.; Tashiro, K.; Nagata, H. Fruit battery with charging concept for oil palm maturity sensor. *Sensors* 2020, 20, 226.
- Mugianto F, Edyson, Ardiyanto A, Putra S K, Prabowo L. 2021. Potential content of palm oil at various levels of loose fruit in oil palm circle. *Jurnal Agro Industri Perkebunan* . Vol 9 (2) 91-98. <https://doi.org/10.25181/jaip.v9i2.2161>.
- Munawar AA. 2014. *Multivariate Analysis and Artificial Neural Network Approaches of Near Infrared Spectroscopic Data for Non-Destructive Quality Attributes Prediction of Mango [Disertasi]*. Goettingen: Georg-August University.
- Murai I, Williams PC. 1990. Chemical principles of near Infrared Technology. Di dalam : William P, Norriss K, editor. *Near infrared technology in agricultural and food industries*. St. Paul, MN: American Association of cereal Chemists inc. hlm 17-34
- Nicolaï, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., Lammertyn, J., 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 46, 99–118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>.
- Noh, S.H., & Choi, K. (2005). *Nondestructive Quality Evaluation Technology for Fruits and Vegetables Using Near-Infrared Spectroscopy*.

- Kaufmann, K, C., Favero, F, d F., Vasconcelos, M, A, M, Godoy, H, T, Sampaio, K, A, Barbin, D, F. 2019. Portable NIR Spectrometer for Prediction of Palm Oil Acidity. *Journal of Food Science*. Vol 00, Iss 0 : 1-6. doi: 10.1111/1750-3841.14467.
- Kasemsumran, S, Thanapase, W, Punsuvon, V, Ozaki Y. 2012. A Feasibility study on non-destructive determination of oil content in palm fruits by visible -near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. Vol 20:687-694.
- Kusumiyati, Mubarak, S., Sutari, W., Hadiwijaya, Y., 2021. Application of spectra pre-treatments on firmness assessment of intact sapodilla using vis-nir spectroscopy. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 644 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012001>.
- Laganovska, K., Zolotarjovs, A., Vázquez, M., Mc Donnell, K., Liepins, J., Ben-Yoav, H., ... Smits, K. (2020). Portable low-cost open-source wireless spectrophotometer for fast and reliable measurements. *HardwareX*, 7, e00108. doi:10.1016/j.ohx.2020.e00108.
- Li, J., Zhang, H., Zhan, B., Zhang, Y., Li, R., Li, J., 2020. Nondestructive firmness measurement of the multiple cultivars of pears by Vis-NIR spectroscopy coupled with multivariate calibration analysis and MC-UVESPA method. *Infrared Phys. Technol.* 104, 103154 <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.103154>.
- Pampuri, A., Tugnolo, A., Giovenzana, V., Casson, A., Guidetti, R., Beghi, R., 2021. Design of cost-effective LED based prototypes for the evaluation of grape (*Vitis vinifera* L.) ripeness. *Comput. Electron. Agric.* 189, 106381 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106381>.
- Pissard, A., Marques, E.J.N., Dardenne, P., Lateur, M., Pasquini, C., Pimentel, M.F., Fernandez ´ Pierna, J.A., Baeten, V., 2021. Evaluation of a handheld ultra-compact NIR spectrometer for rapid and non-destructive determination of apple fruit quality. *Postharvest Biol. Technol.* 172 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111375>.
- Okoye, M.N., Okwuagwu, C.O., & Ugurui, M.I. (2009). Population improvement for fresh fruit bunch yield and yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Am-Eurasian. J. Sci. Res.*, 4(2), 59–63.
- Pratinda, W.N.A.S., Harta, R. 2021. Analisis Kinerja Ekspor Subsektor Perkebunan dan Pandemi Covid-19. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan*. Vol 10 (2): 114-133. <https://doi.org/10.29244/jekp.10.2.2021.114-133>.
- Pissard A, Baeten V, Romnee, Jean M, Dupont P, Mouteau A, Lateur M. 2012. *Classical and NIR Measurements of the quality and nutritional parameters of apples: a methodological study of intra-fruit variability*. *Biotechnol Agron Soc Environ* 16: 294-306.
- Rahayu, Sekar Wiji, and Fajar Sugianto. 2020. Implikasi Kebijakan dan Diskriminasi Pelarangan Ekspor Dan Impor Minyak Kelapa Sawit Dan Bijih Nikel Terhadap Perekonomian Indonesia. *DiH: Jurnal Ilmu Hukum* 16(2): 224-36.
- Razali, M., Somad, A., Halim, A., & Roslan, S. (2012). A review on crop plant production and ripeness forecasting. *Int. J. Agric. Crop. Sci.*, 4(2), 54–63.
- Rios, AF., Laso L., Aldaco, R., Margallo, M., 2022. Superfood, asuper impact on health and environment. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100410>.
- Shaarani, S.Md., Cárdenas-Blanco, A., Amin, M.H.G., Soon, N.G., Hall, L.D., 2010. Monitoring development and ripeness of oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by MRI and bulk NMR. *International Journal of Agriculture and Biology* 12, 101–105.
- Saeed, O. M. B., Sankaran, S., Shariff, A. R. M., Shafri, H. Z. M., Ehsani, R., Alfatni, M. S., & Hazir, M. H. M. (2012). Classification of oil palm fresh fruit bunches based on their maturity using portable four-band sensor system. *Journal Computers and Electronics in Agriculture*, 82, 55–60. doi:10.1016/j.compag.2011.12.010.
- Saleh G, Alkaabi F, Al-Hajhouj N, Towailib F, Al Hamza S. 2018. Design og non -invasive glucose meter using near-infrared technique. *Journal of Medical Engineering & Technology*. <https://doi.org/10.1080/03091902.2018.1439114>.
- Setiawan, A.W.; Mengko, R.; Putri, A.P.H.; Danudirdjo, D.; Ananda, A.R. Classification of palm oil fresh fruit bunch using multiband optical sensors. *Int. J. Electr. Comput. Eng.* 2019, 9, 2386–2393.

- Silva N.C. da, C.J. Cavalcanti, F.A. Honorato, J.M. Amigo, M.F. Pimentel. 2017. Standardization from a benchtop to a handheld NIR spectrometer using mathematically mixed NIR spectra to determine fuel quality parameters, *Anal. Chim. Acta* 954 (2017) 32e42.
- Sohaib Ali Shah, S., Zeb, A., Shahid, W., Arslan, M., Ullah Malik, A., Alanazi, E., & Asmary, W. 2020. *Towards Fruit Maturity Estimation Using NIR Spectroscopy. Infrared Physics & Technology*, 103479. doi:10.1016/j.infrared.2020.1034
- Sulistyo, BS, Sudarmaji A, Margiwyatno A, Masrukhi, Mustofa A, Ediati R, Listanti R, Hidayat HH. 2021. Portable Near Infrared Spectrometer with Sensor AS7263 for Non-Destructive Estimation of Chemical Properties of Siamese Citrus (*Citrus nobilis*). *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol (2): 81-88.
- Wang, H., Peng, J., Xie, C., Bao, Y., & He, Y. (2015). *Fruit Quality Evaluation Using Spectroscopy Technology: A Review. Sensors*, 15(5), 11889–11927. doi:10.3390/s150511889
- Walsh, K.B., Guthrie, J.A., Burney, J.W., 2000. Application of commercially available.
- Walsh, K.B., McGlone, V.A., Han, D.H., 2020. The uses of near infra-red spectroscopy in postharvest decision support: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 163, 111139 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111139>.
- Wei, X., Liu, F., Qiu, Z., Shao, Y., & He, Y. (2014). Ripeness Classification of Astringent Persimmon Using Hyperspectral Imaging Technique. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1164-y>
- Wibisono, C.S., Zakaria, M.N, Soelistianto F.A., 2020. Rancang Bangun Pendeteksi Kualitas Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan menggunakan Metode Sensor Ultrasonik dan Sensor Kapasitif Berbasis Smartphone. *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*. Vol 10 (3). 140-143. E-ISSN: 2654-6531, P-ISSN: 2407-0807.
- Tamirys dos Santos Caramês, E., Rocha Baqueta, M., Conceição, D. A., & Azevedo Lima Pallone, J. 2020. Near infrared spectroscopy and smartphone-based imaging as fast alternatives for the evaluation of the bioactive potential of freeze-dried açai. *Food Research International*, 109792. doi:10.1016/j.foodres.2020.109792 10.1016/j.foodres.2020.109792
- Tarkosova, J., & Copikova, J. (2000). Determination of carbohydrate content in bananas during ripening and storage by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1255/jnirs.260>
- Utom, S.L.; Mohamad, E.J.; Ameran, H.L.M.; Kadir, H.A.; Muji, S.Z.M.; Rahim, R.A.; Puspanathan, J. Non-Destructive Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB) Grading Technique Using Optical Sensor. *Int. J. Integr. Eng.* 2018, 10, 35–39.
- Vallone, M., Alleri, M., Bono, F., Catania, P., 2019. Quality evaluation of grapes for mechanical harvest using vis NIR spectroscopy. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 21, 140–149.
- Yan H, Chang WX, Wen DD. 2009. Rapid determination of moisture and protein contents in silver carp surimi by fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectrometry. *Asian Fish Sci.* 22: 337-355.
- Yan, H., & Siesler, H. W. (2018). Hand-held near-infrared spectrometers: State-of-the-art instrumentation and practical applications. *NIR News*, 096033601879639. doi:10.1177/0960336018796391
- Yu, G., Ma, B., Chen, J., Li, X., Li, Y., Li, C., 2021. Nondestructive identification of pesticide residues on the Hami melon surface using deep feature fusion by Vis/NIR spectroscopy and 1D-CNN. *J. Food Process. Eng.* 44, 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13602>.
- Yu Y, Yao M. 2022. A portable NIR system for nondestructive assessment of SSC and firmness of Nanguo pears. *Food Science and technology* 167 (2022)113809. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113809>
- Zheng S, Cai X, Guo W, Zhang Z, Yang S. 2022. Differences in optical properties and internal qualities of ‘Fuji’ apple produced in different areas of the Loess Plateau region. *European Journal of Agronomy* 140 (2022) 126608. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126608>
- Zhu K, Aykas DP, Anderson N, Ball C, Plans M, Saona LR. 2022. *Nutritional quality screening of oat groats by vibrational spectroscopy using field-portable instruments*. *Journal of Cereal Science* 107. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103520>.
- Zulkifli, A.B.H.Z.M.; Hashim, F.H.; Raj, T. A Rapid and Non-Destructive Technique in Determining the Ripeness of Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB). *J. Kejuruter.* 2018, 30, 93–101.

Zulmi, Q, Munawar, A.A., Zulfahrizal. 2022. Teknologi Near Infrared Reflectance Spectroscopy dan Metode Kemometri untuk Deteksi Pemalsuan Minyak Nilam. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian. Vol 1(7): 463-469. E-ISSN : 2614-6053.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]