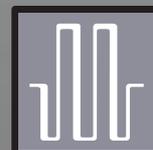


jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 10, No. 1, April 2022



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



DAFTAR ISI

Technical Paper

1

Limbah Padat Kelapa Sawit sebagai Alternatif Energi Pembangkit Listrik di Barat Selatan Aceh
Palm Oil Solid Waste as an Alternative Energy Source of Electricity generation in The Southwest of Aceh
Agustiar, Tajuddin Bantacut, Bambang Pramudya

11

Pengaruh Proses Torefaksi terhadap Kualitas Serbuk Kayu
The Torrefaction Effect on The Sawdust Quality
Ismail, Erlanda Augupta Pane, I Gede Eka Lesmana, Rovida Camalia Hartantrie, Deni Rifki.

21

Penerapan Metode Ekstraksi Microwave Untuk Meningkatkan Rendemen dan Mutu Oleoresin Lada Putih (*Piper nigrum L*)
*Application of Microwave-Assisted Extraction Method to Improve Yield and Quality of White Pepper (*Piper nigrum L*) Oleoresin.*
Annisa Purnamasari Damanik, Edy Hartulistiyoso*, Rokhani Hasbullah.

29

Pengaruh Waktu Pemanasan, Jenis dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Karakteristik Edible Film K-karagenan
The Effect of Heating Time, Type and Plasticizer Concentration on Characteristics of Edible Film K-carrageenan
Desi Juliani*, Nugraha Edhi Suyatma, Fahim Muchammad Taqi.

41

Pemanfaatan Water Power Generator di Saluran Irigasi Tersier untuk Penanganan Hama Padi
Utilization of Water Power Generator in The Tertiary Irrigation Canal for Paddy's Pest Handling
Lilis Dwi Saputri, Elsa Wulandari, Febri Nur Azra, Afik Hardanto*.

49

Sistem Monitoring dan Kontrol Iklim Mikro pada Plant Factory Berbasis Internet of Things
Microclimate Monitoring and Control System in a Plant Factory Using the Internet of Things
Ardiansyah*, Ikhsan Nur Rahmaan, Eni Sumarni, Afik Hardanto.

59

Portable/Handheld NIR sebagai Teknologi Evaluasi Mutu Bahan Pertanian secara Non-Destruktif
Portable/Handheld NIR as a Non-Destructive Technology for Quality Evaluation of Agricultural Materials
Widyaningrum*, Y Aris Purwanto, Slamet Widodo, Supijatno, Evi Savitri Iriani.

69

Detection of Chilling Injury Symptoms of Salak Pondoh Fruit during Cold Storage with Near Infrared Spectroscopy (NIRS)
Sutrisno Suro Mardjan* and Jerry Indriantoro.

77

Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Bedadung Kabupaten Jember Menggunakan Program Qual2Kw
Determination of Total Pollution Load Capacity at the Bedadung River, Jember Regency Using Qual2Kw Program
Elida Novita, Rodzika Diah Mauvi, Hendra Andianata Pradana*.

85

Analisis Orifice pada Reaktor Biodiesel Sistem Kavitasi Hidrodinamik dengan Computational Fluid Dynamics
Orifice Analysis in Biodiesel Reactor with Hydrodynamic Cavitation System using Computational Fluid Dynamics
Yayan Heryana*, Dyah Wulandani, Supriyanto.

Penerbit:

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor d/a Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com. Website: <http://web.ipb.ac.id/~jtep>.



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
I Dewa Made Subrata (Scopus ID: 55977057500, IPB University)
Administrasi : Khania Tria Tifani (IPB University)

Penerbit: Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor bekerjasama dengan Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA).

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@apps.ipb.ac.id
Website: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah naskah pada penerbitan Vol. 10, No. 1 April 2022. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr. Eng. Obie Farobie, S.Si, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Lilis Sucahyo, S.TP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr. Agr. Sc., Diding Suhandy, S.TP., M.Agr (Universitas Negeri Lampung), Yusuf Hendrawan, STP, M.App.Life Sc., PhD (Universitas Brawijaya), Dr.Ir. I Ketut Budaraga, M.Si (Universitas Ekasakti), Ir. Sri Endah Agustina, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Asri Widyasanti, S.TP., M.Eng (Universitas Padjadjaran), Dr.Ir. Christina Winarti, MA (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M. Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr. Supriyanto, S.TP, M.Kom (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Bayu Dwi Apri Nugroho, S.T.P., M.Agr., Ph.D (Universitas Gadjah Mada), Ansita Gupitakingkin Pradipta, ST, M.Eng (Universitas Gadjah Mada), Dr. Andasuryani, S.TP, M.Si (Universitas Andalas), Dr.Ir. Lady Lengkey, M.Si (Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M. Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Prof.Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University).

Technical Paper

Portable/Handheld NIR sebagai Teknologi Evaluasi Mutu Bahan Pertanian secara Non-Destruktif

Portable/Handheld NIR as a Non-Destructive Technology for Quality Evaluation of Agricultural Materials

Widyaningrum*, Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari,
Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, Kementerian Pertanian, Indonesia
Email: w.widyaningrum@apps.ipb.ac.id

Y Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University, Indonesia

Slamet Widodo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University, Indonesia

Supijatno, Departemen Agronomi dan Hortikultura, IPB University, Indonesia

Evi Savitri Iriani, Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat,
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Indonesia

Abstract

The development of NIR technology has now reached a higher level. The transition from chemical analysis which requires a lot of time and money makes NIR technology as a technology option that is efficient, fast and does not produce waste residues. Initially, the NIR was made in a benchtop type with a large size, but now it has developed into a handheld and portable NIR. This is based on the need to detect the content of agricultural materials in real-time in the field which is not possible with benchtop NIR. The use of handheld/portable NIR technology is widely applied in agriculture to measure water content, soluble solid contents, pH, mechanical properties of agricultural materials and so on. Portable/handheld NIRs have small dimensions and are light in weight so as to provide convenience in conducting direct analysis compared to using a large benchtop type NIR. However, the accuracy, measurement sensitivity, noise level, and optical reading stability are not better than benchtop NIR. So that the potential for developing portable/handheld NIRs as IoT-based sensing instruments is still open to be done.

Keywords: *NIR, portable, handheld, non-destructive measurements*

Abstrak

Perkembangan teknologi NIR saat ini telah mencapai tingkatan yang lebih tinggi. Peralihan dari analisis kimia yang membutuhkan banyak waktu dan biaya menjadikan teknologi NIR sebagai salah satu pilihan teknologi yang hemat, cepat dan tidak menghasilkan residu limbah. Pada mulanya, NIR dibuat dalam tipe *benchtop* dengan ukuran yang besar, namun saat ini sudah berkembang menjadi *handheld* dan *portable* NIR. Hal ini didasari oleh keperluan untuk melakukan deteksi kandungan bahan pertanian secara *real-time* di lapangan yang tidak mungkin dilakukan oleh NIR tipe *benchtop*. Pemanfaatan teknologi *handheld/portable* NIR banyak diaplikasikan pada bidang pertanian untuk mengukur kadar air, total padatan terlarut, pH, sifat mekanik bahan pertanian dan lain sebagainya. *Portable/handheld* NIR memiliki dimensi yang kecil dan ringan sehingga memberikan kemudahan dalam melakukan analisis secara langsung dibandingkan dengan menggunakan NIR tipe *benchtop* yang berukuran besar. Namun demikian, tingkat akurasi, sensitivitas pengukuran, tingkat kebisingan, serta stabilitas pembacaan optik tidak lebih baik jika dibandingkan dengan NIR tipe *benchtop*. Sehingga potensi pengembangan *portable/handheld* NIR sebagai instrumen penginderaan berbasis IoT masih terbuka untuk dilakukan.

Kata Kunci: *NIR, portable, handheld, pengukuran non-destruktif*

Diterima: 28 Desember 2021; Disetujui: 21 Maret 2022

Pendahuluan

Peningkatan daya beli masyarakat dan kesadaran akan pemenuhan nilai gizi, meningkatkan kesadaran konsumen akan pentingnya kualitas bahan pangan. Hal ini berdampak positif akan potensi pengembangan agribisnis sayuran dan buah-buahan. Berkembangnya pasar melalui *online store* memaksa para produsen untuk terus berinovasi. Produsen sayur dan buah saat ini mulai bersaing untuk mempertahankan mutu produk pertanian agar dapat diterima di pasar modern. Kepuasan konsumen menjadi atribut penting dalam mempertahankan kualitas produk.

Untuk memenuhi permintaan produk yang berkualitas tinggi, diperlukan proses kontrol kualitas yang menjamin kecepatan dan keamanan produk *from farm to table*. Beberapa tahun terakhir, pengembangan instrumentasi *non-destructive* telah banyak diterapkan pada sektor pertanian. Salah satunya adalah penggunaan teknologi *near infrared spectroscopy*. Penggunaan *near infrared spectroscopy* (NIR) menjadi populer karena merupakan suatu terobosan untuk menduga kandungan fisik dan kimia bahan pertanian secara cepat dan tidak merusak. Prinsip kerja dari teknologi ini adalah berdasarkan adanya perbedaan karakter absorpsi materi dengan ikatan kimia tertentu dalam penerimaan spektrum gelombang cahaya. Untuk menghubungkan data dengan kondisi materi digunakan metode statistik yang dikenal dengan analisa kemometrik. Selain itu, keunggulan teknologi ini adalah dapat digunakan tanpa perlu persiapan sampel, tidak menghasilkan limbah kimia, tidak memerlukan keterampilan khusus dalam pengaplikasiannya, waktu analisis yang cepat dan dapat digunakan untuk berbagai macam sampel seperti sampel padat, cair maupun semi padat-cair.

Namun, seperti teknologi lainnya, NIR juga memiliki kelemahan. Salah satunya adalah ukuran instrumen yang cukup besar sehingga tidak mudah dibawa untuk analisis langsung di lapangan. Untuk mengatasi hal tersebut, saat ini banyak ilmuwan telah mengembangkan teknologi *portable NIR*. *Handheld/portable NIR* telah digunakan untuk menyediakan informasi kandungan buah dan sayuran secara non-destruktif dan *real-time* selama proses pascapanen di lapangan.

Tinjauan ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang penggunaan dan potensi *portable/handheld NIR* pada produk pertanian terutama buah dan sayuran. Tinjauan ini berfokus pada perkembangan *portable NIR*, aplikasi *portable/handheld NIR* pada bidang pertanian dan tantangan penggunaan *portable/handheld NIR*.

1. Perkembangan Portable/Handheld NIR

Near-Infrared Spectroscopy adalah teknologi analitik yang memanfaatkan interaksi antara cahaya dan materi untuk mendapatkan informasi tentang sifat fisik dan kimia bahan yang menawarkan berbagai keuntungan dibandingkan dengan analisis kimia klasik seperti cairan kromatografi, gas kromatografi atau spektrometri massa (Henn, 2016). *Benchtop* dan *portable NIR* sudah tersedia sejak akhir tahun 1990an

dan telah digunakan pada banyak penelitian di bidang pangan khususnya untuk sayur dan buah (Pu *et al.*, 2021). Namun, instrumen ini tidak banyak diadopsi penggunaannya (Rodriguez-Saona *et al.*, 2020). Pada saat itu, penggunaan instrumen NIR tidak populer dikarenakan memiliki beberapa keterbatasan, seperti keterbatasan pada *range* panjang gelombang (kurang dari 1100 nm), resolusi yang rendah, spektrum yang buruk, ukuran jendela optik yang terbatas, kurangnya kompartemen untuk sampel cair dan hambatan dalam menghubungkan *device* ke komputer eksternal (Pu *et al.*, 2021). Salah satu tipe NIR tipe *benchtop* yang banyak digunakan saat ini adalah NIRFlex N-500 yang dikeluarkan oleh Buchi dengan panjang gelombang 1000-2500 nm. NIRFlex N-500 telah digunakan dalam melakukan karakterisasi kayu *Acacia mangium* WILLD. (Karlinasari *et al.*, 2012); model pendugaan kandungan air, lemak dan asam lemak bebas pada tiga provenen biji jarak pagar (Lengkey *et al.*, 2013); prediksi fungsionalitas keju proses (Chou, 2021); dan lain sebagainya. NIR tipe *benchtop* memiliki kelemahan yaitu lebih mahal dan membutuhkan pelatihan khusus dalam penggunaannya, namun instrumen NIR *benchtop* telah diimplementasikan dan divalidasi secara luas (Hinz, 2006). Pada umumnya spektrometer NIR tipe *benchtop* didasarkan pada pengaturan optik dengan kisi difraksi. Oleh karena itu, kelemahan utama untuk melakukan analisis secara *real time* adalah ketersediaan suku cadang perangkat seluler. Selain itu, ukuran yang besar dan harga suku cadang yang mahal menjadi salah satu kelemahannya (Saranwong, 2005).

Strategi utama untuk mengurangi dimensi dari NIR adalah dengan melakukan pemisahan dan pendeteksian komponen cahaya. Pada dekade pertama abad ke-21, kemajuan dalam perangkat genggam dan mikro NIR telah berkembang pesat dalam teknologi penginderaan seperti penggunaan *linear variable filters* (LVF) atau penggunaan *micro-electro-mechanical-system* (MEMS) dan integrasi dengan mikro optik (MOEMS). Ukuran dimensi yang tepat dan keselarasannya dengan perangkat MEMS serta dikombinasikan dengan stabilitas mekanis membuat sensor MEMS optik cocok untuk digunakan dalam berbagai pengukuran di lapangan (Saranwong, 2005).

Berdasarkan jenis detektornya, spektrometer NIR *portable* dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu instrumen detektor *array* dan instrumen detektor tunggal. Untuk spektrometer NIR *portable*, biaya dan konsumsi daya adalah faktor pendorong utama yang harus diperhatikan. Oleh karena itu, penggunaan elemen detektor tunggal lebih disukai. Namun, kelemahan dari jenis detektor ini adalah spektrum yang diperoleh memiliki *noise* yang tinggi dibandingkan dengan standar detektor InGaAs (dengan *cut-off* 1700 nm) dan juga detektor ini memerlukan sistem pendinginan (De Marchi *et al.*, 2018; Crocombe, 2018; Solgaard *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020).

a. The Phazir™ Spektrometer

Pada tahun 2005, spektrometer NIR genggam diluncurkan oleh Polychromix (sekarang dipasarkan

oleh Thermo Fisher Scientific). Instrumen ini diperkenalkan pada konferensi Pittcon tahun 2006 yang diselenggarakan di USA dan diklaim sebagai spektrometer NIR genggam pertama berbasis MEMS (Pu *et al.*, 2021). MEMS adalah bagian kecil yang mengintegrasikan komponen elektrik dan mekanikal ke dalam chip semikonduktor untuk menyeleksi panjang gelombang (Polychromix, 2006; Crocombe, 2004). Ketika MEMS diintegrasikan dengan mikro optik maka disebut dengan micro-optik-elektromekanikal (MOEMS). MOEMS mampu merasakan dan memanipulasi sinyal optik pada ukuran chip berdasarkan kombinasi teknologi optik, listrik dan mekanik (Saranwong *et al.* 2005).

Phazir™ memiliki chip MEMS yang dapat diprogram, dilengkapi dengan kisi difraksi tetap dan dikombinasikan dengan detektor tunggal dan mesin spektrometer transformasi digital yang memungkinkan pengurangan ukuran dan biaya peralatan. Phazir™ menawarkan keuntungan potensial dibandingkan dengan desain berbasis detektor *array* konvensional karena penggunaan spektroskopi transformasi digital (DTS) tidak hanya meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise* terkait dengan modulasi sumber cahaya, tetapi juga menciptakan ketidakpekaan yang melekat pada cahaya yang menyimpang (Pu *et al.*, 2021).

Pada mulanya, Phazir™ muncul di pasaran dalam dua konfigurasi berbeda, meliputi 1100-1700 nm dengan detektor InGaAs elemen tunggal dengan resolusi 6 nm per piksel dan meliputi 1600-2400 nm dengan detektor InGaAs elemen tunggal, resolusi 8 nm per piksel yang dilengkapi dengan pendinginan dua tahap (De Marchi *et al.*, 2018). Pada periode selanjutnya, MicroPhazir™ diluncurkan dan hanya tersedia dalam rentang panjang gelombang tertinggi. MicroPhazir™ terdiri dari desain instrumen yang sama dengan Phazir™ namun dengan beberapa perbedaan diantaranya ukuran yang lebih kecil dan bobot yang lebih ringan, berisi referensi internal dan memiliki layar informasi untuk menampilkan operasi keadaan perangkat (dos Santos *et al.*, 2013). Instrumen ini tidak hanya memungkinkan pengguna untuk memindai padatan tetapi juga cairan dengan menggunakan adaptor yang berbeda. Meskipun telah mengalami pengurangan ukuran perangkat, namun instrumen ini masih tergolong berat untuk ukuran penganalisis genggam (sekitar 1.2 kg).

Beberapa jenis spektrometer Phazir™ telah digunakan dalam pendugaan kandungan bahan pertanian diantaranya *handheld MEMS* spektrometer (Phazir 2400, Polychromix Inc., Wilmington, MA, USA) yang digunakan untuk menilai karakteristik kualitas internal (kandungan padatan terlarut dan kekakuan) buah plum dan mengklasifikasikannya berdasarkan varietas dan waktu penyimpanan dingin sebagai penaksir umur simpan (Pérez-Marín *et al.*, 2010). Penelitian lain menunjukkan bahwa Phazir 1018 (Thermo Scientific, Wilmington, MA, USA) dengan panjang gelombang 1000-1800 nm dapat digunakan untuk estimasi kandungan kadar air alpukat dan dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kematangan buah alpukat untuk mengurangi risiko panen buah yang belum matang (Blakey dan Rooyen, 2011).

b. Spektrometer MicroNIR

MicroNIR adalah spektrometer berukuran saku yang pada mulanya dikembangkan dan dipasarkan oleh JDSU Corp (CA, USA) dan sekarang dipasarkan oleh VIAVI Solutions Inc. (AZ, USA) yang diperkenalkan pada konferensi Pittcon tahun 2012 (Senturia, 2005). MicroNIR spektrometer terdiri dari sumber cahaya, koleksi spektrum optik, elektronik dan detektor di dalam satu paket seberat 58 g yang didukung oleh koneksi USB. Ukuran dan bobot yang minimalis ini karena microNIR menggunakan film tipis yang disebut *linear variable film* (LVF). Bergantung pada ketebalan dari lapisannya, hanya cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang dapat melewatinya. Ketebalan lapisan pada LVF dapat diatur sesuai dengan *range* panjang gelombang yang diinginkan.

MicroNIR pertama dipasarkan dengan dua konfigurasi; konfigurasi pertama dengan detektor InGaAs standar dengan panjang gelombang 950-1650 nm (MicroNIR 1700) dan yang kedua detektor InGaAs standar dengan panjang gelombang 1150-2150 nm (MicroNIR 2200). Sebuah studi yang dilakukan oleh VIAVI Solutions mengonfirmasi bahwa rata-rata *noise level* dari MicroNIR 2200 tiga sampai lima kali lebih tinggi dibandingkan dengan MicroNIR 1700 (Friederich *et al.*, 2014).

González-Mohino *et al.* (2020) melakukan pendugaan karakterisasi fisikokimia (berat hilang, pH, kadar air, aktivitas air, warna, kekakuan dan zat reaktif dan analisis sensorik. Hasilnya MicroNIR (Viavi, Santa Rosa, CA) merupakan alat yang non-destruktif, sederhana, non-invasif, cepat dan hemat biaya yang dapat digunakan dalam memantau proses pengolahan sosis.

c. TellSpec Enterprise Sensor

TellSpec memproduksi sensor cerdas yang inovatif dan mengembangkan solusi analitik data berbasis AI untuk analisis cepat sampel padat dan cair seperti makanan, tanah, bahan bakar minyak, tembakau, dan spesimen medis. TellSpec menawarkan perpaduan antara perangkat spektroskopi *portable* dengan *platform* AI untuk pengembangan yang mudah dan cepat dari penerapan model *machine learning* yang diperoleh dari data spektral dengan panjang gelombang spektra antara 900-1700 nm (enterprise sensor) dan panjang gelombang spektra 1350 – 2150 nm (*preemie sensor*).

TellSpec Enterprise Sensor didasarkan pada desain InnoSpectra NIR-S-G1 yang termasuk dalam kelas instrumen yang berbeda yang berorientasi pada pasar yang jauh lebih luas dan harganya sepuluh kali lebih rendah daripada MicroNIR 1700 ES. Prinsip kerja TellSpec didasarkan pada skema umum spektrometer kisi dispersif konvensional. Namun, pemilihan panjang gelombang dilakukan dengan menggunakan perangkat *micromirror* digital (DMD) yang direkayasa dalam skala mikro melalui teknologi sistem MEMS. Elemen DMD memungkinkan penggunaan kisi dispersif stasioner dan menghasilkan sensor yang sangat ringkas dan kuat secara mekanis. Alat ini dilengkapi dengan baterai Li-ion kapasitas 500 mAh (3,7 V) dan dikendalikan oleh aplikasi seluler (iOS dan android)

yang dikoneksikan melalui antarmuka *bluetooth low energy* (BLE). Data spektral yang telah didapatkan diunggah ke layanan *cloud* dan dapat diunduh untuk digunakan lebih lanjut (Beć, 2021).

Selain mengembangkan spektral sensor, *TellSpec Enterprise* juga mengembangkan aplikasi *mobile* sebagai pendukung untuk melakukan pengukuran cepat non-destruktif untuk menguji kandungan nutrisi ikan dan kesegarannya (*FishQC and Fraud*) serta aplikasi untuk deteksi cepat non-destruktif untuk menguji kualitas, kematangan dan rasa dari buah-buahan segar (*FruitQC*).

Telah dilakukan studi untuk mengevaluasi penerapan spektrometer NIR *handheld* dan teknik klasifikasi kemometrik untuk otentifikasi biji kakao organik dan konvensional yang diproduksi di Ghana. Studi ini menggunakan instrumen *handheld* NIR spektrometer (TellSpec) dengan *range* panjang gelombang 900-1700 nm. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *handheld* NIR spektrometer dan algoritma PLS-DA dapat digunakan sebagai teknik sederhana, langsung, hemat biaya, cepat dan ramah lingkungan untuk identifikasi biji kakao guna mencegah penipuan pangan (*food fraud*) (Anyidoho *et al.*, 2021b).

d. SCiO Portable NIR

Baru-baru ini, kemampuan untuk menghasilkan spektrometer dengan biaya rendah serta ringkas untuk digunakan pada perangkat seluler telah dikembangkan (Goldring dan Sharon, 2013). SCiO adalah spektrometer NIR gelombang pendek yang dikembangkan oleh *Consumer Physics* (Hod HaSharon, Israel). SCiO mengukur reflektan NIR dari panjang gelombang 740 hingga 1070 nm dan spektra sampel direkam langsung ke dalam *cloud-based software* yang bernama SCiO Lab. (Yizhou, 2019). SCiO memiliki dimensi berukuran 54 x 36.4 x 15.4 mm tanpa cover dan 67.7 x 40.2 x 18.8 dengan cover, serta memiliki berat hanya 35 g. Waktu yang diperlukan SCiO untuk melakukan proses scan yaitu 2-5 detik dan bisa dioperasikan melalui iOS maupun android. Database yang ada pada SCiO dapat dikumpulkan oleh *user* maupun oleh *Consumer Physics*. Cloud SCiO menampung model dan algoritma kemometrik yang menganalisis spektrum dan mengubahnya menjadi data material yang berguna sesuai dengan kebutuhan.

Selain biaya yang murah, sensor ini memiliki portabilitas tinggi yang memungkinkan untuk melakukan pengukuran kapan saja dan dimana saja, dan menyediakan tautan data yang diambil ke database dan analitik cloud yang berarti bahwa informasi diagnostik cepat dapat ditampilkan pada perangkat yang terhubung ke internet jika ada konektivitas cloud. Integrasi ke dalam *smartphone* dan perangkat rumah tangga lainnya akan membuat aplikasi NIR dapat dinilai dan terjangkau oleh masyarakat umum (Haughey *et al.*, 2015).

Potensi SCiO spektrometer telah dibuktikan untuk pengukuran kualitas nanas secara non-destruktif. Hasilnya menunjukkan bahwa spektrometer ini yang digabungkan dengan model MSC-PCA dan LDA dapat digunakan untuk mengidentifikasi buah nanas

utuh yang ditanam secara organik dan konvensional dengan tingkat identifikasi 100% (Amuah *et al.*, 2019).

e. Portable NIR Ocean Optics

Saat ini telah banyak dikembangkan instrumen spektrometer *portable*, salah satunya adalah *Ocean Optics S-2000*. *Ocean Optics S-2000* diluncurkan pada tahun 1997 dengan sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan seri *original* yang dirilis pada tahun 1992 yaitu S-1000. Spektrometer ini merupakan jenis spektrometer kedua yang dikembangkan oleh *Ocean Optics* dimana instrumen ini dibuat dengan menggabungkan detektor *array* CCD linier 2048 berbiaya rendah dan berkinerja tinggi dengan *bench* optik yang cukup kecil seukuran telapak tangan. S-2000 adalah spektrometer NIR UV-VIS-*shortwave* dengan sensitivitas tinggi dan berbiaya rendah. S-2000 menerima energi cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik dan menyebarkannya melalui kisi tetap di seluruh detektor yang resonansi dari 200-1100 nm (*Ocean Optics, Inc.*, 2005).

S-2000 telah banyak diaplikasikan dalam penelitian di bidang pertanian diantaranya adalah untuk memprediksi pengaruh jaring/net tanaman terhadap radiasi matahari pada buah Apel *granny smith* (Severino *et al.* 2021). Jauh sebelumnya Walsh *et al.*, (2000) telah memanfaatkan S-2000 untuk melakukan deteksi kandungan gula pada buah melon utuh.

f. UV-Vis-NIR dan Raman Spectrometer tec5USA

Spektrometer *tec5* menawarkan sistem spektrometer dioda-*array* berkualitas tinggi untuk spektroskopi UV-VIS-NIR dan Raman untuk mencakup berbagai aplikasi dan permintaan. Spektrometer *tec5* menawarkan spektrometer dengan waktu tunggu yang singkat, rasio biaya rendah dan kinerja yang baik. Selain itu, instrumen ini menawarkan panjang gelombang bervariasi dari 190-2150 nm (UV-VIS-NIR) dan 300-3100 cm^{-1} (Raman). *tec5* juga menawarkan paket *software* yang diberi nama MultiSpec® Pro II (*tec5USA Inc.*, 2020).

Spektrometer portable Vis/SWNIR spektra *tec5* dengan panjang gelombang 400-1100 nm telah dimanfaatkan untuk memprediksi kerentanan memar pada apel menggunakan teknik Vis/SWNIR yang dikombinasikan dengan *ensemble learning* (Jian *et al.*, 2017).

g. Spektrometer NIR Portable FQA NIRGUN

FQA NIRGUN (FANTEC Research Institute) adalah spektrofotometer NIR berbentuk pistol dengan berat kurang dari 1 kg yang dapat dioperasikan dengan mudah baik di lapangan maupun di laboratorium. Instrumen ini dipilih karena tersedia secara komersial pada tahun 2005 ketika penelitian ini dimulai dan memenuhi kebutuhan penggunaan di luar ruangan dengan ukuran kecil, ringan, baterai yang dapat diisi ulang, tahan cuaca, dan penanganan data yang mudah (Saranwong *et al.*, 2003a, 2003b). Kepala NIRGUN berisi lubang untuk sumber cahaya (lampu halogen kecil) dan detektor dan diatur sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan pengukuran pada buah. Pengukuran spektral, dilakukan dengan menekan

tombol pemicu di pegangan, terdiri dari serangkaian pengukuran intensitas cahaya yang dilakukan pada interval 2 nm antara 588 nm dan 1092 nm (256 titik data per spektrum). Hasilnya langsung ditampilkan di layar LCD NIRGUN. Dengan baterai yang terisi penuh, NIRGUN dapat melakukan 2000 pengukuran saat beroperasi dalam mode mandiri. Memori *on-board* mampu menyimpan 5000 nilai prediksi atau spektrum dan nilai prediksi untuk 500 pengukuran, yang dapat diunduh ke komputer untuk analisis *offline* (Feng *et al.*, 2011).

FQA NIRGUN telah banyak digunakan dalam deteksi kandungan buah dan sayuran. Salah satunya dilakukan oleh Feng *et al.* (2011) yang memanfaatkan FQA NIRGUN untuk memprediksi kandungan bahan kering, padatan terlarut dan rona dalam buah kiwi yang memberikan hasil serupa dengan instrumen *benchtop* laboratorium. Selain itu, instrumen ini juga telah dimanfaatkan untuk mengukur kandungan bahan kering dalam prediksi kematangan buah durian 'Long-lab-lae' (Tangjitwiboonkun *et al.*, 2018).

h. NIR Spectrometer by Control Development

NIR spektrometer yang dikembangkan oleh Control Development Inc. merupakan spektrometer yang diklaim ringkas, kokoh dan *portable* serta dilengkapi dengan perangkat lunak yang dapat digunakan secara bebas. Selain itu, spektrometer ini dibangun menggunakan teknologi dioda *array* yang diperkaya dengan 8051 mikroprosesor. NIR Spektrometer by Control Development Inc. menawarkan berbagai tipe spektrometer dengan berbagai pilihan *array* InGaAs (indium gallium arsenide) dengan panjang gelombang antara 780-2500 nm yang dapat digunakan pada industri farmasi, pakan, makanan, biji-bijian, tepung, petrokimia, kimia dan semi konduktor (Control Development Inc., 2022).

Beberapa penelitian yang menggunakan tipe spektrometer ini diantaranya adalah penelitian tentang pendugaan kandungan total fenolik dan aktivitas antioksidan pada buah beri menggunakan instrumen NIR-128-1.7-USB/6.25/50 μ m dengan *software* CDI Spec32 yang juga dikembangkan oleh Control Development Inc. (Kljusuric *et al.*, 2016). Spektrometer yang sama juga digunakan Christy (2008) untuk melakukan pengukuran atribut tanah secara *real-time*.

i. NeoSpectra by Si-Ware

Penganalisis NeoSpectra merupakan spektrometer *portable* yang bertujuan menyederhanakan analisis sampel sehingga pengguna dapat melakukan analisis dimana saja dan mendapatkan hasilnya dalam hitungan menit. NeoSpectra by Si-Ware memiliki panjang gelombang 1250-2500 nm. Terdapat tiga jenis spektra yang dapat digunakan yaitu NeoSpectra Scanner yang merupakan spektrometer genggam *portable*, kokoh dan mudah digunakan di dalam maupun di luar laboratorium. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur sampel homogen dan non-homogen, memiliki desain ergonomis, layar bawaan, antarmuka *Bluetooth* yang dapat dihubungkan ke ponsel atau PC melalui *platform* NeoSpectra *cloud*. Selain NeoSpectra Scanner, terdapat pula NeoSpectra Solo dan

NeoSpectra Puck. NeoSpectra Solo dilengkapi layar sentuh, dan memungkinkan analisis tanpa ponsel maupun komputer sedangkan NeoSpectra Puck ideal digunakan untuk sampel homogen (termasuk cairan buram, bubuk dan padatan) memiliki antarmuka *Bluetooth* yang dapat terkoneksi dengan ponsel maupun PC (Si-Ware, 2022).

Seperti spektrometer lainnya, NeoSpectra juga telah banyak digunakan dalam bidang pertanian misalnya untuk kontrol kualitas berbagai jenis buah tomat dimana parameter yang diukur adalah kandungan padatan terlarut, fruktosa, glukosa, keasaman, kandungan askorbat dan asam sitrat (Borba *et al.*, 2021).

2. Software pada NIR spektrometer

Sebagian besar penganalisis genggam dan portable NIR dilengkapi dengan perangkat lunak yang memungkinkan perlakuan data spektrum yang di plot, penggunaan turunan pertama dan kedua untuk spektrum *preprocessing*, regresi PLS dan prediksi sampel yang tidak diketahui. Namun, untuk mengembangkan model yang kuat terutama pada bahan dengan tingkat kelembaban yang tinggi, algoritma lain (metode regresi non-linier, metode pengenalan pola, kloning/standarisasi) sangat dianjurkan. Paket perangkat lunak NIR memungkinkan data *spektral* untuk dipindahkan ke perangkat lunak analisis data kemometrik atau analisis multivariat (misalnya Unscrambler, PLS toolbox, Matlab, dan lain sebagainya). Hal ini memungkinkan ilmuwan untuk mengeksplorasi metode algoritma lain untuk meningkatkan kinerja model. Namun, pada aplikasi nyata tidak dimungkinkan untuk mentransfer kembali model Matlab ke dalam perangkat *portable*. Selain itu, perangkat lunak kemometrik seperti Unscrambler dan Matlab adalah perangkat lunak yang mahal sehingga tidak layak untuk disertakan dengan perangkat *portable* berbiaya rendah. Beberapa penyedia perangkat NIR *portable* seperti SCiO dan TellSpec menawarkan *cloud* layanan komputasi yang memungkinkan spektrum disimpan di *cloud* untuk pemrosesan data menggunakan *tools* yang tersedia pada *website provider* (Pu, 2021).

3. Pretreatment Spektrum dan Kemometrik

Penggunaan informasi spektral NIR untuk tujuan analitis umumnya mengandalkan pendekatan multivariat untuk melakukan kalibrasi. Kemometrik adalah penggunaan teknik matematika dan statistika untuk mengekstraksi informasi yang relevan dari data spektra yang dianalisis. Kumpulan spektra NIR biasanya mengalami beberapa jenis pra-perlakuan sebelum digunakan untuk tujuan kualitatif atau kuantitatif. Pra-perlakuan (*pre-treatment*) data ini digunakan terutama untuk mengatasi masalah yang terkait dengan hamburan radiasi oleh sampel padat yang diukur dengan reflektansi dan fenomena yang mempengaruhi garis dasar spektrum lainnya. Metode yang paling banyak digunakan dalam pra-perlakuan spektra adalah *multiplicative scatter correction* (MSC) dan *standard normal derivative* (SNV) (Pasquini, 2003). Selain MSC dan SNV metode lain yang dapat

digunakan adalah *Savitzky-Golay smoothing* (SGs), *derivative* pertama (D1) dan *derivative* kedua (D2).

Terdapat berbagai jenis metode kemometrik yang digunakan dalam melakukan kalibrasi data spektra NIR diantaranya adalah *Partial Least Square* (PLS), *Principle Component Analysis* (PCA), *Principal Component Regression* (PCR), *Multiple Linear Regression* (MLR), dan lain sebagainya (Brereton, 2000).

Untuk memudahkan langkah klasifikasi dan kalibrasi, perlu dilakukan pengurangan jumlah data yang ada dalam spektra yang telah melalui proses pra-perlakuan, untuk menghindari multikolinearitas dan untuk mendapatkan gambaran data yang lebih baik. Analisis komponen utama (*principle component analysis/PCA*) adalah metode yang sangat populer untuk kompresi data dan digunakan sebagai teknik pengenalan pola tanpa pengawasan (*unsupervised pattern recognition*) dalam analisis NIR kualitatif. Model lain yang dapat digunakan adalah regresi kuadrat terkecil parsial (*partial least square*), yang merupakan metode kalibrasi linier paling populer yang digunakan dalam analisis data NIR dimana metode ini dapat mengurangi jumlah data (pengurangan dimensi matriks spektrum NIR) dan melakukan regresi secara bersamaan (Methrom, 2013).

PLS (*partial least square*) adalah metode regresi yang sering digunakan dalam analisis kuantitatif spektroskopi NIR (Kessler, 2007; Peng, 2003). Namun, kinerja prediktif PLS terbatas dalam beberapa kasus (Cui dan Fearn, 2017). Kalibrasi PLS menunjukkan hasil yang baik bila diterapkan pada kumpulan data spektrum yang diperoleh menggunakan NIR *benchtop* (Mayr, 2021). Sebaliknya, metode kuantitatif non-linier seperti GPR (*ground penetrating radar*) menunjukkan potensi untuk diaplikasikan pada analisis spektroskopi menggunakan spektrometer miniatur (Fearn, 2005). Hanya saja penerapan GPR untuk analisa data spektral NIR masih jarang digunakan khususnya untuk *portable/handheld* NIR.

Literatur juga menyebutkan regresi komponen utama (*principal component regression/PCR*) sebagai teknik kalibrasi linier lainnya. PCR digunakan untuk menangani multikolinearitas yang memerlukan beberapa perhitungan yang tidak termasuk dalam analisis regresi standar (Alibuhitto dan Peiris, 2015). Selain itu, analisis data NIR juga dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linier berganda (*multiple linear regression/MLR*). MLR biasanya dipengaruhi oleh multikolinearitas yang mengarah pada kinerja prediksi yang buruk. Untuk mengatasi masalah ini dan untuk mendapatkan model prediksi yang kuat, jumlah panjang gelombang yang digunakan untuk analisis harus dikurangi secara signifikan. Dibandingkan dengan MLR, teknik PCR dan PLS memungkinkan lebih banyak informasi dalam model kalibrasi dan tidak dibatasi oleh multikolinearitas. PCR adalah metode kalibrasi multivariat dua langkah yang diperoleh dengan menerapkan PCA dan MLR secara berurutan. Komponen utama yang diperoleh dengan PCA adalah variabel independen dalam langkah MLR. Komponen prinsip ini ditentukan semata-mata untuk menjelaskan sebagian besar varians dalam spektrum terukur

(matriks X) tetapi tidak mempertimbangkan variabel Y sama sekali. Umumnya, metode MLR dicadangkan untuk sistem kimia sederhana sementara metode PLS dan PCR digunakan untuk sistem kimia yang lebih kompleks (Methrom, 2013).

Metode kalibrasi harus divalidasi dengan sekumpulan sampel validasi untuk mendapatkan kemampuan prediksinya. Sampel validasi yang digunakan haruslah sampel yang belum digunakan dalam model kalibrasi. Model validasi dicirikan oleh sejumlah parameter statistik seperti *root mean square error of calibration and prediction* (RMSEC dan RMSEP). Keduanya merupakan ukuran penyimpangan dari nilai yang diprediksi dengan nilai yang sebenarnya yang diperoleh dengan metode analisis referensi. Selain itu, koefisien korelasi (R), kesalahan standar prediksi (SEP), dan kemiringan dan perpotongan y dari garis regresi digunakan untuk menilai kecukupan metode kalibrasi. Secara umum, untuk distribusi sampel yang serupa, model NIR yang kuat akan menghasilkan R dan kemiringan yang mendekati 1, perpotongan y yang mendekati nol dan SEP yang mirip dengan SEC dari turunan model kalibrasi NIR (Methrom, 2013).

4. Aplikasi Portabel/Handheld NIR dalam Bidang Pertanian

Penerapan instrumen *portable/handheld* NIR pada bidang pertanian sangat menjanjikan, karena memberikan lebih banyak fleksibilitas untuk pemeriksaan kualitas produk sayur dan buah. Hasil penelusuran melalui aplikasi *Publish n Perish* setidaknya terdapat 185 *paper* yang membahas tentang *portable* NIR spektrometer dengan sebagian besar didominasi oleh bidang pertanian dan kesehatan. Pada umumnya, aplikasi *portable* NIR pada bidang pertanian digunakan untuk mengukur *soluble solid content* (total padatan terlarut), total *acidity*, *firmness*, kandungan sukrosa, fruktosa dan lain sebagainya.

Camps dan Christen (2009) melakukan asesmen non destruktif terhadap buah aprikot menggunakan *portable* NIR Ocean Optics-S2000 dengan panjang gelombang 650-1200 nm. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kualitas dari tiga varietas aprikot melalui dua pendekatan yaitu menentukan nilai *soluble solid content* (SSC), total *acidity* (TA) dan *firmness* atau kekakuan yang diregresikan menggunakan PLS, dan yang kedua mengklasifikasikan data hasil regresi untuk mengklasifikasikan buah menurut varietas dan warna. SSC divalidasi dengan *root mean square error of cross-validation* (RMSECV) dengan nilai 0.67 dan 1.1 Brix dan nilai R antara 0.88 dan 0.96. Mengenai *firmness* atau kekakuan, akurasi prediksi bergantung pada varietas yang diuji. Varietas Kioto dan Harostar memiliki nilai RMSECV antara 6.2% dan 13% (nilai R antara 0.85 dan 0.92). Total *acidity* (TA) memiliki nilai RMSECV antara 0.79 dan 2.61 g 100 ml⁻¹ dan nilai R antara 0.73 dan 0.97. Dalam aplikasi kedua, spektrum NIR digunakan untuk mengklasifikasikan buah aprikot menurut varietas dan intensitas warnanya. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi NIR dapat diterapkan pada penentuan

kualitas aprikot dan perangkat *portable* tersebut dapat membantu untuk menerapkan perlakuan yang tepat di kebun maupun selama pascapanen.

Pemanfaatan *portable* NIR digunakan untuk menentukan kandungan sukrosa bit gula (Pan *et al.*, 2015). Penelitian ini memanfaatkan Vis/SWNIR spektrometer (model LOE-USB) yang dikembangkan oleh tec5USA dengan panjang spektra 400-1100 nm serta menggunakan NIR spektrometer tipe NIR 512L-1.7T1 yang dikembangkan oleh *Control Development Inc* dengan panjang spektra 900-1600 nm. Instrumen diuji pada dua jenis sampel yaitu bit gula utuh dan bit gula irisan. Spektrum 400-1100 nm mampu memprediksi kandungan sukrosa dengan nilai R 0.80 dan 0.88 dengan SEP 0.89% dan 0.70%. Spektrometer 900-1600 nm memiliki nilai R 0.74 dan 0.88 dan SEP 1.02% dan 0.69% untuk bit gula utuh dan bit gula irisan. Hasil ini menunjukkan kelayakan menggunakan spektrometer portabel untuk memprediksi kandungan sukrosa. Menggunakan analisis korelasi sederhana, penelitian ini juga mengidentifikasi panjang gelombang penting yang memiliki korelasi kuat dengan kandungan sukrosa. Sebagai lanjutan, dilakukan juga pengukuran kadar air, total padatan terlarut, dan sifat bahan mekanis menggunakan instrumen yang sama. Untuk *visible infrared* (VIS) maupun *near infrared* (NIR) memberikan prediksi yang sangat baik untuk kadar air, padatan terlarut dan kandungan sukrosa bit gula irisan dengan nilai R 0.89–0.95 dan kesalahan standar prediksi (SEP) 0.60-0.85. Akurasi prediksi yang lebih rendah diperoleh untuk bit gula utuh, dengan nilai R 0.75–0.85 dan SEP 0.88–1.23. Untuk memprediksi sifat mekanik, kedua spektrometer menunjukkan kemampuan yang buruk baik pada bit gula utuh maupun irisan (Pan, 2015).

Wongsheree *et al.*, (2016) melakukan pendugaan kandungan vanilla menggunakan spektrometer NIR *portable* (FQA-NIRGUN, Japan) dan membandingkannya dengan NIR *benchtop* FT-NIR (MPA model, Bruker Optics, Germany) dengan panjang gelombang 600-1200 nm dan bilangan gelombang 12500-4000 cm^{-1} . Teknik spektroskopi inframerah-dekat (NIR) berpotensi untuk menentukan kandungan vanilin dan bahan kering dalam biji yang diawetkan. Dari uji statistik, nilai prediksi yang diperoleh dari spektrometer FT-NIR dan NIR portabel tidak berbeda secara signifikan dengan nilai sebenarnya pada selang kepercayaan 95%. Selain itu, persamaan kalibrasi yang diperoleh dari spektrometer FT-NIR memiliki kemampuan prediksi yang lebih baik daripada persamaan dari spektrometer NIR portabel. Persamaan yang dikembangkan dapat memprediksi kandungan vanillin dengan R (koefisien korelasi) bernilai 0.96 yang menunjukkan bahwa persamaan tersebut dapat digunakan untuk penyaringan dan perkiraan kalibrasi (Wongsheree *et al.*, 2016).

Huang *et al.*, (2017) melakukan prediksi parameter kekakuan pada buah tomat. Instrumen yang digunakan adalah Vis/SWNIR spektrometer (model LOE-USB, tec5USA Inc, Plainview, NY, USA) dengan spektral 400-1100 nm dan NIR spektrometer (model NIR 512L-1.71T1, Control Development Inc,

South Bend, IN, USA) dengan spektral 900-1700 nm. Spektrum interaksi diambil dari 600 buah tomat segar yang dipanen dari enam tahap kematangan. Parameter kekencangan yang berbeda untuk tomat diukur dengan menggunakan uji akustik, benturan, kompresi dan tusukan. Model regresi kuadrat terkecil parsial (PLS), ditambah dengan empat metode pra-pemrosesan (yaitu, asli, logaritmik, skala otomatis, dan skala logaritmik plus skala otomatis), dikembangkan untuk memprediksi parameter kekencangan buah tomat. Hasilnya model PLS memberikan prediksi yang lebih baik untuk keteguhan tumbukan, area tekan dan kemiringan tusukan untuk buah tomat, dengan koefisien korelasi untuk prediksi 0.899, 0.917 dan 0.935 untuk Vis/SWNIR, dan 0.846, 0.831 dan 0.853 untuk NIR. Secara keseluruhan, *preprocessing autoscale* tampil lebih baik untuk spektrum Vis/SWNIR dan NIR. Spektroskopi inframerah-dekat dan tampak dalam mode interaksi dapat berguna untuk penilaian non-destruktif dari kekencangan tomat yang diukur dengan metode referensi destruktif dan nondestruktif.

Portable NIR juga digunakan untuk kontrol kualitas biji kopi Brazilian menggunakan instrumen MicroNIRTM *miniature* Pro 1700 dari Viavi Solutions Inc. (*formerly* JDSU Corporation, Santa Rosa, CA) dan *software* 2.1 dari Viavi Solutions Inc. MicroNIR ini memiliki rentang spektra 908-1676 nm. MicroNIR dikombinasikan dengan kalibrasi multivariat dengan kuadrat terkecil parsial (PLS) dan analisis komponen utama (PCA). Sebanyak 125 campuran diproduksi, yang mengandung tiga belas konsentrasi yang berbeda dari bahan pengawet (jagung dan kulit/batang, dan kopi Robusta) mulai dari 1 sampai 100% berat. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan microNIR membuktikan kemampuan metode untuk bekerja secara efisien dan mampu dalam melakukan prediksi pemalsuan biji kopi dengan tingkat kuantifikasi minimum (LOQs 5-8 wt%), metode ini mampu diterapkan untuk kontrol kualitas sampel kopi komersial. Oleh karena itu, microNIR dapat mengurangi dan menyederhanakan waktu analisis dan langkah persiapan sampel, serta menjamin efisiensi akuisisi data secara *real-time* karena portabilitasnya (Correia *et al.*, 2017).

Pemanfaatan *portable* NIR untuk menduga kandungan fenolik dan flavonoid goji beri liar (*Lycium ruthenicum* Murr.) telah dilakukan menggunakan *portable* NIR Ocean Optics-S2000 dengan panjang gelombang 650-1200 nm. Pengukuran spektroskopi yang diperoleh dengan spektroskopi NIR portabel digabungkan dengan berbagai variabel algoritma berhasil diterapkan untuk kuantifikasi fenolat dan flavonoid dalam sampel *L. ruthenicum*. Si-ACO-PLS menghasilkan kinerja terbaik untuk semua parameter dibandingkan dengan model yang dibangun PLS, Si-PLS dan ACO-PLS. Pemilihan variabel algoritma berhasil menghapus variabel yang berlebihan, sehingga menggabungkan variabel yang ditargetkan terkait dengan parameter spesifik yang menghasilkan model prediksi yang kuat. Secara meyakinkan, metode yang dikembangkan mengungkapkan potensi yang baik untuk digunakan sebagai alat yang cepat dan hemat biaya untuk penentuan fenolik dan flavonoid dalam sampel *L. ruthenicum* liar (Arslan *et al.*, 2020).

Anyidoho *et al.* (2021a) mengaplikasikan spektrometer *portable* NIR untuk mengklasifikasikan dan kuantifikasi biji kakao. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah NIR Spektrometer (Tellspec Ltd., UK) yang dioperasikan melalui *smartphone* Samsung A20 dengan panjang gelombang spektra yang dimiliki berkisar antara 900-1700 nm. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kemungkinan penggunaan spektrometer NIR portabel bersama dengan kalibrasi multivariat untuk autentikasi yang cepat dan tidak merusak serta pengukuran durasi fermentasi biji kakao, FI, kadar air, dan pH. Data spektral diolah secara independen dengan turunan pertama (FD) dan turunan kedua (SD), koreksi hamburan multiplikasi (MSC), pemusatan rata-rata (MC), dan standar normal variate (SNV), sedangkan analisis diskriminan linier (LDA), support vector machine (SVM), dan regresi kuadrat terkecil parsial (PLS-R) digunakan untuk membangun model prediksi untuk FmD, FI, pH, dan MC. MSC plus SVM memberikan klasifikasi akurat 100% untuk memprediksi FI, pH, dan MC, model PLS-R memberikan koefisien korelasi masing-masing sebesar 0.87, 0.82, dan 0.89. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NIRS portabel dapat digunakan untuk pengujian biji kakao. *Novelty impact statement:* Fermentasi adalah operasi pascapanen yang paling penting yang mempengaruhi parameter kualitas biji kakao termasuk kadar air, indeks fermentasi (FI) dan pH. Tidak seperti teknik kimia basah berbasis laboratorium stasioner atau spektroskopi NIR *benchtop*, penelitian ini mengungkapkan bahwa spektroskopi NIR portabel yang relatif murah dapat memberikan hasil yang sangat cepat (dalam waktu 30 detik) dalam evaluasi rutin di lokasi untuk kadar air biji kakao, indeks fermentasi, dan pH di ladang petani di Afrika Sub-Sahara. Secara khusus, hasil studi menyoroti potensi penerapan spektroskopi NIR portabel berdasarkan pembelajaran mesin untuk klasifikasi durasi fermentasi yang efisien dan kuantifikasi kadar air & pH biji kakao dalam penggunaan waktu nyata.

Selain itu, telah dilakukan penelitian untuk membandingkan ketiga performa instrumen NIR (*benchtop*, *handheld* dan *portable*) untuk menginvestigasi keaslian biji ketumbar. Instrumen *benchtop* Thermo Fisher iS50 NIRS (833-2500 nm), Ocean Insights Flame-NIR *portable* (934-1660 nm), dan perangkat SciO *portable* (740-1070 nm) dinilai bersama dengan pemodelan kemometrik untuk menentukan kemampuan prediktifnya dan digunakan sebagai alat kuantitatif melalui analisis regresi. Dua ratus sampel biji ketumbar asli dan sembilan puluh sampel palsu dianalisis pada setiap perangkat. Model prediksi dikembangkan dan divalidasi menggunakan software kemometrik SIMCA 15. Hasilnya adalah semua instrumen dapat memprediksi dengan benar 100% sampel yang dipalsukan. Model terbaik menghasilkan prediksi yang benar sebesar 100%, 98.5% dan 95.6% untuk sampel ketumbar asli menggunakan spektrum masing-masing iS50, Flame-NIR dan SciO. Pengembangan model regresi menyoroti keterbatasan Flame-NIR dan SciO untuk analisis kuantitatif, dibandingkan dengan iS50. Namun, hasilnya menunjukkan penggunaannya sebagai alat skrining untuk analisis makanan di tempat,

pada berbagai tahap rantai pasokan makanan (McVey *et al.*, 2021).

5. Tantangan Pengembangan *Portable/Handheld* NIR

Instrumen analisis NIR *portable* dan *handheld* telah banyak diaplikasikan pada bidang pertanian sebagai alat pemantauan proses secara langsung dan juga sebagai alat untuk pemrosesan dan penentuan kualitas maupun kandungan bahan secara cepat. Perangkat NIR yang diperkecil ukurannya ini membawa banyak manfaat baik kepada produsen maupun konsumen dalam pemeriksaan produk yang akan dipasarkan maupun dikonsumsi. Namun, penggunaan *portable* NIR sifatnya saat ini hanya sebagai pelengkap bukan sebagai pengganti *benchtop* NIR, hal ini dikarenakan *benchtop* NIR lebih unggul dalam segi akurasi.

Saat ini sudah banyak perusahaan yang mengembangkan teknologi *portable* NIR. Pengembangan studi ini harus dilakukan sesuai dengan evaluasi yang telah dilakukan oleh para ilmuwan melalui publikasi-publikasi ilmiah tentang penerapan *portable* NIR. Jumlah sampel yang digunakan, evaluasi pengulangan spektral, tingkat kebisingan, stabilitas pembacaan optik dalam kondisi lingkungan yang berbeda, optimalisasi penyajian sampel (bahan cair dan semi-cair) dan model validasi yang tepat perlu terus dikembangkan (Pu *et al.*, 2021).

Salah satu tantangan dalam pengembangan instrumen NIR *portable* dan *handheld* adalah sensitivitas pengukurannya. Beberapa perusahaan yang mengembangkan teknologi ini menyediakan *cloud* sebagai solusi untuk penyimpanan data dan akses yang mudah melalui komputer maupun *smartphone*, namun pengguna perlu berhati-hati terkait konektivitas *cloud*, keamanan data dan perlindungan data pengguna.

Pada akhirnya, saat ini *portable* dan *handheld* NIR sebagai ujung tombak dalam teknologi pengideraan sebagai bagian dari pengembangan *internet of things (IoT)*. *Portable* dan *handheld* NIR yang ringkas dan ekonomis dapat menjadi salah satu solusi untuk melakukan pendugaan kandungan bahan secara langsung di lapangan.

Daftar Pustaka

- Alibuhtto, M.C. dan T.S.G. Peiris. 2015. Principal component regression for solving multicollinearity problem. 5th International Symposium-IntSym 2015, SEUSL.
- Amuah, C.L.Y., E. Teye, F.P. Lamptey, K. Nyandey, J. Opoku-Ansah dan P.O-W. Adueming. 2019. Feasibility study of the use of handheld NIR spectrometer for simultaneous authentication and quantification of quality parameter in intact pineapples fruits. *Journal of Spectroscopy*. vol. 2019, Article ID 5975461, 9 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5975461>
- Anyidoho, E.K., E. Teye, R. Agbemafle, C.L.Y. Amuah, V.G. Boadu. 2021a. Application of portable near infrared spectroscopy for classifying and quantifying cocoa bean quality parameters. *Journal of Food*

- Processing and Preservation. Volume 45, Issue 5. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15445>
- Anyidoho, E.K., E. Teye, dan R. Agbemafle. 2021b. Differentiation of Organic Beans and Conventional Ones by Using Handheld NIR Spectroscopy and Multivariate Classification Techniques. *International Journal of Food Science*. Volume 2021. Article ID 1844675. <https://doi.org/10.1155/2021/1844675>
- Arslan, M., Z. Xiaobo, H.E. Tahir, J. Shi, M. Zareef, A. Rakha & M. Bilal. 2020. Rapid Screening of Phenolic Compounds from Wild *Lycium ruthenicum* Murr. Using Portable near- Infrared (NIR) Spectroscopy Coupled Multivariate Analysis. *Analytical Letters*. Pages 512-526. <https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1772807>
- Beć, K.B., J. Grabska, N. Plewka, C.W. Huck. 2021. Insect protein content analysis in handcrafted fitness bars by NIR spectroscopy. Gaussian process regression and data fusion for performance enhancement of miniaturized cost-effective consumer-grade sensors. *Molecules*, 22-26 (21), 6390. <https://doi: 10.3390/molecules26216390>
- Blakey, R.J. dan Z. van Rooyen. 2011. Non-destructive measurement of moisture content using handheld NIR. *South African Avocado Grower's Association Yearbook* 34.
- Borba, K.R., D.P. Aykas, M.I. Milani, L.A. Colnago, M.D. Ferreira, dan L.E. Rodriguez-saona. 2021. Portable near infrared spectroscopy as a tool for fresh tomato quality control analysis in the field. *Appl. Sci.* 11(7). 3209. <https://doi.org/10.3390/app11073209>
- Brereton, R. G., 2000. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. *Analyst*, 125(11), 2125–2154.
- Camps, C. dan D. Kristen. 2009. Non-destructive assessment of apricot fruit quality by portable visible-near infrared spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology* 42 (2009) 1125–1131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.01.015>
- Chou, L. 2021. Development of an FT-NIR Method to Predict Process Cheese Functionality. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <https://hdl.handle.net/11299/220114>.
- Christy, C.D. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *J. Computer and Electronics in Agriculture*. Volume 61, Issue 1, Pages 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.02.010>
- Croccombe, R.A. MEMS technology moves process spectroscopy into a new dimension. *Spectrosc. Eur.* 2004, 16, 16–19.
- Croccombe, R.A. Portable Spectroscopy. *Appl. Spectrosc.* 2018, 72, 1701–1751. <https://doi.org/10.1177/0003702818809719>
- Croccombe, R. Handheld Spectrometers in 2018 and Beyond: MOEMS, Photonics, and Smartphones; *Proc. SPIE 10545, MOEMS and Miniaturized Systems XVII, 105450C* (22 February 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2286492>
- Correia, R.M., F. Tosato, E. Domingos, R.R.T. Rodrigues, L.F.M. Aquino, P.R. Filgueiras, V. Lacerda Jr., W. Romão. 2017. Portable near infrared spectroscopy applied to quality control of Brazilian coffee. *Talanta* 176 (2018) 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.009>
- Cui, C., dan T. Fearn. 2017. Comparison of partial least squares regression, least squares support vector machines, and Gaussian process regression for near infrared calibration. *J. Near Infrared Spectrosc.* 25, 5-14. <https://doi.org/10.1177/0967033516678515>
- De Marchi, M., M. P enasa, A. Zidi, C.L. Manuelian. 2018. Invited review: Use of infrared technologies for the assessment of dairy products—Applications and perspectives. *J. Dairy Sci.* Volume 101, Issue 12, Pages 10589-10604. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15202>
- dos Santos, C.A.T., M. Lopo, R.N.M.J. Páscoa, J.A. Lopes. A Review on the Applications of Portable Near-Infrared Spectrometers in the Agro-Food Industry. *Appl. Spectrosc.* 2013, 67, 1215–1233. <https://doi.org/10.1366/13-07228>
- Fearn, T. 2005. Chemometrics: An enabling tool for NIR. *NIR news*. Volume 16, No.7. 17-19. <https://doi.org/10.1255/nirn.856>
- Feng, J., A.V. McGlone, M. Currie, C.J. Clark, dan B.R. Jordan. 2011. Assessment of Yellow-fleshed Kiwifruit (*Actinidia chinensis* 'Hort16A') Quality in Pre- and Post-harvest Conditions Using a Portable Near-infrared Spectrometer. *Postharvest Biology and Technology. HORTSCIENCE* 46(1):57–63.
- Friedrich, D., C. Hulse, M. von Gunten, E. Williamson, C. Pederson, N. O'Brien. 2014. Miniature near-infrared spectrometer for point-of-use chemical analysis. *Photonic Instrumentation Engineering*. <https://doi.org/10.1117/12.2040669>
- Goldring, D. and D. Sharon. 2013. Low-cost spectrometry system for end-user food analysis. Patent 2014/0320858 A1, USA.
- González-Mohino, A., T. Pérez-Palacios, T. Antequera, J. Ruiz-Carrascal, L.S. Olegario, dan S. Grassi. Monitoring the processing of dry fermented sausages with a portable NIRS device. *J. Foods*. 9. 1294. <https://doi.or/10.3390/foods9091294>
- Haughey, S.A. 2015. The use of handheld near infrared reflectance spectroscopy for the proximate analysis of poultry feed and to detect melamine adulteration of soya bean meal. *SAGE Journals. International Council for Near Infrared Spectroscopy*. Volume: 26 Issue:6. Pages: 4-7. <https://doi.org/10.1039/C4AY02470B>
- Henn, R., C.G. Kirchler, M.-E. Grossgut, C.W. Huck. 2017. Comparison of sensitivity to artificial *spektral* errors and multivariate LOD in NIR spectroscopy-Determining the performance of miniaturizations on melamine in milk powder. *Talanta*, 166, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.01.035>
- Hinz, D.C., 2006. Process analytical technologies in the pharmaceutical industry: the FDA's PAT initiative. *Anal. Bioanal. Chem.* 384, 1036-1042. <https://doi.org/10.1007/s00216-005-3394-y>
- Huang, Y., R. Lu, K. Chen. 2017. Prediction of Firmness Parameters of Tomatoes by Portable Visible and Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. S0260-8774(17)30505-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.030>
- Jian, Y., G. Jiyu dan Z. Qibing. 2017. Predicting bruise susceptibility in apples using Vis/SWNIR technique combined with ensemble learning. *Int J Agric & Biol*

- Eng Vol. 10 No.5. 144-153
- Karlinasari, L., M. Sabed, I.N.J. Wistara, Y.A. Purwanto, H. Wijayanto. 2012. Karakteristik Spektra Ansorbansi NIR (Near Infra Red) Spektroskopi Kayu Acacia mangium WILLD. pada 3 Umur Berbeda. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. Vol VI No.1. <https://doi.org/10.22146/jik.3310>
- Kessler, W. 2007. *Multivariate datenanalyse für die Pahrma-, Bio- und Prozessanalytik*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co: Weinheim, Germany.
- Kljusuric, J.G., K. Mihalev, I. Bečić, I. Polović, M. Georgieva, S. Djaković dan Ž. Kurtanjek. 2016. Near-infrared spectroscopic analysis of total phenolic content and antioxidant activity of berry fruits. *Food Technol. Biotechnol.* 54(2) 236-242. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.02.16.4095>
- Lengkey, L.C.E.CH., I.W. Budiastara, K.B. Seminar, B.S. Purwoko. 2013. Model Pendugaan Kandungan Air, Lemak dan Asam Lemak Bebas pada Tiga Provenen Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) menggunakan Spektroskopi Infra Merah Dekat dengan Metode Partial Least Square (PLS). *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*. Vol 19. No 4. Hal 203-211.
- Mayr, S., K.B. Beć, J. Grabska, V. Wiedemair, V. Pürgy, M.A. Popp, G.K. Bonn, C.W. Huck. Challenging handheld NIR spectrometers with moisture analysis in plant matrices: Performance of PLSR vs GPR vs ANN modelling. *Spectrochim. Acta A*. 249. 119342. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119342>
- McVey, C., U. Gordon, S.A. Haughey, C.T. Elliot. 2021. Assessment of the Analytical Performance of Three Near-Infrared Spectroscopy Instruments (Benchtop, Handheld and Portable) through the Investigation of Coriander Seed Authenticity. *Foods* 2021, 10, 956. <https://doi.org/10.3390/foods10050956>
- Methrom. 2013. A guide to Near-Infrared Spectroscopic analysis of industrial manufacturing processes. Metrohm AG, CH-9101 Herisau, Switzerland. 8.108.5026EN – 2013-02.
- Ocean Optics Inc. 2005. Operating manual and user's guide S2000 miniature fiber optic spectrometers and accessories document number 203-00000-DW-02-0505. 830 Douglas Ave., Dunedin, FL, USA 34698.
- Pan, L., R. Lu, Q. Zhu, J.M. McGrath, K. Tu. 2015. Measurement of moisture, soluble solids, sucrose content and mechanical properties in sugar beet using portable visible and near-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 102 (2015) 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.005>
- Peng, Y., P. Wu, H.W. Siesler. 2003. Two-dimensional/ATR infrared correlation spectroscopic study on water diffusion in a poly (epsilon-caprolactone) matrix. *Biomacromolecules*. 4, 1041-1044. <https://doi.org/10.1021/bm0340624>
- Pérez-Marín, D., P. Paz, J-E. Guerrero, A. Garrido-Varo, M-T. Sánchez. 2010. Miniature handheld NIR sensor for the on-site non-destructive assessment of post-harvest quality and refrigerated storage behavior in plums. *Journal of Food Engineering* 99 (2010) 294-3-2. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.002>
- Polychromix. 2006. Polychromix Launches the Phazir NIR Handheld Digital Transform Spectrometer; Polychromix: Woburn, MA, USA.
- Pu, Y., D. Perez-Marin, N. O'Shea, A. Garrido-Varo. 2021. Recent advantages in portable and handheld NIR spectrometers and application in Milk, Cheese and Dairy Products. *Foods*. 10, 2337. <https://doi.org/10.3390/foods10102377>
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2003a. Performance of a portable NIR instrument for Brix value determination of intact mango fruit. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11:175–181.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai, and S. Kawano. 2003b. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11:283–294. <https://doi.org/10.1255/jnirs.374>
- Saranwong, S., dan S. Kawano. 2005. Commercial Portable NIR Instruments in Japan. *NIR News*, 16, 27. <https://doi.org/10.1255/nirn.859>
- Senturia, S.D. MEMS-Enabled Products: A Growing Market Segment. 2005. Available online: <https://www.pharmaceuticalonline.com/doc/mems-enabled-products-a-growing-market-0002> (Diakses pada 22 December 2021).
- Severino, V., M. Arias-Sibillotte, S. Dogliotti, E. Frins, J.A. Yuri, dan J. González-Talice. Pre- and postharvest management of sunburn in Granny Smith Apples (*Malus x domestica* Borkh) under neotropical climate conditions. *Agronomy*, 11.1618. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081618>
- Solgaard, O., A.A. Godil, R.T. Howe, L.P. Lee, Y. Peter, H. Zappe. 2014. Optical MEMS: From Micromirrors to Complex Systems. *J. Microelectromech. Syst.* 23, 517–538. <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2014.2319266>
- Tangjitwiboonkun, S., P. Chairprasart dan R. Rittiron. 2018. Non-destructive measurement of dry matter in mature 'Long-lab-lae' durian fruits using portable NIR spectrometer. *Acta Hort.* 1213. Proc. III Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1213.77>
- tec5 USA Inc. 2020. Technology for spectroscopy. https://mesurex.com/wp-content/uploads/2020/11/tec5_Company_Information_201703.pdf. Diakses pada 10 Maret 2022.
- Walsh, K.B., J.A. Guthrie dan J.W. Burney. 2000. Application of commercially available, low-cost, miniaturised NIR spectrometers to be assessment of the sugar content of intact fruit. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27, 1175-1186. <http://dx.doi.org/10.1071/PP99111>
- Wang, J., B. Zheng, X. Wang. 2020. Strategies for high performance and scalable on-chip spectrometers. *J. Phys. Photonics*, 3, 012006. <https://doi.org/10.1088/2515-7647/abc897>
- Wongsheree, T., R. Rittiron, R. Wongs-Aree, T. Thongtheing. 2016. Vanilla content evaluation in cured bean by near-infrared technique. *Acta Hort.* 1119. XXIX IHC Proc Int. Symposium on Abscission Processes in Horticulture and Non-Destructive Assessment of Fruit Attributes. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1119.41>
- Yizhou, B., K.S. Babu, J.K. Amamcharla. 2019. Prediction of total protein and intact casein in cheddar cheese using a low cost handheld short-wave near-infrared spectrometer. *LWT-Food Science and Technology*. 109. 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.039>