

TEKNOLOGI NEAR INFRARED SPECTROSCOPY PORTABEL UNTUK KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU BUAH-BUAHAN

by Diding Suhandy

Submission date: 10-May-2021 06:59PM (UTC-0400)

Submission ID: 1583103908

File name: BUKU_AJAR_NIR_PORTABEL_No_Pustaka.pdf (3.97M)

Word count: 28338

Character count: 175821

8

**TEKNOLOGI *NEAR INFRARED*
SPECTROSCOPY PORTABEL UNTUK
KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU
BUAH-BUAHAN**

16

**Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP, M.Agr
Meinilwita Yulia, S.TP, M. Agr.Sc**

BUKU AJAR

8 **TEKNOLOGI *NEAR INFRARED*** ***SPECTROSCOPY* PORTABEL UNTUK** **KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU** **BUAH-BUAHAN**

16
Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP, M.Agr
Meinilwita Yulia, S.TP, M. Agr.Sc

Kata Pengantar Penulis

42

Menurut laporan PBB, di seluruh dunia setiap tahun ada sekitar 1.3 milyar ton makanan terbuang percuma dan menjadi sampah (*waste*). Salah satu penyebabnya adalah produk segar dalam bentuk buah dan sayuran terbuang karena dianggap gagal memenuhi ekspektasi atau permintaan konsumen yang terus menuntut produk buah dan sayuran bermutu tinggi. Standar konsumen semakin tinggi atas atribut mutu buah dan sayuran seperti tampilan, warna, ukuran, bentuk dan properti internal (cita rasa, nutrisi, tekstur dan cacat).

8

Buku **Teknologi Near Infrared Spectroscopy Portabel Untuk Kuantifikasi Atribut Mutu Buah-Buahan** ini merupakan salah satu buku yang ditulis untuk memberikan ilustrasi bagaimana teknologi *NIR spectroscopy* portabel dapat diandalkan untuk mengurangi sampah pangan (*food waste*) dalam bentuk pengurangan susut pasca panen (*postharvest loss*). Kuantifikasi atribut mutu buah-buahan secara presisi dan cepat dapat mempertemukan antara keinginan konsumen atau ekspektasi konsumen dengan kemampuan petani atau produsen sehingga secara presisi dapat dipastikan setiap buah dan sayuran yang dihasilkan oleh petani atau industri pertanian dapat diterima oleh konsumen. Teknologi konvensional untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan tidaklah memadai dan bersifat merusak produk sehingga bisa menimbulkan masalah sampah pangan yang lain. Teknologi *NIR spectroscopy* portabel selain tidak merusak, pengukurannya cepat, akurat dan dapat diaplikasikan baik secara *on-plant* maupun *off-plant*. Penurunan susut pangan secara *on-plant* berarti hanya memanen buah-buahan yang mutunya sesuai permintaan konsumen dan membiarkan buah yang belum memenuhi standar konsumen untuk tumbuh dan berkembang sehingga mutunya mencapai standar yang diinginkan. Penurunan susut pasca panen secara *off-plant* memungkinkan produsen untuk memilih (sortasi) dan hanya mendistribusikan buah-buahan yang sesuai standar konsumen sekaligus memisahkan produk yang cacat dari produk yang sehat sehingga umur simpan produk bisa bertambah dan produk yang cacat bisa segera diolah menjadi pangan lain yang lebih diterima konsumen seperti dalam bentuk olahan jus buah dan sebagainya.

Buku ini selain membahas sisi teoritis teknologi *NIR spectroscopy* portabel termasuk kemometrika, juga memberikan ilustrasi aplikasi praktis yang sudah dilakukan khususnya di Jurusan Teknik Pertanian (TEP) Universitas Lampung. Sehingga dengan demikian para pembaca mendapatkan pemahaman yang seimbang antara kemampuan memahami konsepsi teknologi *NIR spectroscopy* portabel dan pemahaman bagaimana merealisasikan konsepsi tersebut. Di sinilah letak kekuatan

buku ini yaitu perpaduan antara teori dan aplikasi. Secara khusus buku ini menjadi salah satu buku wajib yang diperuntukkan bagi mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian (TEP) di Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Khususnya mahasiswa dengan bidang minat pasca panen yang mengambil mata kuliah (MK) Teknik Evaluasi Non-Destruktif (END).

20

Kepada semua pihak yang telah membantu terwujudnya buku ini kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi. Kepada pengguna buku ini terutama mahasiswa dan pembaca yang berminat untuk melakukan riset di bidang *NIR spectroscopy* portabel, semoga buku ini bisa menjadi sarana untuk meraih kesuksesan riset sekaligus menjadi referensi bagi perbaikan pasca panen buah-buahan di Indonesia.

22

Terakhir, kritik dan saran untuk perbaikan buku ini ke depan sangat diharapkan.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2020

16

Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP, M.Agr
Meinilwita Yulia, S.TP, M.Agr.Sc

DAFTAR ISI

Bab 1.	PENGANTAR.....	1
Bab 2.	ATRIBUT MUTU BUAH DAN PENGUKURANNYA.....	7
Bab 3.	⁸ <i>NEAR INFRARED (NIR) SPECTROSCOPY</i> PORTABEL.....	27
Bab 4.	KEMOMETRIKA <i>UNTUK NIR</i> <i>SPECTROSCOPY</i>	47
Bab 5.	<i>KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU BUAH- BUAHAN MENGGUNAKAN NIR</i> <i>SPECTROSCOPY</i> PORTABEL.....	78
Bab 6.	PELUANG DAN TANTANGAN.....	103
	Indeks Istilah.....	110
	Glossary.....	116

Daftar Gambar

17			
Gambar 2.1.	Referensi pertimbangan konsumen dalam menentukan pembelian buah-buahan (Tronstad, 1995).....	11	
Gambar 2.2.	Informasi pengukuran nilai brix buah-buahan yang digunakan untuk menarik pembeli (https://www.flavoralchemy.com/journal/the-brix-of-sweet-fruit/).....	13	
Gambar 2.3.	Prinsip kerja sebuah refraktometer berdasarkan perbedaan sudut bias karena perbedaan kepekatan larutan (diadaptasi dari https://ohioline.osu.edu/factsheet/HYG-1650).....	14	
Gambar 2.4.	Relasi nilai <i>refractive index</i> dan konsentrasi sukrosa pada pengukuran dengan panjang gelombang 589 nm dan suhu 20°C (USDA <i>Technical Procedures Manual</i> , 2013).....	15	
Gambar 2.5.	Tiga varian refraktometer yang tersedia secara komersial yaitu <i>analog handheld</i> , <i>digital handheld</i> dan <i>benchtop</i> (dari kiri ke kanan).....	16	
Gambar 2.6.	Representasi skematik yang menggambarkan mekanisme molekular pada proses pematangan buah klimakterik (Bouzayen <i>et al.</i> , 2009).....	20	
Gambar 2.7.	<i>FT Fruit Pressure Tester</i> dengan probe yang dilengkapi alat pengukur pounds-force (http://www.facchinisrl.eu/pen.htm).....	21	
Gambar 2.8.	<i>Fruit Firmness Tester</i> dengan 2 buah ukuran tip (https://www.agriculturesolutions.com/)....	22	
Gambar 2.9.	Pengukuran atribut mutu internal buah menggunakan mesin sortasi yang bekerja menggunakan <i>NIR spectroscopy</i>	23	
Gambar 3.1.	Fruit tester atau fruit selector produksi Kubota untuk pengukuran atribut mutu buah-buahan secara <i>on-plant</i> (https://the-way-of-japan.com/fruits/en/2017/06/28/1788/).....	29	
Gambar 3.2.	Pengukuran atribut mutu buah secara <i>on-plant</i> dan <i>off-plant</i> dengan spektrometer portabel (https://www.felixinstruments.com/food-science-instruments/portable-nir-analyzers/f-750-produce-quality-meter/).....	29	
Gambar 3.3.	Pengukur KPT buah anggur portabel untuk pengukuran secara <i>off-plant</i> dan <i>on-plant</i> dari Atago (www.atago.net).....	30	
Gambar 3.4.	Komponen dasar <i>NIR spectroscopy</i> portabel di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian,	32	

	Universitas Lampung. Gambar atas: dari kiri ke kanan: spektrometer, sumber cahaya, fiber optik dan reference standard. Gambar bawah: NIR <i>spectroscopy</i> portabel yang sudah dirakit dan siap digunakan.....	
13	Gambar 3.5. MicroNIR® OnSite-W dan konfigurasi optiknya (Viavi Solutions Inc.) (diadaptasi dari Rani <i>et al.</i> , 2019).....	33
	Gambar 3.6. Jenis absorbansi panjang gelombang NIR dan lokasinya (diadaptasi dari Osborne, 2000).....	35
	Gambar 3.7. Instrumentasi NIR spektroskopi (diadaptasi dari Blanco & Villarroya, 2002).....	37
	Gambar 3.8. Sketsa tiga tipe konfigurasi pengambilan spektra: A. Sumber cahaya; B. Sampel; C. Holder; D. Fiber optik; E. Detektor/Spektrometer (Lin & Ying 2009).....	39
	Gambar 3.9. Konfigurasi pengukuran spektra sampel buah-buahan menggunakan NIR <i>spectroscopy</i> portabel di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung (Suhandy, 2010).....	40
	Gambar 3.10. Detail proses pengambilan data spektra sampel buah-buahan menggunakan NIR <i>spectroscopy</i> portabel yang dilengkapi dengan probe fiber optik (Suhandy, 2010).....	40
	Gambar 3.11. Program SpectraSuite™ pada komputer untuk mengontrol proses akuisisi data spektra.....	41
	Gambar 3.12. Tampilan menu waktu integrasi dan jumlah scanning pada program SpectraSuite™ (Sumber: Dokumen Penulis).....	41
	Gambar 3.13. Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra <i>dark</i> (Sumber: Dokumen Penulis).....	43
	Gambar 3.14. Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra <i>reference</i> (Sumber: Dokumen Penulis).....	43
	Gambar 3.15. Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra sampel (Sumber: Dokumen Penulis)...	43
	Gambar 3.16. Pengkondisian suhu sampel buah menggunakan <i>water batch</i>	44
	Gambar 3.17. Pengambilan spektra buah-buahan menggunakan NIR <i>spectroscopy portabel</i> yang dilengkapi dengan kotak hitam (Sumber: Dokumen Penulis).....	44
	Gambar 4.1. Hasil analisis univariat kandungan bahan kering (BK) buah mangga dalam bentuk histogram.....	48
	Gambar 4.2. Plot univariat pengukuran suhu dan keasaman (Swarbrick, 2012).....	50
	Gambar 4.3. Plot multivariat pengukuran suhu dan keasaman (Swarbrick, 2012).....	51

10		
Gambar 4.4.	Data jumlah publikasi NIR dan chemometrics di www.sciencedirect.com pada periode 1997-2020 (www.sciencedirect.com).....	54
Gambar 4.5.	Ketidaklinearan pada spektra yang disebabkan oleh adanya dua efek hamburan atau scatter: <i>baseline offset</i> dan <i>baseline lengkung</i> (sumber: Rinnan et al., 2009).....	55
Gambar 4.6.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>moving averaging smoothing</i> dengan 11 segmen.....	58
Gambar 4.7.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>baseline offset</i> dan <i>linear baseline correction</i>	59
Gambar 4.8.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>mean normalization</i>	60
Gambar 4.9.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>maximum normalization</i>	61
Gambar 4.10.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>range normalization</i>	61
Gambar 4.11.	Plot dua dimensi spektra rata-rata versus spektra tunggal satu sampel.....	62
Gambar 4.12.	Perubahan dari spektra original ke spektra MSC.	63
Gambar 4.13.	Perubahan dari spektra original ke spektra SNV.....	64
Gambar 4.14.	Perubahan dari spektra original ke spektra <i>derivation</i>	65
Gambar 4.15.	Pengelompokan beberapa metode kemometrika yang sering diaplikasikan untuk uji keaslian pangan (Esteki <i>et al.</i> , 2018).....	66
Gambar 4.16.	Hubungan antara proses kalibrasi dan validasi (diadaptasi dari Mark, 1993).....	70
Gambar 5.1.	Tiga tingkat kemasakan buah sawo: masak 1 (A), masak 2 (B) dan masak 3 (C) (Suhandy, 2009a).....	79
Gambar 5.2.	<i>Second derivative</i> spektra NIR buah sawo dengan tiga tingkatan KPT (Suhandy, 2009a).....	80
Gambar 5.3.	Tiga tingkat kemasakan sampel buah nenas (dari kiri ke kanan: masak 50%, masak 75% dan masak 100%).....	81
Gambar 5.4.	Sistem pengambilan spektra buah nenas menggunakan NIR portabel.....	81
Gambar 5.5.	Spektra <i>second derivative</i> sampel buah nenas (rata-rata) dengan nilai KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2009b).....	81
Gambar 5.6.	Spektra <i>reflectance</i> rata-rata buah jeruk BW dengan tiga level kandungan Brix (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2010).	83

4			
Gambar 5.7.	Plot KPT aktual dan prediksi buah jeruk BW (Suhandy, 2010).....	83	
Gambar 5.8.	Sistem pengambilan spektra sampel buah mangga Indramayu yang dilengkapi kotak hitam.	84	
Gambar 5.9.	Spektra rataaan <i>second derivative</i> buah mangga Indramayu dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy <i>et al.</i> , 2008a).	85	
Gambar 5.10.	Spektra rataaan <i>second derivative</i> buah salak dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy <i>et al.</i> , 2010).	86	
Gambar 5.11.	Plot koefisien regresi versus panjang gelombang untuk penentuan KPT buah salak (Suhandy <i>et al.</i> , 2010).....	87	
Gambar 5.12.	Spektra rataaan <i>second derivative</i> buah mangga Indramayu dengan tiga kandungan bahan kering yang berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy <i>et al.</i> , 2008b).....	88	
Gambar 5.13.	Plot koefisien regresi versus panjang gelombang untuk penentuan bahan kering buah mangga Indramayu (Suhandy <i>et al.</i> , 2008b).....	88	
Gambar 5.14.	<i>Scatter plot</i> antara bahan kering aktual dan bahan kering prediksi pada rentang panjang gelombang 700–1000 nm untuk spektra <i>second derivative</i> (Suhandy <i>et al.</i> , 2008b).....	89	
Gambar 5.15.	Sampel buah alpukat dengan dua tingkat kemasakan tua (kiri) dan muda (kanan).....	90	
Gambar 5.16.	Posisi pengambilan spektra buah alpukat di empat titik berbeda.....	90	
Gambar 5.17.	Spektra <i>second derivative</i> pada gelombang 750-1040 nm buah alpukat dengan nilai bahan kering berbeda (rendah, sedang dan tinggi).....	91	
Gambar 5.18.	Spektra <i>second derivative</i> buah sawo yang diambil dengan teknik <i>diffuse reflectance</i> dengan berbagai nilai BK yang berbeda (Suhandy, 2008).	93	
Gambar 5.19.	<i>Scatter plot</i> antara aktual dan prediksi BK buah sawo pada original spektra di interval 700-990 nm (Suhandy, 2008).....	94	
Gambar 5.20.	Arah pengambilan spektra pada buah nenas..	95	
Gambar 5.21.	Spektra rataaan <i>second derivative</i> buah nenas dengan keasaman berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2007).....	96	
Gambar 5.22.	Plot keasaman aktual versus keasaman prediksi buah nenas yang dihitung	97	

	menggunakan model kalibrasi PLS terbaik (Suhandy, 2007).....	
4		
Gambar 5.23.	Dua arah pengambilan sektra buah mangga Harum Manis untuk kuantifikasi keasaman...	98
Gambar 5.24.	Spektra <i>second derivative</i> buah mangga Harum Manis pada panjang gelombang 700-980 nm dengan tiga tingkatan nilai keasaman (<i>acidity</i>) (rendah, sedang dan tinggi).....	99
Gambar 6.1.	Perkembangan jumlah publikasi di bidang <i>NIR spectroscopy</i> portabel untuk buah-buahan yang masuk data base Elsevier (www.sciencedirect.com) periode 1997-2020.....	104
Gambar 6.2.	Perkembangan jumlah publikasi di bidang <i>NIR spectroscopy</i> portabel untuk buah-buahan yang masuk data base Web of Science (https://apps.webofknowledge.com) periode 2005-2020.	105
Gambar 6.3.	Robot yang dapat membantu petani/operator melakukan panen buah jeruk sekaligus mengkuantifikasi atribut mutu dan aplikasi pertanian presisi (Kohno <i>et al.</i> , 2011).....	106
Gambar 6.4.	Peta hasil panen yang dibuat berdasarkan data pengukuran <i>mobile robot grading system</i> untuk membantu pertanian presisi (Kohno <i>et al.</i> , 2011).	106
Gambar 6.5.	Lay out sebuah sistem pemutuan buah (<i>fruit grading system</i>) yang dikembangkan oleh Kondo (2010) dan SI Seiko Co., Ltd dengan gabungan tiga buah jenis sensor tidak merusak untuk pemutuan buah jeruk (Kondo, 2010).....	108

Daftar Tabel

Tabel 1.1.	Estimasi susut pasca panen produk segar di negara maju dan berkembang dalam persen (%) (sumber: Kader & Siddiq, 2012).....	3
Tabel 1.2.	Estimasi susut pasca panen produk segar di beberapa negara terpilih (sumber: Kader & Siddiq, 2012).....	3
Tabel 2.1.	Estimasi kandungan nutrisi buah-buahan (Sumber: The Packer, 1996; Produce Marketing Association, 2000). Tanda x menunjukkan intensitas kandungan.....	10
Tabel 2.2.	Nilai minimum KPT yang direkomendasikan saat panen untuk beberapa buah-buahan (Kader, 2001).....	13
Tabel 2.3.	Beberapa contoh refraktometer yang digunakan pada penelitian kuantifikasi atribut mutu buah-buahan.....	17
Tabel 2.4.	Rekomendasi ukuran ujung penetrometer (tip) untuk pengukuran kekerasan dengan penetrometer (Joshi & Verma 2000).....	22
Tabel 3.1.	Beberapa spektrometer portabel yang tersedia secara komersial dan digunakan dalam penelitian <i>NIR spectroscopy</i>	34
Tabel 4.1.	Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah jeruk BW (Suhandy, 2010).....	48
Tabel 4.2.	Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah nenas (Suhandy, 2007).....	48
Tabel 4.3.	Sejarah singkat perkembangan kemometrika (Geladi, 2003).....	52
Tabel 4.4.	Metode perbaikan data spektra dan efeknya (Sirisomboon, 2018).....	56
Tabel 4.5.	Tahapan penting dalam proses pengembangan model kalibrasi pada analisis spektroskopi secara kuantitatif.....	66
Tabel 4.6.	Parameter statistika terapan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas model kalibrasi.....	71
Tabel 4.7.	Beberapa contoh <i>software</i> untuk analisis spektroskopi secara kuantitatif dan kualitatif.....	74
Tabel 5.1.	Model kalibrasi PLS untuk penentuan KPT beberapa buah menggunakan <i>NIR spectroscopy</i> portabel.....	87
Tabel 5.2.	Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan BK buah alpukat.....	91

4 Tabel 5.3.	1 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan BK buah sawo (Suhandy, 2008)...	92
Tabel 5.4.	Model kalibrasi PLS untuk penentuan bahan kering (BK) beberapa buah menggunakan 1 <i>R spectroscopy</i> portabel.....	94
Tabel 5.5.	Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan keasaman (<i>acidity</i>) buah nenas 1 (Suhandy, 2007).....	96
Tabel 5.6.	Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan keasaman (<i>acidity</i>) buah mangga Harum Manis.....	98
Tabel 5.7.	Model kalibrasi PLS untuk penentuan keasaman (<i>acidity</i>) beberapa buah menggunakan <i>NIR spectroscopy</i> portabel.....	99

Bab 1

PENGANTAR

Tujuan Perkuliahan:

Setelah mengikuti perkuliahan di Bab 1 ini, mahasiswa diharapkan dapat:

1. Menjelaskan tantangan pengembangan buah-buahan dan permasalahan serta peluangnya di Indonesia.
2. Menjelaskan konsep kualitas dan ketahanan pangan.
3. Menjelaskan pentingnya upaya mengurangi angka susut pasca panen buah-buahan terutama di negara berkembang
4. Menjelaskan beberapa penyebab terjadinya susut pasca panen.
5. Menjelaskan pentingnya teknologi tidak merusak (non-destruktif) untuk mendukung peningkatan kualitas dan ketahanan pangan khususnya buah-buahan.

1.1. Tantangan Industri Buah-Buahan di Indonesia

Buah-buahan merupakan salah satu sumber pangan dengan kandungan nutrisi melimpah, menyehatkan, tersedia hampir sepanjang tahun dan harganya terjangkau. Buah-buahan adalah sumber serat yang baik, kaya mineral, vitamin dan antioksidan (Vicente *et al.*, 2009). Buah-buahan di Indonesia, sebagian merupakan buah musiman seperti buah nangka, mangga, manggis, kelengkeng, durian, duku, rambutan, alpukat dan buah sawo. Sebagian lagi tersedia sepanjang tahun seperti buah nenas, pisang, pepaya, jambu air, jambu biji, dan markisa. Bahkan dengan teknologi *off-season* (baik secara mekanik, hormonal/kimia dan gabungan), musim buah bisa dikendalikan sehingga ketersediaannya sepanjang tahun dapat terjaga.

Indonesia sebagai salah satu negara tropis memiliki aneka ragam buah tropis dengan ragam kekayaan hayati berupa plasma nutfah buah-buahan

yang tersebar dari Sabang hingga Merauke. Namun demikian pada kenyataannya tidak semua konsumen bisa memperoleh buah-buahan tersebut dengan kualitas prima sebagaimana kondisi buah saat panen. Proses penanganan pasca panen seperti sortasi, pengemasan, pelapisan, pengepakan hingga transportasi belum sepenuhnya baik ditambah lagi dengan fakta bahwa produk buah-buahan merupakan salah satu produk yang bersifat *perishable* (mudah rusak) sehingga angka kehilangan pasca panen atau susut pasca panen (*post harvest loss*) untuk buah-buahan di Indonesia masih sangat tinggi. Menurut Kader (2005) sebanyak sepertiga (sekitar 35%) buah dan sayuran segar yang dipanen tidak pernah dinikmati oleh 42 manusia karena rusak atau terbuang. Bahkan menurut laporan PBB, di seluruh dunia setiap tahun ada sekitar 1.3 milyar ton makanan terbuang percuma dan menjadi sampah (*waste*). Salah satu penyebabnya adalah produk segar dalam bentuk buah dan sayuran terbuang karena dianggap gagal memenuhi ekspektasi atau permintaan konsumen yang terus menuntut produk buah dan sayuran bermutu tinggi. Selain itu sebagai produk mudah rusak, masa simpan (*shelf life*) buah dan sayuran sangat pendek. Sebagian produk tidak mampu sampai di tangan konsumen pada level kesegaran yang masih ditoleransi sehingga akhirnya dibuang. Penentuan waktu panen yang tidak presisi menyebabkan buah dan sayuran dipanen sebelum atau melewati waktu optimalnya sehingga ikut memperpendek masa simpan buah dan sayuran.

Menurut penelusuran pustaka, angka susut pasca panen produk segar termasuk buah-buahan di negara maju dan berkembang sekitar 32% seperti terlihat di Tabel 1.1 (Kader & Siddiq, 2012). Bedanya, di negara berkembang terbuangnya produk segar lebih disebabkan oleh penentuan waktu panen yang tidak tepat, buruknya penanganan pasca panen dari lokasi kebun ke pengecer di antaranya karena buruknya pengemasan, sortasi, infrastruktur jalan dan kurangnya penyimpanan dingin selama distribusi. Di negara maju proses kehilangan atau susut pasca panen lebih banyak terjadi di konsumen, salah satunya adalah pembelian produk berlebihan sehingga sebagian produk segar terbuang karena melewati masa kesegarannya termasuk kesalahan atau tidak presisinya teknologi penentuan masa simpan produk sehingga produk dinyatakan sudah kadaluarsa padahal belum. Selain itu persepsi mutu yang lebih tinggi di negara maju membuat sebagai produk segar yang diterima oleh konsumen di negara berkembang tapi tidak bisa diterima oleh konsumen di negara maju. Indonesia sendiri, estimasi susut pasca panen produk segarnya sekitar 20-50% (Kader & Siddiq, 2012) (lihat Tabel 1.2) dan ini sangat berbahaya jika terus dibiarkan. Karena dalam kondisi paling buruk, setengah dari hasil panen produk segar di Indonesia terbuang percuma. Memang mustahil menekan susut pasca panen hingga zero atau 0%. Tapi yang harus segera dilakukan adalah upaya menekan angka susut pasca

panen sekecil mungkin hingga industri buah-buahan masih menguntungkan secara ekonomi dan mendukung program ketersediaan buah-buahan di Indonesia secara mandiri (tidak tergantung impor) dengan harga terjangkau.

Tabel 1.1 Estimasi susut pasca panen produk segar di negara maju dan berkembang dalam persen (%) (sumber: Kader & Siddiq, 2012).

Lokasi	Negara Maju		Negara Berkembang	
	Range	Rerata	Range	Rerata
Dari tempat produksi ke lokasi pengecer	2-23	12	5-50	22
Di pengecer dan konsumen	5-30	20	2-20	10
Kumulatif	7-53	32	7-70	32

Tabel 1.2 Estimasi susut pasca panen produk segar di beberapa negara terpilih (sumber: Kader & Siddiq, 2012).

Negara	Susut pasca panen (%)
India	40-50
Indonesia	20-50
Iran	35-45
Filipina	27-42
Sri Lanka	16-41
Thailand	17-35
Vietnam	20-25

Secara spesifik penyebab susut pasca panen di negara berkembang adalah sebagai berikut:

- Suhu yang terlalu tinggi yang dialami oleh buah-buahan setelah dipanen. Buah terlalu lama terpapar sinar matahari, tidak adanya penyimpanan dingin dan sebagainya.
- Susut kadar air. Dengan pengemasan yang buruk, buah yang disimpan di suhu tinggi dan kelembaban rendah menjadi cepat kehilangan air dan menjadi cepat rusak.
- Kerusakan fisik akibat pengemasan yang tidak baik dan sistem transportasi yang buruk (banyak jalan berlubang). Buruknya transportasi dari kebun ke *packing house* juga berkontribusi terhadap kerusakan fisik dalam bentuk memar pada buah (*bruise*) dan memicu munculnya busuk buah (*rotten*). Buah merupakan salah satu produk pangan yang sensitif terhadap kerusakan mekanik karena kulit buah memiliki resistensi yang rendah dan kadar air yang tinggi (Shahbazi *et al.*, 2010).
- Busuk buah selain karena kerusakan fisik juga dipicu oleh sanitasi yang buruk selama proses penanganan pasca panen dan suhu tinggi.
- Kurangnya proses pengeringan dan sarana penyimpanan kering membuat produk pertanian cepat ditumbuhi jamur dan membusuk.

Untuk buah-buahan di Indonesia tantangan ke depan adalah bagaimana meningkatkan atau mempertahankan mutu buah sebaik dan selama mungkin hingga sampai di tangan konsumen (*food quality*) dan menjamin ketersediaan buah-buahan dengan cukup dengan cara mengurangi susut pasca panen (*food safety*). Di titik inilah bidang rekayasa pasca panen Jurusan Teknik Pertanian bisa mengambil peran untuk membantu mengatasi persoalan mutu dan ketahanan pangan khususnya buah—buah di Indonesia.

1.2. Teknologi Pendukung Mutu dan Ketahanan Pangan

Saat ini terjadi kesenjangan luar biasa antara persepsi mutu di negara berkembang dan negara maju. Industri buah-buahan di Indonesia harus diarahkan untuk bisa memenuhi keinginan konsumen baik di negara maju dan negara berkembang secara bersama-sama. Apalagi dalam beberapa dekade terakhir ini dengan adanya perkembangan ekonomi yang cepat dan semakin ⁶⁹mbaiknya standar kehidupan masyarakat maka konsumsi buah-buahan terus meningkat baik di negara berkembang maupun negara maju (Wang *et al.*, 2015). Keinginan konsumen inilah yang kita kenal dengan konsep mutu pangan atas dasar persepsi konsumen. Kita harus mampu mengidentifikasi aspek atau atribut mutu apa saja yang terdapat pada buah-buahan yang membuat konsumen mau membeli produk buah-buahan tersebut. Kemudian kita juga harus mampu mengkuantifikasi atribut mutu tersebut sehingga pemenuhan atas apa yang disebut sebagai keinginan atau ekspektasi konsumen tersebut dapat disediakan atau dipenuhi dengan baik oleh produsen buah-buahan. Atribut mutu seperti warna buah, ukuran dan bentuk buah merupakan beberapa atribut yang bisa digunakan oleh konsumen sebagai pertimbangan memilih dan membeli buah-buahan terutama di negara berkembang. Selain itu atribut mutu seperti rasa (manis, asam), kekerasan buah dan aroma buah juga mulai dipertimbangkan sebagai bahan pertimbangan memilih buah-buahan tertentu oleh konsumen di negara maju. Hanya saja saat ini di Indonesia sebagian besar proses kuantifikasi berbagai atribut mutu tersebut masih bersifat merusak (*destruktif*). Sehingga pengujian mutu buah-buahan hanya bisa dilakukan secara *sampling* dan bukan satu per satu buah. Padahal buah-buahan merupakan salah satu produk yang memiliki keragaman tinggi sehingga satu buah dengan buah yang lain bahkan dari satu pohon yang sama bisa memiliki mutu yang sama sekali berbeda. Pengujian secara merusak juga menimbulkan masalah di mana produk buah yang diuji jadi produk yang terbuang dan tidak bisa dipasarkan. Pengujian mutu seperti ini jelas tidak mendukung konsep peningkatan ketahanan pangan yaitu upaya untuk mengurangi susut pasca panen sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kuantitas ketersediaan buah-buahan.

Di sinilah pentingnya dikembangkan teknologi pengujian mutu yang inovatif yang tidak merusak produk sehingga bisa mendukung upaya peningkatan mutu dan ketahanan pangan sekaligus. Teknologi itu adalah teknologi yang tidak merusak buah atau teknologi non-destruktif salah satunya menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

58

1.3. Sistematika Penulisan Buku

Buku ini disusun dengan sistematika sebagai berikut.

Bab 1 merupakan sebuah Pengantar untuk memberikan justifikasi mengapa buku ini disusun. Mengapa teknologi *NIR spectroscopy* portabel penting dikembangkan untuk peningkatan kualitas dan ketahanan pangan?

Bab 2 memberikan penjelasan lebih detail terkait atribut mutu buah-buahan yang penting dan bagaimana cara mengkuantifikasinya. Kuantifikasi yang dimaksud adalah kuantifikasi menggunakan metode standar yang bersifat merusak.

Bab 3 memberikan ilustrasi ringkas apa itu *NIR spectroscopy* portabel sebagai salah satu teknologi tidak merusak yang ditawarkan sebagai solusi untuk peningkatan mutu dan ketahanan buah-buahan di Indonesia. Termasuk fondasi relasi antara materi dan gelombang elektromagnetik di daerah NIR dan pilihan instrumentasi NIR portabel yang tersedia secara komersial di pasar. Perkembangan teknologi *NIR spectroscopy* portabel tidaklah lengkap jika tidak membahas kemometrika, sebuah disiplin ilmu yang mempermudah konstruksi relasi antara data spektra dan atribut mutu buah-buahan. Sehingga secara khusus Bab 4 didedikasikan untuk membahas seputar kemometrika yang banyak digunakan *NIR spectroscopy* portabel khususnya terkait analisis secara kuantitatif.

8 khimya di Bab 5 buku ini memberikan ilustrasi aplikasi *NIR spectroscopy* portabel untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan tropis yang telah dilakukan di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung. Selain sebagai upaya pendistribusian hasil-hasil penelitian, paparan di Bab 5 juga diharapkan 8 menjadi pemicu untuk lebih dekat ke proses hilirisasi aplikasi *NIR spectroscopy* portabel untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan di Indonesia.

Sebagai penutup, Bab 6 memberikan ilustrasi tantangan ke depan yang harus dipikirkan terkait hilirisasi teknologi *NIR spectroscopy* portabel. Termasuk bidang-bidang riset yang mungkin menarik dan urgen

dilakukan untuk mempercepat hilirisasi teknologi *NIR spectroscopy* portabel ini.

Akhirnya sebagai penutup pemaparan di Bab 1 ini, penulis menegaskan bahwa peningkatan ketahanan pangan buah-buahan dengan cara memperluas area produksi buah-buahan bukanlah perkara mudah apalagi sebagian besar wilayah subur kini telah berganti menjadi area hunian dan industri. Menekan angka susut pasca panen buah-buahan secara tidak langsung memberikan kontribusi bagi peningkatan ketahanan pangan buah-buahan dengan cara yang lebih terjangkau dari sisi ketersediaan teknologi dan sumber daya lahan. Dan untuk buah-buahan, salah satu upaya untuk menekan angka susut p⁸ca panen yang sangat efektif adalah dengan introduksi teknologi *NIR spectroscopy* portabel untuk proses kuantifikasi atribut mutu buah-buahan di Indonesia.

Pertanyaan Bab 1

1. Jelaskan pengertian mutu pangan dan kea⁹⁵nan pangan!
2. Jelaskan perbedaan susut pasca panen di negara maju dan negara berkembang!
3. Jelaskan beberapa penyebab susut pasca panen di negara berkembang!
4. Menurut Anda kira-kira apa yang menyebabkan teknologi *NIR spectroscopy* portabel dapat membantu mengurangi susut pasca panen buah-buahan?

Pustaka Bab 1

Bab 2

ATRIBUT MUTU BUAH DAN PENGUKURANNYA

Tujuan Perkuliahan:

Setelah mengikuti perkuliahan di Bab 2 ini maka mahasiswa diharapkan dapat:

1. Menyebutkan definisi mutu buah-buahan.
2. Menyebutkan dan memahami perbedaan atribut mutu eksternal dan internal buah-buahan.
3. Menyebutkan definisi derajat Brix ($^{\circ}$ Brix) pada pengukuran kandungan padatan terlarut (KPT).
4. Menjelaskan prosedur pengukuran keasaman buah-buahan menggunakan metode titrasi asam-basa.
5. Menjelaskan prosedur pengukuran atribut mutu kekerasan buah-buahan menggunakan penetrometer.
6. Menjelaskan secara ringkas beberapa metode tidak merusak untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan.

2.1. Mutu Buah¹⁴

Kata mutu atau kualitas berasal dari kata Latin *qualitas* yang berarti atribut, properti atau kondisi alamiah sebuah benda atau produk. Terminologi mutu atau kualitas buah-buahan mengacu kepada tingkat keunggulan buah tersebut atau kesesuaian buah-buahan untuk digunakan pada situasi dan kondisi tertentu di mana tingkat kesesuaian ini ditentukan oleh konsumen (Abbott, 1999; Nicolai *et al.*, 2014). Dengan latar konsumen yang sangat beragam baik adanya perbedaan pendidikan, usia dan bahkan perbedaan negara membuat konsep mutu buah menjadi sangat bias. Untuk itulah dibutuhkan proses standarisasi konsep mutu buah. ISO 9000 merupakan standar yang menjelaskan konsep mutu yang didefinisikan sebagai tingkat atau level atau derajat di mana seperangkat karakteristik yang melekat (sensorik, fisik, kimia dll) pada sebuah produk memenuhi persyaratan

pelanggan. Basisnya tetap kepuasan pelanggan atau konsumen. Untuk penggunaan praktis, kualitas atau mutu sebuah produk termasuk buah-buahan dapat digambarkan sebagai beberapa fungsi matematika dari serangkaian atribut kualitas (sensorik, fisik, kimia dll); kemudian konsumen menilai atribut mutu ini dan secara sadar atau tidak sadar menetapkan skor dan kemudian menghitung skor mutu keseluruhan produk tersebut sehingga dapat membantu untuk membuat keputusan pembelian produk tersebut di masa depan (terus membeli produk/buah tersebut atau beralih ke produk/buah yang lain) (Sloof *et al.*, 1996). Di sinilah pentingnya membuat sistem atau metode pengukuran untuk mengkuantifikasi berbagai atribut atau parameter mutu buah-buahan.

Mutu buah ditentukan sepenuhnya oleh kegiatan pertanian sebelum buah tersebut di panen (pra panen). Pemilihan bibit buah, perawatan baik selama pertumbuhan vegetatif dan generatif termasuk pemberian pupuk yang tepat, pola pemberian air termasuk irigasi defisit membentuk keseluruhan mutu atau kualitas buah yang dihasilkan. Ketika buah dipetik maka secara umum kualitas buah yang dipetik itulah maksimal kualitas buah yang bisa kita peroleh yaitu kualitas buah saat panen. Tugas kita berikutnya adalah mencegah proses penurunan mutu buah yang secara alamiah terjadi dan dimulai sejak buah dipanen. Di sinilah pentingnya proses penentuan kapan buah harus dipanen. Sistem keputusan kapan buah dipanen merupakan sebuah keputusan kritis yang menentukan mutu buah yang bisa diperoleh konsumen, termasuk menentukan masa simpan dan penanganan pasca panen lainnya.

Mutu merupakan ukuran yang dibuat oleh manusia dan mengandung banyak atribut, sifat atau karakteristik. Jadi mutu buah-buahan tidak bisa didefinisikan dengan sederhana oleh satu atribut atau satu sifat atau satu karakteristik saja (*single property*). Untuk menggambarkan mutu sebuah produk seringkali dibutuhkan banyak sifat dan karakteristik yang terlibat (*multi properties*). Atribut mutu buah-buahan secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu atribut mutu eksternal dan atribut mutu internal.

2.2. Atribut Mutu Eksternal

Atribut mutu eksternal secara umum merupakan atribut mutu buah yang dapat diindera oleh mata manusia secara langsung. Menurut El-Mesery *et al.* (2019) ada 4 atribut mutu eksternal yang utama yaitu: ukuran (*size*), bentuk (*shape*), warna (*color*) dan cacat (*defect*).

a. Ukuran (*size*)

Atribut mutu ukuran dapat direpresentasikan dalam bentuk pengukuran berat (*weight*), volume dan dimensi buah. Beberapa buah pemutuannya sangat ditentukan oleh berat misalnya pada buah semangka dan melon.

b. Bentuk (*shape*)

Atribut mutu bentuk dapat direpresentasikan dalam bentuk pengukuran diameter buah dan rasio diameter dan ketebalan buah, juga dalam bentuk angka harmonis. Pemutuan timun Jepang dan cabai paprika salah satunya ditentukan oleh atribut mutu bentuk yaitu bentuk yang lurus untuk timun dan bentuk seperti lonceng untuk cabai paprika merupakan buah atau sayuran yang bermutu dan lebih diinginkan konsumen.

c. Warna (*color*)

Pengukuran warna dapat dipresentasikan dalam bentuk warna RGB atau intensitas keseragaman. Buah-buahan merupakan salah satu produk yang memiliki ragam warna dan menjadi salah satu faktor untuk menarik konsumen untuk membeli.

d. Cacat (*defect*)

Cacat ini merupakan cacat permukaan buah dan dapat diukur dalam bentuk memar (*bruise*) atau bintik hitam (*spot*) atau bekas luka tertusuk pada permukaan buah.

2.3. Atribut Mutu Internal

Atribut mutu internal buah merupakan atribut mutu yang terdapat di dalam buah dan tidak secara langsung bisa diindera oleh mata telanjang. Biasanya penilaian atribut mutu internal baru bisa dilakukan jika buah dikonsumsi. Menurut El-Mesery *et al.* (2019) ada 4 atribut mutu internal yang utama yaitu: cita rasa (*flavour*), tekstur (*texture*), nutrisi (*nutrition*) dan cacat (*defect*).

a. Cita rasa (*flavour*)

Cita rasa buah merupakan atribut mutu yang dibentuk dari kombinasi antara sensasi yang dirasakan oleh mulut (rasa) dan hidung (aroma) saat mengkonsumsi buah (Wills *et al.*, 1981). Sehingga atribut mutu cita rasa dapat direpresentasikan dalam bentuk pengukuran tingkat kemanisan, keasaman dan aroma. Aroma pada buah-buahan terbentuk dari pelepasan sejumlah senyawa *volatile*. Termasuk rasio manis dan asam (*Brix Acid ratio*) juga ikut membentuk cita rasa buah. Rasio ini juga penting di antaranya untuk buah-buahan seperti jeruk dan *grapefruits*.

b. Tekstur (*texture*)

Kualitas buah saat dikonsumsi atau dikenal juga sebagai *eating quality* selain ditentukan oleh cita rasa juga ditentukan oleh tekstur buah. Buah yang cita rasanya masih enak tapi saat dipegang sangat lunak mungkin akan ditolak oleh konsumen karena tidak nyaman saat dikonsumsi segar, misalnya untuk buah terlalu matang (*overripe*). Sehingga untuk mengatasinya biasanya buah terlalu matang dibuat jus. Atribut mutu tekstur meliputi pengukuran parameter kekerasan buah (*firmness*),

kerenyahan (*crispness*) dan tingkat kepekatan jus (*juiciness*). Parameter *juiciness* penting untuk buah plum pear dan jeruk. Parameter *crispness* penting untuk buah apel.

c. Nutrisi (*nutrition*)

Atribut mutu nutrisi dapat dipepresentasikan dengan pengukuran parameter kandungan karbohidrat, protein, vitamin, senyawa fungsional seperti antosianin dll. Informasi nutrisi buah-buahan sangat penting terutama sebagai referensi konsumen saat melakukan diet sehingga bisa memilih buah-buahan dengan kandungan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan. Tabel 2.1 merangkum informasi kandungan nutrisi pada beberapa buah-buahan tertentu. Dari Tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa buah kiwi lebih baik dikonsumsi sebagai sumber vitamin C dibandingkan dengan buah *apricot*.

d. Cacat (*defect*)

Atribut mutu cacat ini mengacu kepada cacat internal seperti kavitas internal (*internal cavity*), busuk (*rotten*) dll.

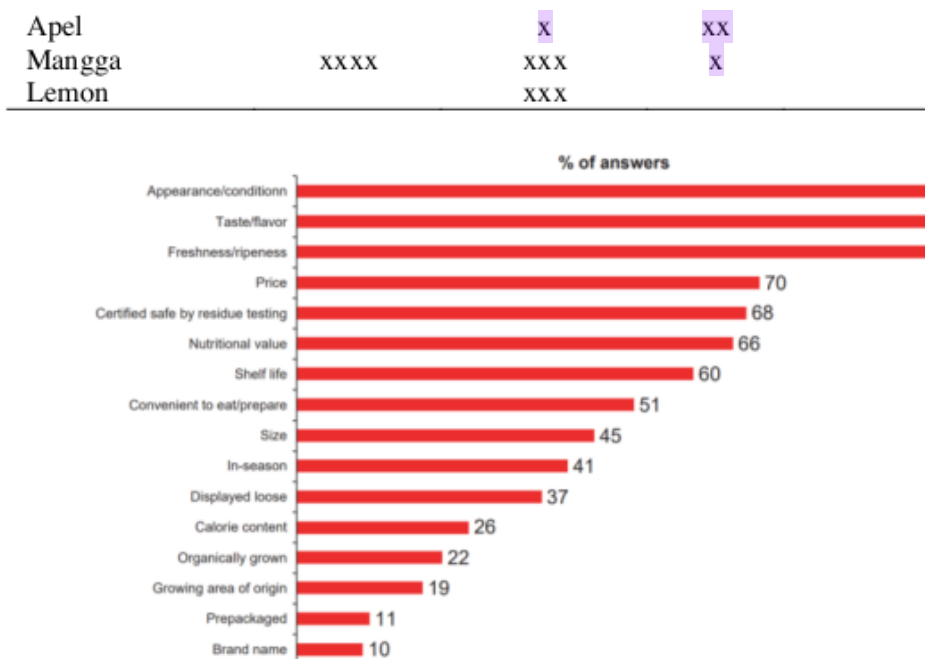
Sejak lama, perilaku konsumen untuk membeli atau tidak produk buah-buahan lebih ditentukan oleh atribut mutu eksternal yang mempengaruhi penampilan buah (*appearance*) seperti warna (*color*), ukuran (*size*), bentuk (*shape*), ada tidaknya cacat permukaan buah (*surface defect*) seperti terlihat di Gambar 2.1. Misalnya saat membeli buah mangga maka mangga yang lebih menarik konsumen adalah mangga yang warnanya kekuning-kuningan atau merah, ukurannya besar dengan bentuk umumnya mangga, permukaannya halus bebas dari bintik hitam dan tentu saja saat dipegang tidak lembek (*overripe*).

14

Tabel 2.1 Informasi kandungan nutrisi buah-buahan (Sumber: The Packer, 1996; Produce Marketing Association, 2000). Tanda x menunjukkan intensitas kandungan.

Nama Buah	Vitamin A	Vitamin C	Serat	Niacin
Nenas		xx		
Blueberry		xx	x	
Pisang			xx	
Strawberry		xxx		
Kiwi		xxx	xxx	
Melon Honeydew		xxx	x	
Jeruk Valencia		xxx		
Jeruk Navel		xxxx		
Alpukat		x	xxx	
Pepaya		xxxx	xx	x
Pear		x	xx	
Grapefruit		xxx		
Semangka	x	xxx	x	
Tomat	x	xxx		

39



Gambar 2.1 Referensi pertimbangan konsumen dalam menentukan pembelian buah-buahan (Tronstad, 1995).

Namun saat ini keputusan seorang konsumen untuk membeli atau tidak buah-buahan tidak hanya dipengaruhi oleh mutu eksternal buah (seperti warna, ukuran, cacat permukaan) tetapi juga ditentukan oleh mutu internal buah yaitu *taste* atau rasa buah, salah satunya oleh parameter KPT, keasaman dan kandungan nutrisi buah (Magwaza & Opara, 2015; Fan *et al.*, 2020). Bahkan atribut mutu seperti KPT dapat membentuk konsumen yang loyal di mana keputusan untuk membeli lagi produk tersebut di masa depan sangat tergantung kepada kepuasan mereka terhadap cita rasa buah saat mengonsumsi buah tersebut dan itu salah satunya ditentukan oleh KPT. Dari sini dapat dipahami kebutuhan terhadap sistem pengukuran atribut mutu internal KPT buah-buahan secara tidak merusak dan cepat yang dapat membantu industri pertanian dan petani untuk memenuhi meningkatnya permintaan konsumen terhadap buah-buahan bermutu tinggi yaitu salah satunya buah-buahan dengan KPT tinggi.

2.4. Pengukuran Atribut Mutu Buah

Salah satu persoalan penting dalam penilaian mutu buah-buahan adalah proses kuantifikasi parameter atribut mutu yang terlibat. Penilaian parameter mutu menggunakan indra manusia semata seperti mata yang digunakan untuk menilai warna misalnya dapat menimbulkan ketidakkonsistenan dan subjektivitas yang tinggi sehingga berpotensi terjadinya ketidaksamaan persepsi mutu antara konsumen dan produsen. Beberapa alat ukur yang tersedia meskipun akurat tapi penggunaannya sulit diterapkan secara *online*. Misalnya pengukuran diameter buah dengan jangka sorong atau pengukuran berat buah dengan timbangan maka

walaupun kuantifikasinya akurat tapi proses pengukurannya lambat, tidak bisa dilakukan secara *online* dan *realtime*. Pengukuran parameter kandungan padatan terlarut (KPT) yang dinyatakan dalam satuan %Brix atau °Brix biasa dilakukan menggunakan refraktometer analog maupun refraktometer digital dengan hasil akurat dan cepat. Namun pengukurannya berlangsung secara merusak sehingga sampel buah yang telah diuji menjadi terbuang sia-sia dan tidak bisa dijual. Selain itu fakta bahwa buah-buahan merupakan produk pertanian yang memiliki KPT sangat bervariasi maka %Brix sampel buah yang diuji tidak mencerminkan korelasi langsung dengan kondisi atau nilai %Brix buah lain yang tidak diuji. Jadi tantangan besar yang dihadapi saat kuantifikasi parameter mutu buah-buahan saat ini adalah: pengukuran harus akurat, cepat dan bisa dilakukan secara *online* dan *realtime* dan tidak merusak sampel yang diuji (non-destruktif).

2.4.1. Pengukuran Atribut Mutu Buah Secara Merusak

a. Pengukuran Kandungan Padatan Terlarut (KPT)

KPT atau kandungan padatan terlarut merupakan terminologi yang mengacu kepada semua senyawa dalam buah yang larut dalam air (Song *et al.*, 2020) atau dalam Bahasa Inggris dikenal sebagai *soluble solids content* (SSC) atau *total soluble solids* (TSS). SSC dan TSS merujuk pada terminologi yang sama yang dapat saling dipertukarkan penggunaan istilahnya yaitu semua senyawa yang terlarut dalam air (Magwaza & Opara, 2015). KPT merupakan salah satu parameter mutu internal buah-buahan yang paling penting dan menjadi salah satu indikator mutu buah yang berkorelasi langsung dengan rasa buah (*taste*), kemasakan (*maturity*) dan waktu panen (Fan *et al.*, 2016). KPT menunjukkan estimasi tingkat kemanisan buah dan menjadi parameter yang secara praktis dapat digunakan untuk mengklasifikasi mutu buah.

Atribut mutu KPT bahkan sudah digunakan sebagai salah satu kriteria waktu panen buah nenas di mana buah nenas segar dipanen minimum dengan Brix 12% atau 14% (Smith, 1988a; Smith, 1988b; Soler, 1992). Untuk buah apel, Kader (2001) menyatakan nilai KPT minimal untuk apel adalah 10.5~12.5 % Brix. Negara bagian Washington di USA memberikan kriteria minimal buah apel yang layak dipasarkan menggunakan nilai KPT yaitu 10.5% Brix untuk jenis apel Golden Delicious dan 11% Brix untuk jenis apel Delicious (Lu & Lu, 2016). Tabel 2.2 secara lengkap menunjukkan nilai minimum KPT yang direkomendasikan saat panen untuk beberapa buah-buahan (Kader, 2001).

Saat ini beberapa produk buah-buahan yang dijual juga sudah memberikan informasi nilai °Brix yang dikandung buah tersebut untuk menarik pembeli atau konsumen. Seperti contoh di Gambar 2.2, buah plum yang dijual

sudah diukur nilai Brixnya sebesar 16% Brix. Konsumen dapat menjadikan informasi nilai Brix ini sebagai referensi tambahan sebelum memutuskan untuk membeli atau tidak buah-buahan tersebut.

Tabel 2.2 Nilai minimum KPT yang direkomendasikan saat panen untuk beberapa buah-buahan (Kader, 2001).

Nama Buah	Rekomendasi KPT saat panen (°Brix)
Apel	10.5~12.5
<i>Apricot</i>	10
<i>Blueberries</i>	10
<i>Cherry</i>	14-16
Anggur	14-17.5
<i>Grapefruit</i>	8
Kiwi	14
Mangga	8
Jeruk Mandarin	8
Melon	10-12
Nectarine/Persik	10
Jeruk	8
Pepaya	11.5
<i>Peach</i>	10
Pear	13
Kesemek	18
Nenas	12
Plum	12
Delima	17
<i>Raspberry</i>	8
Strawberi	7
Semangka	10

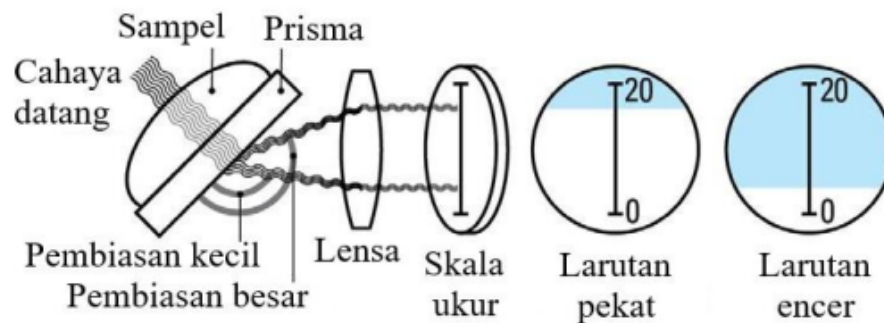


Gambar 2.2 Informasi pengukuran nilai brix buah-buahan yang digunakan untuk menarik pembeli (<https://www.flavoralchemy.com/journal/the-brix-of-sweet-fruit/>).

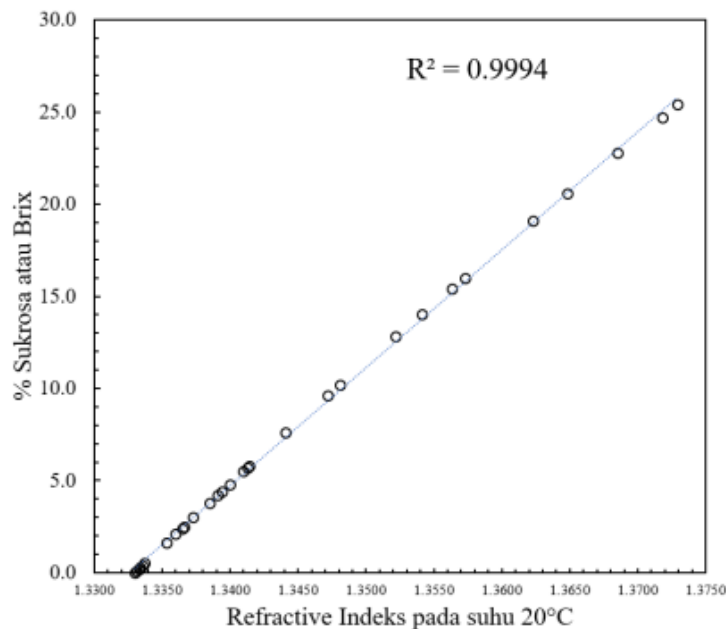
Pengukuran kemanisan buah secara akurat biasanya dilakukan dengan cara merusak dengan analisis kandungan gula seperti fruktosa, glukosa dan

sukrosa. Selain tidak praktis dan mahal, pengukuran gula untuk penentuan tingkat kemanisan buah-buahan juga melibatkan peralatan dan proses yang sangat mahal. Secara umum kuantifikasi KPT saat ini dapat diestimasi dengan cara merusak dengan menggunakan refraktometer (analog dan digital) yang bersifat merusak (*destructive*) dan tidak cocok untuk aplikasi sortasi kontinu (*continues grading systems*). Satuan pengukuran menggunakan refraktometer adalah %Brix atau °Brix.

Refraktometer merupakan alat optik yang bekerja dengan prinsip refraksi atau pembiasan cahaya. Jika cahaya masuk dari udara ke dalam sebuah cairan maka cahaya tersebut akan direfraksi atau dibelokkan karena adanya perbedaan indeks bias antara udara dan sampel cairan tersebut. Sudut bias besarnya tergantung kepada pekat atau encer nya cairan. Semakin pekat cairannya (artinya makin banyak bahan terlarut) maka cahaya yang masuk ke dalam cairan geraknya makin lambat dan menghasilkan sudut bias yang semakin besar. Sudut bias juga tergantung kepada panjang gelombang cahaya yang masuk. Fenomena inilah yang menjadi dasar kerja dari sebuah refraktometer di mana besar sudut bias kemudian dinyatakan dalam sebuah skala pengukuran (lihat Gambar 2.3). Perhatikan bahwa proses pembiasan tidak hanya tergantung kepada kepekatan larutan tapi juga suhu larutan karena indeks bias merupakan sebuah fungsi suhu. Sebagai standar biasanya refraktometer menggunakan cahaya di panjang gelombang $\lambda=589$ nm dan suhu 20°C sebagai standar pengukuran sudut bias yang kemudian dikonversi ke skala pengukuran °Brix. Korelasi antara nilai *refractive index* dan konsentrasi sukrosa pada suhu 20°C menggunakan panjang gelombang $\lambda=589$ nm adalah linear dengan $R^2=0.9994$ seperti tampak di Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Prinsip kerja sebuah refraktometer berdasarkan perbedaan sudut bias karena perbedaan kepekatan larutan (diadaptasi dari <https://ohioline.osu.edu/factsheet/HYG-1650>).



Gambar 2.4 Relasi nilai *refractive index* dan konsentrasi sukrosa pada pengukuran dengan panjang gelombang 589 nm dan suhu 20°C (USDA *Technical Procedures Manual*, 2013).

Biasanya refraktometer modern sudah disertai dengan kemampuan untuk kompensasi suhu ini yang memungkinkan penggunaan refraktometer di kisaran suhu yang lebar. Misalnya refraktometer PAL-1 dari Atago Jepang memiliki kompensasi suhu 10~100°C. Artinya pengukuran refraktometer nilainya valid jika dilakukan di kisaran suhu tersebut. Jika suhunya di luar kisaran tersebut maka pengukuran refraktometer menjadi tidak akurat. Jika refraktometer tidak dilengkapi fungsi kompensasi suhu maka pengukuran nilai °Brix harus disertai dengan kontrol suhu pengukuran misalnya cairan sebelum diukur harus dikontrol suhunya menggunakan *water batch*.

Skala pengukuran yang umum digunakan refraktometer adalah skala °Brix. Ini merujuk kepada nama seorang ilmuwan Jerman yaitu Adolf F. Brix (1798–1870) yang pertama kali mengembangkan sebuah metode skala *hydrometer* yang bisa mengukur secara langsung persentase gula dan padatan lain yang terlarut di dalam sebuah cairan atau larutan. Skala Brix ini dikenal kemudian sebagai °Brix di mana definisi Brix adalah jumlah gram gula tebu murni yang dilarutkan dalam 100 g air murni (gram gula / 100 g H₂O). Sebuah larutan atau cairan memiliki nilai 25°Brix maka artinya dalam 100 g larutan tersebut terdapat 25 g gula dan 75 g air atau kita katakan larutan tersebut mengandung 25% gula (Ball, 2006). Hanya saja pada prakteknya untuk buah-buahan maka ⁷⁴ padatan terlarut yang terdapat dalam buah tidak semuanya senyawa gula (sukrosa, fruktosa dan glukosa). Selain itu pada buah-buahan juga mengandung sejumlah senyawa asam yang mengurangi nilai persentase gula. Buah seperti *limes* (sejenis jejerukan) misalnya hanya memiliki 25% gula dari total padatan

terlarutnya. Sehingga pengukuran nilai °Brix pada buah seperti *limes* tidak secara tepat menggambarkan situasi gula yang dikandungnya (Magwaza & Opara, 2015). Menurut Bartholomew *et al.* (2003), formula yang digunakan untuk konversi °Brix ke gula adalah:

$$\text{Gula (\%)} = \text{KPT (\%Brix atau Brix)} - 0.192 \quad [2.1]$$

Formula konversi tersebut berlaku umum kecuali pada buah yang sangat matang. Untuk memberikan kemudahan, nilai persen gula yang sebenarnya dapat diperoleh dengan cara mengalikan faktor pengali ke nilai Brix. Faktor pengalinya adalah 0.80~0.88 untuk buah yang *opaque* dan 0.86~0.96 untuk buah *translucent* (Sideris & Krauss, 1933). Pada prakteknya seringkali digunakan nilai tengah yaitu 0.85 sebagai faktor pengali. Sebagai contoh nilai 16 %Brix setara dengan $16 \times 0.85\%$ gula atau 13.6% gula. Menurut Magwaza & Opara (2015) faktor pengalinya bisa bervariasi antara 0.75~0.85 untuk buah yang termasuk kelompok buah jejerukan (*citrus*).






Ada tiga varian refraktometer yaitu tipe portabel/*handheld analog*, tipe portabel/*handheld digital* dan tipe *benchtop* (lihat Gambar 2.5). Tipe *handheld* memiliki kelebihan yaitu murah harganya dan mudah digunakan termasuk pengukuran di lapangan atau di kebun. Sebagai sumber cahaya maka refraktometer *handheld* biasanya menggunakan sinar matahari atau sumber cahaya yang sudah terpasang di dalam refraktometer. Tipe *benchtop* biasanya lebih mahal harganya dan dipasang di fasilitas laboratorium dengan pengukuran yang lebih presisi.



Gambar 2.5 Tiga varian refraktometer yang tersedia secara komersial yaitu *analog handheld*, *digital handheld* dan *benchtop* (dari kiri ke kanan).

Beberapa produk refraktometer bisa menjadi pilihan untuk pengukuran KPT secara merusak dan telah digunakan untuk penelitian penentuan KPT buah-buahan seperti dapat dilihat di Tabel 2.3. Produsen refraktometer Atago dari Jepang paling banyak digunakan terutama di dalam penelitian penentuan KPT buah-buahan.

Tabel 2.3 Beberapa contoh refraktometer yang digunakan pada penelitian kuantifikasi atribut mutu buah-buahan.

Refraktometer	Model	Range pengukuran (°Brix)	Referensi
Atago, Tokyo, Jepang	 PR-101α	0-45 (akurasi Brix ±0.1)	Li <i>et al.</i> (2019a); Guo <i>et al.</i> (2015)
Atago, Tokyo, Jepang	 PAL-1	0-53 (akurasi Brix ±0.2)	Li <i>et al.</i> (2019b), Phetpan <i>et al.</i> (2018), Clark (2016).
Atago, Tokyo, Jepang	 PAL-3	0-93 (akurasi Brix ±0.2)	Omar (2013)
Abbe, Warsawa, Polandia	 RL-3	0-100 (akurasi Brix ±0.1)	Mireei <i>et al.</i> (2010a); Mireei <i>et al.</i> (2010b)
Abbe, Reichert (Arias 500), USA	 Arias OptiMatrix™ 500	0-100 (akurasi indeks bias ±0.01)	Li <i>et al.</i> (2014)

b. Pengukuran Kandungan Keasaman (*Acidity*)

Keasaman atau *acidity* merupakan salah satu atribut mutu yang penting dikuantifikasi karena ikut berkontribusi dalam pembentukan rasa buah dan berkorelasi secara langsung dengan tingkat penerimaan konsumen. Standar pengukuran keasaman atau *acidity* buah-buahan adalah menggunakan metode titrasi standar (*standard titration method*) sesuai dengan standar *AOAC's official method* (AOAC, 1990) dengan *phenolphthalein* sebagai indikator (Pedro & Ferreira, 2007). Metode ini menghitung total asam tertitrasi dalam satuan persen (%). Salah satu prosedur lengkap untuk menentukan total asam adalah sebagai berikut. Pertama buah dipotong tepat di titik pengambilan spektra kem³²an diperas dan disaring. Sebanyak 5 ml hasil saringan kemudian ditambahkan dengan 2 tetes indikator *phenolphthalein*, kemudian dititrasi dengan larutan NaOH 0.1 N sampai berwarna merah muda dan stabil, sesuai dengan larutan standar. Keasaman titrasi dinyatakan dalam persen asam sitrat dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total keasaman(\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times 64 \times 100\%}{V_{\text{sampel}} \times 1000} \quad [2.2]$$

Di mana: V_{NaOH} merupakan volume NaOH yang dibutuhkan.
 N_{NaOH} merupakan normalitas NaOH (0.1 N)
 64 merupakan berat ekuivalen asam sitrat

V_{sampel} merupakan volume ekstrak sampel (5 mL)

Sehingga dengan memberikan nilai yang ada, persamaan [2.2] dapat disederhanakan menjadi:

$$\text{Total keasaman(\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times 0.1 \times 64 \times 100\%}{5 \times 1000} = V_{\text{NaOH}} \times 0.128\% \quad [2.3]$$

Pengukuran keasaman menggunakan metode titrasi selain merusak sampel juga melibatkan bahan kimia, membutuhkan waktu yang lama untuk analisisnya serta sampel yang digunakan juga terbatas. Metode lain yang digunakan untuk kuantifikasi keasaman adalah menggunakan alat *acidity meter* atau *acidity analyzer*. Shiina *et al.* (1993) menggunakan *acidity analyzer* (NH-1000, Horiba, Japan) untuk mengukur keasaman buah nenas yang nilainya 0.55~1.09 (mg/100 g *fresh weight*) untuk kalibrasi dan 0.49~1.11 (mg/100 g *fresh weight*) untuk sampel prediksi. Lee *et al.* (2012) juga menggunakan *acidity analyzer* (NH-2000, Horiba, Japan) untuk mengkuantifikasi keasaman buah kiwi dan dinyatakan dalam satuan % (keasaman 0.40~3.77% untuk sampel kalibrasi dan 0.54~3.58% untuk sampel validasi). Namun meskipun pengukurannya lebih cepat dari titrasi, penggunaan *acidity meter* masih dengan cara merusak sehingga tidak bisa dilakukan pengukuran keasaman secara *online* untuk setiap buah.

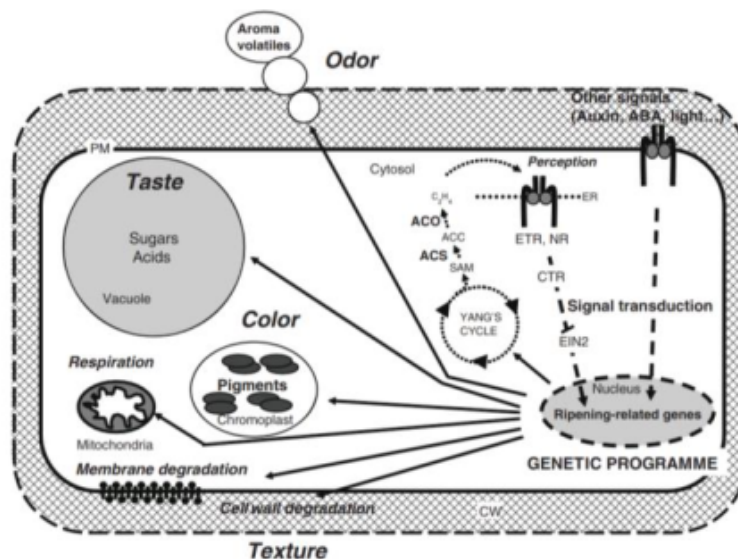
Pendekatan lain untuk mengkuantifikasi keasaman buah-buahan adalah dengan mengukur pH dengan alat pH meter seperti yang dilakukan oleh Moghimi *et al.* (2010). Keasaman buah kiwi diperoleh dengan cara meneteskan cairan jus kiwi ke alat pH meter (Hanna HI model 8519, Padova, Italia). Dengan pH meter diperoleh keasaman buah kiwi 2.74~4.13 untuk sampel kalibrasi dan 3.02~3.94 untuk sampel prediksi (Moghimi *et al.*, 2010). Kemudian Fu *et al.* (2009) menggunakan pH meter (SJ-4A, Exact Instrumentation Co., Shanghai, China) untuk mengkuantifikasi keasaman buah Biwa atau Plum China (*Loquat Eriobotrya japonica Lindl*) dengan nilai keasaman 3.21~5.44. Abasi *et al.* (2019) menggunakan pH meter (Metrohm pH meter, 827 Germany) untuk mengukur keasaman buah apel dan diperoleh nilai keasaman 3.79~4.35 untuk sampel kalibrasi dan 3.85~4.28 untuk sampel validasi. Paling terbaru, Bahrami *et al.* (2020) menggunakan digital pH meter (Anton Paar, USA) untuk mengukur keasaman jus *sugar beet* dan diperoleh nilai keasaman 5.9~9.6. Sama dengan *acidity meter*, pengukuran menggunakan pH meter bersifat merusak sampel sehingga tidak bisa digunakan untuk pengukuran secara *online* untuk setiap sampel. Pengukuran keasaman buah yang diperlukan saat ini adalah pengukuran yang bersifat tidak merusak sehingga semua sampel buah bisa diuji secara *online*.

c. Pengukuran Kekerasan Buah (*Firmness*)

Kekerasan buah atau *firmness* merupakan salah satu parameter mutu yang membentuk atribut mutu tekstur buah. Kekerasan buah sangat berkorelasi dengan kemasakan buah (*maturity*) dan proses pematangan buah (*ripeness*). Secara umum seiring dengan proses pemasakan dan pematangan maka nilai kekerasan buah semakin berkurang (Jarimopas & Kitthawee, 2007). Buah berubah dari berkulit keras dan kencang menjadi buah berkulit lunak dan mudah dikonsumsi. Sehingga kekerasan buah juga sangat berperan dalam penentuan kualitas buah saat dikonsumsi atau *eating quality*.

Apa yang terjadi pada buah selama proses pematangan (*ripeness*) merupakan sebuah proses yang sangat kompleks yang melibatkan banyak perubahan baik secara fisiologi, biokimia dan molekular. Untuk proses pematangan buah klimakterik, representasi proses molekular yang mengontrol proses pematangan dapat dilihat di Gambar 2.6. Selama proses pematangan ada perubahan warna, gula, keasaman, aroma *volatile* dan tekstur sehingga buah menjadi lebih lezat dan lembut (Ghai *et al.*, 2016).

Tekstur buah itu sendiri ditentukan oleh properti sel, elastisitas dinding sel, tekanan turgor sel dan kandungan pektin (Paull *et al.*, 1999; de Baerdemaeker *et al.*, 2002). Perubahan warna buah selama pematangan terjadi karena adanya degradasi kandungan klorofil dan bertambahnya senyawa antosianin dan karotenoid. Berkurangnya tekanan turgor sel akibat kehilangan air selama proses penyimpanan dan degradasi senyawa tepung menjadi gula sederhana dan perubahan dinding sel menyebabkan buah matang memiliki tekstur lebih lembut dibandingkan dengan buah mentah yang keras kulitnya. Dinding sel buah sebagian besar disusun oleh lapisan kaku senyawa gula bernama polisakarida. Ada tiga jenis polisakarida utama yang terdapat pada dinding sel buah yaitu selulosa, hemiselulosa dan pektin. Penyusun senyawa selulosa adalah ratusan senyawa glukosa yang bergabung membentuk rantai gula yang panjang. Hemiselulosa juga merupakan rantai panjang gula hanya saja penyusunnya tidak hanya glukosa tapi juga senyawa gula lain seperti galaktosa, dan mannose. Saat proses pemasakan dan pematangan berlangsung maka dinding sel buah mulai rusak diikuti dengan keluarnya enzim atau protein kemudian melarutkan senyawa penyusun dinding sel (Bouzayen *et al.*, 2009).



Gambar 2.6 Representasi skematik yang menggambarkan mekanisme molekular pada proses pematangan buah klimakterik (Bouzayen *et al.*, 2009).

Dari paparan tersebut dapat dilihat adanya korelasi yang kuat antara perubahan nilai kekerasan buah dengan perubahan atribut mutu tekstur buah dan juga berkorelasi langsung dengan penyimpanan buah. Sehingga pengukuran nilai kekerasan sangat bermanfaat bagi petani dan pelaku industri pertanian sebagai salah satu indikator penting kualitas buah serta untuk penanganan pasca panen yang tepat.

Pengukuran atau kuantifikasi kekerasan buah (*firmness*) secara merusak dapat dilakukan dengan beberapa instrument atau alat ukur sebagai berikut:

52

1. *Magness-Taylor pressure tester - slide rule-type, spring-loaded penetrometer.*

Instrumen menggunakan beban pegas sebesar 10 pounds atau 30 *pounds-force*. Setiap pegas dilengkapi dengan salah satu dari dua pelubang dengan masing-masing diameter sebesar 5/16 dan 7/16 inci atau 8 mm dan 11 mm. pelubang dengan diameter 11 mm digunakan untuk buah yang lebih lunak. Pelubang dengan diameter 8 mm untuk buah yang lebih keras.

Prosedur pengukuran kekerasan menggunakan *Magness-Taylor pressure tester* adalah:

- a. Memilih pelubang dengan diameter yang sesuai dengan buah. Untuk buah lunak gunakan diameter 11 mm dan gunakan pelubang diameter 8 mm untuk buah keras.
- b. Untuk buah dengan kulit berminyak/licin maka buang bagian tipis kulit buah berminyak tersebut terlebih dahulu.
- c. Arahkan pelubang ke titik yang telah ditentukan dan tekan dengan gaya yang konstan hingga pelubang menembus bagian daging buah.

- d. Catat besarnya tekanan yang diberikan dalam satuan pounds/inch² (lb/inch²) atau kg/cm².
- e. Sebagai referensi untuk pengecekan validitas pengukuran:
 - Buah yang mentah lebih tinggi nilai kekerasannya dibandingkan buah matang.
 - Seiring dengan naiknya tingkat pematangan buah maka nilai

83
 2. *Effe-gi fruit penetrometer - hand-held probe* dengan dilengkapi alat pengukur *pounds-force* atau *kilograms-force*.

Alat ini merupakan hasil kolaborasi Magnus-Taylor dan Universitas Milan di Italia. Sekarang lebih dikenal sebagai FT Fruit Pressure Tester. Berat hanya 106 g dengan dua standar ukuran tip yaitu 8 mm dan 11 mm. Untuk keperluan konversi *pounds-force* atau *kilograms-force* ke satuan *Newton* (N) digunakan relasi sebagai berikut:

$$\text{Newton (N)} = \text{pounds - force (lbf)} \times 4.448 \quad [2.4]$$

$$\text{Newton (N)} = \text{kilograms - force (kgf)} \times 9.807 \quad [2.5]$$

20

Contoh *FT Fruit Pressure Tester* seperti di Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *FT Fruit Pressure Tester* dengan probe yang dilengkapi alat pengukur pounds-force (<http://www.facchinisrl.eu/pen.htm>).

3. *University of California (UC) Fruit Firmness Tester-Ametek*. Merupakan sebuah alat pengukur kekerasan buah yang telah dilengkapi sebuah penetrometer yang dipasang sebagai sensor dengan menghitung gaya (*force*) yang diperlukan untuk menekan permukaan buah. Sehingga output pengukuran adalah dalam satuan kg, lb (*pound*), N (*Newton*) atau Pa (*Pascal*). Tersedia dalam versi analog dan versi digital. Contohnya adalah Digital Fruit Firmness Tester dari pabrikan *Agriculture Solutions* yang tersedia dengan pilihan buah lunak (ukuran tip 3.5 mm) 22, aneka buah (ukuran tip 3.5 mm) dan dual tip (8 mm dan 11 mm) (lihat Gambar 2.8).



Gambar 2.8 *Fruit Firmness Tester* dengan 2 buah ukuran tip (<https://www.agriculturesolutions.com/>).

Tabel 2.4 Rekomendasi ukuran ujung penetrometer (tip) untuk pengukuran kekerasan dengan penetrometer (Joshi & Verma 2000).

Ukuran ujung (tip)	Buah
11 mm (7/16 inchi)	Apel
8 mm (5/16 inchi)	Apricot, Alpukat, Kiwi, Mangga, Pepaya, Peach, Pear, Plum, Nectarine dan Kesemek
3 mm (2/16 inchi)	Cherry, Anggur, Strawberry
1.5 mm (1/16 inchi)	Olive

2.4.1. Pengukuran Atribut Mutu Buah Secara Tidak Merusak

Beberapa teknik pengukuran parameter mutu secara tidak merusak telah dikembangkan. Menurut Nicolai *et al.* (2014) secara garis besar metode non-destruktif untuk penilaian atribut mutu buah-buahan dapat dibagi menjadi enam jenis yaitu: metode berbasis optik, metode berbasis mekanik, metode *X-ray radiography* dan *tomography, magnetic resonance imaging, mass spectrometry*, dan sensor berbasis gas dan hidung elektronik (*electronic noses*).

Dalam penelitian terkini, *NIR spectroscopy* yang digunakan bersama dengan berbagai teknik kemometrika telah berhasil mengkuantifikasi KPT buah-buahan secara tidak merusak seperti: buah apel (Wu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019), jeruk navel (Song *et al.*, 2020), buah pear (Li *et al.*, 2019a), buah melon (Li *et al.*, 2019b), dan buah tomat (Feng *et al.*, 2019). Tidak hanya sebatas penelitian *off-line*, teknologi *NIR spectroscopy* telah digunakan secara *online* dalam bentuk mesin sortasi yang mampu mengkuantifikasi atribut mutu secara *online* dan melakukan sortasi buah-buahan dengan cepat atas dasar kuantifikasi *online* ini. Beberapa produsen penyedia mesin sortasi buah secara komersial yang telah dilengkapi teknologi *NIR spectroscopy* untuk kuantifikasi atribut mutunya adalah: Aweta (IQA, <http://www.aweta.nl>), Greefa (iFA, <http://www.greefa.nl>), Sacmi (F5, <http://www.sacmi.it>), Compac (TasteTech T1/R2/M2,

<http://www.taste-technologies.com>), serta ⁹⁸ Mitsui-Kinzoku (<https://www.mitsui-kinzoku.co.jp>) dan Colour vision systems (Insight, <https://www.cvs.com.au>). Atribut mutu yang diukur di antaranya adalah °Brix, bahan kering (BK), cacat, kemasakan, keasaman dan warna buah. Gambar 2.9 adalah contoh mesin sortasi dari Aweta yang dilengkapi dengan *InScan* yaitu pengukuran atribut mutu internal buah mangga seperti °Brix dan kemasakan menggunakan *NIR spectroscopy*.



Gambar 2.9 Pengukuran atribut mutu internal buah menggunakan mesin sortasi yang bekerja menggunakan *NIR spectroscopy*.

82

Pertanyaan Bab 2

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan mutu atau kualitas buah-buahan?
2. Jelaskan dua jenis atribut mutu yaitu internal dan eksternal dan jelaskan perbedaan keduanya!
3. Jelaskan prinsip pengukuran KPT menggunakan refraktometer!
4. Jelaskan prinsip metode titrasi asam-basa untuk kuantifikasi keasaman buah-buahan!

Pustaka Bab 2

Bab 3

NEAR INFRARED (NIR) SPECTROSCOPY PORTABEL

Tujuan Perkuliahan:

Setelah mengikuti perkuliahan di Bab 3 ini, mahasiswa diharapkan dapat:

1. Menjelaskan kelebihan *NIR spectroscopy* portabel.
2. Menjelaskan instrumentasi *NIR spectroscopy* portabel di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung dan lainnya yang secara komersial tersedia di pasar.
3. Menjelaskan proses pengambilan spektra menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.
4. Menjelaskan prinsip interaksi antara gelombang elektromagnetik di daerah *near infrared* dengan materi.
5. Menjelaskan pengertian waktu integrasi dan jumlah *scanning* pada proses pengambilan spektra.

3.1. Pengantar

Menurut kajian pustaka, penggunaan *NIR spectroscopy* portabel untuk pertama kali adalah prediksi *alfalfa phytomass* untuk domba selama masa penggembalaan (*grazing*) (Mitchell *et al.*, 1990). Setelah itu *NIR spectroscopy* portabel berkembang pesat dengan melibatkan banyak perusahaan yang secara komersial menyediakan beragam spektrometer portabel. *NIR spectroscopy* portabel dengan massa spektrometer yang sangat ringan telah mengubah cara pengambilan data spektra. Jika sebelumnya sampel yang mendatangi spektrometer *benchtop* dan pengukuran harus dilakukan di laboratorium maka dengan adanya spektrometer portabel, spektrometer yang mendatangi sampel dan pengukuran bisa dilakukan secara langsung di posisi alamiahnya. Untuk buah-buahan maka aplikasi spektrometer portabel telah secara dramatis mengubah cara manusia memproduksi dan mensortasi buah-buahan.

Dalam perkembangan instrumentasi *NIR spectroscopy*, secara umum para peneliti membagi instrumentasi NIR ke dalam 2 tipe: pertama adalah tipe *benchtop instrument* yaitu alat NIR yang hanya bisa digunakan di laboratorium dan biasanya tidak untuk dipindah-pindah (*non-movable instrumentation*). Contohnya adalah JASCO NIR V-700 series dan MPA II Multi Purpose FT-NIR Analyzer dari Bruker. Kedua adalah *fieldable instrument* yaitu alat NIR yang bisa dibawa ke lapangan, bisa dipindah-pindah atau dibawa. Untuk *fieldable instrument* ini ada yang disebut sebagai *portable instrument* (berat instrumen biasanya lebih dari 4 kg dan dimasukkan ke dalam semacam koper kecil) dan ada yang disebut sebagai *handheld instrument* (berat instrument kurang dari 1 kg) (Bec *et al.*, 2020). Di dalam buku ini kami memasukkan instrumen *NIR portable* dan *NIR handheld* dengan istilah atau sebutan yang sama yaitu *NIR spectroscopy portabel*.

Sebelum adanya spektrometer portabel, sistem produksi buah- buahan di pohon sulit dikendalikan secara presisi, waktu panen dan kualitas buah saat panen sepenuhnya dikembalikan kepada pengalaman petani. Spektrometer (sensor optik) kemudian digunakan untuk memperoleh produk yang sesuai pasar (kandungan padatan terlarut atau KPT tinggi, misalnya). Produk yang terlanjur dipanen tapi tidak memenuhi standar pasar terpaksa dibuang atau dijual dengan harga lebih murah. Kehadiran spektrometer portabel yang mampu mengukur spektra buah-buahan di pohon secara tidak merusak dan langsung tanpa memetik buahnya (*on-plant*) membuat petani bisa mengontrol kualitas buah yang dihasilkan secara presisi untuk setiap buah yang dihasilkan. Waktu panen dapat ditentukan dengan tepat sesuai dengan kualitas yang diinginkan pasar sehingga tidak ada buah-buahan yang dibuang karena jika buah masih belum sesuai standar pasar maka buah tersebut masih bisa dibiarkan tumbuh dan dikontrol aspek agronominya seperti dilakukan irigasi defisit sampai kondisinya sesuai standar pasar (KPT tinggi misalnya) dan buah siap dipanen. Spektrometer portabel telah menginisiasi berkembangnya teknologi alat uji komersial buah-buahan secara *on-plant* seperti *fruit tester* atau *fruit selector*. Seperti terlihat di Gambar 3.1, petani di Jepang dengan bantuan sebuah *fruit tester* komersial buatan Kubota Jepang (Kubota K-BA-100R) memungkinkan untuk mengevaluasi atribut mutu (kemasakan) buah *peach* satu per satu dan mengontrolnya sampai kondisinya sesuai dengan permintaan pasar dan baru setelah itu dipanen. Dengan *fruit selector* ini maka petani secara presisi dapat memenuhi standar konsumen. Meskipun perlu diperhatikan bahwa *fruit selector* atau sejenisnya tidak begitu kompatibel untuk buah-buahan dengan pohon tinggi. Sehingga secara bersamaan kehadiran *fruit selector* juga menuntut adanya perbaikan aspek agronomi seperti mengembangkan pohon buah yang relatif pendek dengan buah menjuntai ke bawah untuk memudahkan proses evaluasi mutu buah secara *on-plant*.



Gambar 3.1 *Fruit tester* atau *fruit selector* produksi 43 bota untuk pengukuran atribut mutu buah-buahan secara *on-plant* (<https://the-way-of-japan.com/fruits/en/2017/06/28/1788/>).

Perusahaan Amerika Serikat *Felix Instruments – Applied Food Science* 5 mengembangkan F-750 Produce Quality Meter yang bekerja berdasarkan *NIR spectroscopy* untuk pengukuran atribut mutu buah secara tidak merusak. Awalnya dikembangkan di Universitas Central Queensland, spektrometer portabel ini sudah tersedia secara komersial dan dapat digunakan untuk pengukuran atribut mutu seperti kandungan padatan terlarut (KPT), keasaman, bahan kering dan warna bu 28 yang dilakukan secara tidak merusak baik *on-plant* maupun *off-plant* seperti ditunjukkan di Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengukuran atribut mutu buah secara *on-plant* dan *off-plant* dengan spektrometer portabel (<https://www.felixinstruments.com/food-science-instruments/portable-nir-analyzers/f-750-produce-quality-meter/>).

Perusahaan terkemuka Jepang Atago (www.atago.net) yang berpengalaman memproduksi refraktometer baik analog maupun digital juga mengembangkan pengukur KPT yang bisa digunakan secara *off-plant* dan *on-plant*. Mereka bekerja sama dengan *National Agriculture and Food Research Organization* (NARO) Jepang untuk memproduksi alat PAL-HIKARi series untuk pengukuran KPT secara tidak merusak (non-destruktif), *off-plant* dan *on-plant* dengan berat instrumen hanya sekitar 153 g (sangat portabel). Gambar 3.3 menunjukkan contoh salah satu produk mereka yaitu alat ukur PAL-HIKARi 2 untuk penentuan KPT

buah anggur secara tidak merusak di pohon (*on-plant*) dan secara tidak merusak di *packing house* (*off-plant*).

Atago Jepang juga memproduksi sebuah alat ukur kematangan buah-buahan secara tidak merusak dan *on-plant* yang disebut PAL-HIKARi Ripeness dengan range pengukuran 0~100% kematangan. Meskipun penggunaannya baru sebatas untuk buah-buahan sub tropis seperti apel, *peach* dan plum. Alatnya juga sangat portabel dengan berat hanya 153 g dan dilengkapi fitur kompensasi suhu hingga 35°C sehingga bisa digunakan secara langsung di kebun dan pengukuran dilakukan di pagi hari atau sore hari untuk menghindari pengukuran berlangsung di atas suhu 35°C.



Gambar 3.3 Pengukur KPT buah anggur portabel untuk pengukuran secara *off-plant* dan *on-plant* dari Atago (www.atago.net).

3.2. Perkembangan *NIR Spectroscopy* Portabel di Universitas Lampung

Penelitian *NIR spectroscopy* menggunakan spektrometer portabel di Jurusan Teknik Pertanian (TEP) Universitas Lampung (UNILA) dimulai sejak penulis (Diding Suhandy) mendapatkan tugas belajar untuk melanjutkan studi master di bidang *biomechanical system* di Kochi University, Jepang. Penelitian selama 2 tahun (2004-2006) fokus kepada aplikasi teknologi *NIR spectroscopy* untuk monitoring parameter *leaf water potential* (LWP) pohon tomat sehingga dihasilkan buah tomat manis dengan %Brix (kandungan padatan terlarut atau KPT) yang tinggi. Data spektra daun tomat diambil menggunakan ²² *NIR spectroscopy* portabel *MMS1 spectrometer* buatan Zeiss, Jerman. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu tungsten yang dilengkapi dengan fiber optik untuk mengarahkan cahaya. Sehingga publikasi pertama di bidang *NIR spectroscopy* dari peneliti di Jurusan TEP, Universitas Lampung adalah penentuan parameter LWP tanaman tomat secara tidak merusak menggunakan ¹ *NIR spectroscopy* (Suhandy *et al.*, 2006). Kemudian sejak tahun 2007, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung berhasil memperoleh hibah ⁶⁸ peralatan NIR (*near infrared spectroscopy* portabel melalui program hibah TPSDP (*Technological and*

Professional Skills Development Sector Project). Gambar 3.4 merupakan alat spektrometer *NIR spectroscopy* portabel yang tersedia di Jurusan Teknik Pertanian (TEP) Universitas Lampung yang terdiri atas beberapa bagian yaitu:

- Sebuah detektor berupa sebuah spektrometer portabel dengan komponen utama *3648-element linear silicon CCD array* sebagai detektor yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi gelombang *near infrared* dengan rentang panjang gelombang 300–1100 nm (*VIS-NIR USB4000*, Ocean Optics, USA). Beratnya hanya 190 g sehingga sangat portabel.
- Sebuah sumber cahaya (*light sources*) dari lampu *tungsten halogen* (LS-1, Ocean Optics, USA). Beratnya juga hanya 140 g sehingga sangat portabel.
- Sebuah fiber optik (diameter 400 μm dan panjang 2 m), untuk *fiber optic*, satu bagian dihubungkan ke sumber cahaya dan spektrometer dan satu bagian fiber optik lainnya merupakan *probe* yang secara langsung kontak dengan sampel. Dikenal sebagai fiber optik bentuk Y (*Y-shaped*).
- Sampel holder yang disesuaikan dengan karakteristik sampel.
- Komputer untuk mengontrol proses pengambilan spektra yaitu program *SpectraSuite™* yang telah dihubungkan dengan *VIS-NIR USB4000* dan untuk menyimpan data hasil pengukuran spektra.
- Untuk pengukuran spektra *reference* digunakan aksesoris berupa *diffuse reflectance standard* (model WS-1, Ocean Optics USA). Terbuat dari bahan Teflon atau PTFE (*polytetrafluoroethylene*) dengan berat sekitar 30 g.

Sejak saat itu (dari tahun 2007 hingga 2010), tim periset di *Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen Pertanian (RBPP) Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung* secara intensif telah mengembangkan teknik pengukuran atribut atau parameter mutu buah-buahan Indonesia seperti kandungan pada terlarut (KPT), keasaman (*acidity*) dan kandungan bahan kering (*dry matter*) secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

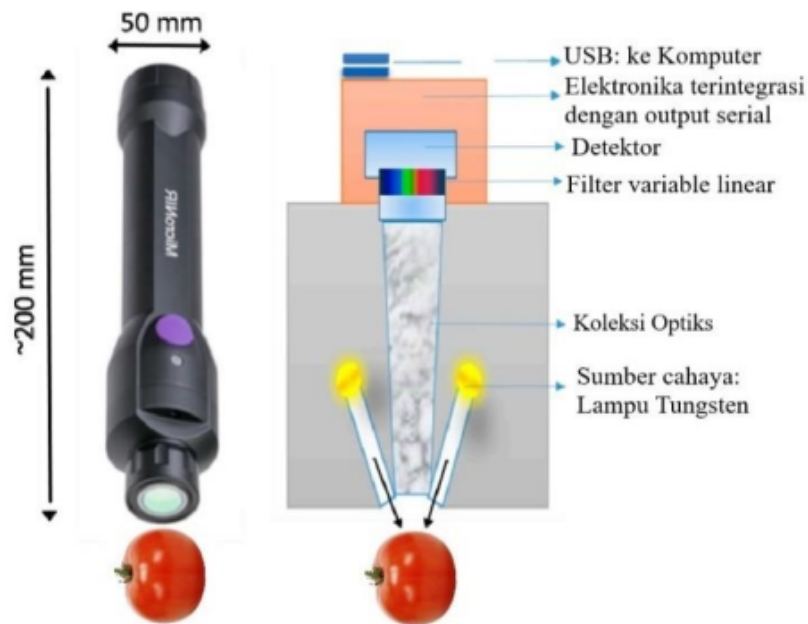
Peneliti juga mengembangkan teknik kompensasi suhu sehingga pengukuran atribut mutu bisa dilakukan secara *on-plant*. Meskipun saat ini belum sampai tahap komersialisasi, namun proses menuju hilirisasi teknologi *NIR spectroscopy* portabel untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan terus dilakukan.



70

Gambar 3.4 Komponen dasar *NIR spectroscopy* portabel di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Gambar atas: dari kiri ke kanan: spektrometer, sumber cahaya, fiber optik dan *reference standard*. Gambar bawah: *NIR spectroscopy* portabel yang sudah dirakit dan siap digunakan.

Saat ini pengembangan *NIR spectroscopy* portabel terus dilakukan untuk memperoleh spektrometer yang semakin kecil dan ringan, semakin terjangkau harganya dan tentu saja semakin bertenaga dan mudah pengoperasiannya. Salah satunya adalah spektrometer MicroNIR[®] (JDS Uniphase JDSU Corporation, Milpitas, USA). Spektrometer ini hanya seberat 60 gram, dengan *range* pengukuran 850-2450 nm dan dilengkapi pilihan mode pengambilan spektra yang beragam (Dos Santos *et al.*, 2013). JDSU kemudian berubah menjadi Viavi Solutions Inc. dan terus mengembangkan lagi MicroNIR[®] OnSite-W yang merupakan spektrometer NIR portabel dengan detektor *indium-gallium-arsenide* (*InGaAs*) *photodiode* dan sumber cahaya lampu *tungsten* dengan *range* pengukuran 908.1–1676.2 nm dan interval sekitar 6.2 nm. Beratnya hanya sekitar 250 gram. Spektrometer ini juga dilengkapi dengan teknologi *blue tooth* untuk mempermudah transfer data spektra. Contoh spektrometer MicroNIR seperti di Gambar 3.5.



Gambar 3.5 MicroNIR[®] OnSite-W dan konfigurasi optiknya (Viavi Solutions Inc.) (diadaptasi dari Rani *et al.*, 2019).

Secara komersial saat ini banyak tersedia spektrometer portabel yang disediakan banyak perusahaan optik terkemuka. Beberapa di antaranya seperti yang dapat dilihat di Tabel 1. Konsumen dapat memilih tipe spektrometer portabel yang sesuai dengan kebutuhan dan sumber daya yang tersedia. Pilihan yang harus diperhatikan adalah spektrometer harus sesuai dengan kebutuhan terutama terkait kisaran panjang gelombang yang diperlukan dan harga. Semakin terjangkau harga spektrometer maka semakin mudah proses hilirisasi teknologinya. Dari Tabel 3.1, terlihat kelebihan spektrometer USB4000 dari *Ocean Optics*. Selain sangat ringan (sangat portabel) dengan berat hanya 0.19 kg, USB4000 juga mampu menjangkau *range* data spektra cukup lebar yaitu 190-1100 nm. Ini menjadi salah satu pertimbangan tim peneliti di Jurusan Teknik Pertanian untuk membeli spektrometer portabel USB4000 beserta aksesorisnya melalui hibah TPSDP untuk pengembangan penelitian spektroskopi di bidang pertanian khususnya pasca panen pertanian.

USB4000 sendiri telah digunakan pada riset di bidang pasca panen. Misalnya, penilaian atribut mutu buah jeruk mandarin Nanfeng meliputi penilaian KPT, keasaman, vitamin C dan warna buah berhasil dilakukan secara tidak merusak menggunakan spektrometer USB4000 (Xudong *et al.*, 2009). Suh *et al.* (2012) berhasil mengembangkan model kalibrasi untuk memprediksi KPT dan kekerasan buah melon secara tidak merusak menggunakan spektrometer USB4000. Polinar *et al.* (2019) menggunakan spektrometer USB4000 untuk memprediksi kemasakan dan kualitas konsumsi (*eating quality*) buah mangga jenis Carabao (Filipina). Model

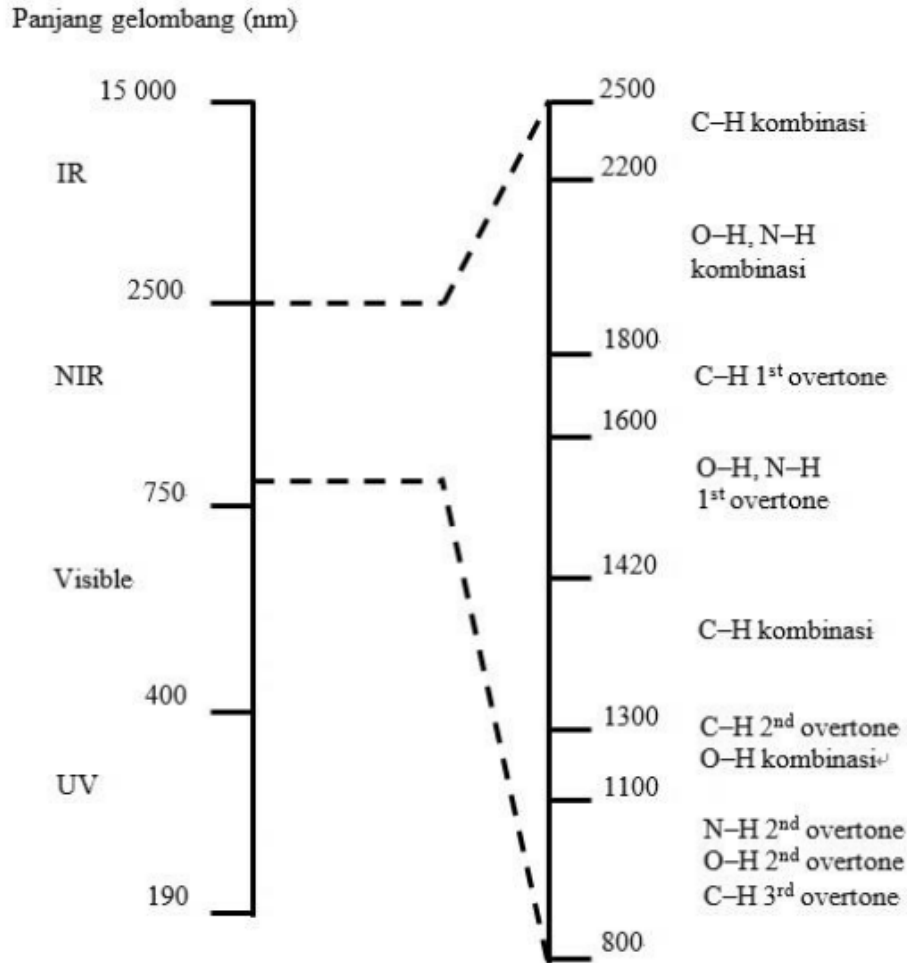
regresi PLS berhasil dibangun dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.774 untuk prediksi bahan kering, 0.839 untuk prediksi KPT dan 0.946 untuk prediksi kemasakan. Kemudian, Yang *et al.* (2019) menggunakan spektrometer USB4000 untuk mengkuantifikasi kandungan gula buah kiwi. Model regresi PLS untuk kuantifikasi ka⁷³ngan gula dibangun menggunakan tiga jenis spektra yaitu original, SNV (*standard normal variate*) dan MSC (*multiplicative scatter correction*). Model ⁹⁰baik diperoleh untuk spektra original dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.893 untuk kalibrasi dan 0.850 untuk validasi. Terbaru, Ni *et al.* (2020) menggunakan spektrometer USB4000 untuk membangun model yang mampu mengkuantifikasi kerenyahan buah apel (*crispness*).

Tabel 3.1 Beberapa spektrometer portabel yang tersedia secara komersial dan digunakan penelitian *NIR spectroscopy*.

Nama komersial	Pabrikasi	Model	Karakteristik
AgriSpec 	Analytical Spectral Device, USA	-	Range: 350-2500 nm, sumber cahaya: Halogen, berat: 5.6 kg.
FieldSpec4 	Analytical Spectral Device, USA	FieldSpec handheld 2	Range: 350-2500 nm, sumber cahaya: Halogen, berat: 5.44 kg.
LabSpec4 	Analytical Spectral Device, USA	LabSpec4 Standard-Res	Range: 350-2500 nm, sumber cahaya: Halogen, berat: 5.44 kg
AvaSpec 	Avantes	-	Range: 200-1100 nm, sumber cahaya: -, berat: 1.4 kg
Luminar 5030 	Brimrose Corp, USA	-	Range: 600–1100, 850–1700, 900–1800, 1100–2300 nm, sumber cahaya: -, berat: 5.3 kg
microPHAZIR 	Thermo Scientific, USA	-	Range: 1600–2400 nm, sumber cahaya: Tungsten, berat: 1.25 kg
USB 	Ocean Optics, USA	USB4000 Vis-NIR	Range: 190-1100 nm, sumber cahaya: Tungsten, berat: 0.19 kg
PhazIR 	Polychromix	DTS-Phazir-1016	Range: 1000-1600 nm, sumber cahaya: Tungsten, berat: 1.7 kg.
The F-750 	Felix instruments, USA	F-750	Range: 310-1100 nm, sumber cahaya: Xenon tungsten, berat: 1.05 kg
K-BA100 	Kubota, Jepang	K-BA100	Range: 310-1100 nm, sumber cahaya: Xenon tungsten, berat: 1.05 kg
USB 	Ocean Optics, USA	USB2000 Vis-NIR	Range: 190-1100 nm, sumber cahaya: Tungsten, berat: 0.19 kg

3.3. Fondasi Teknologi *NIR Spectroscopy*

Daerah NIR (*near infrared*) meliputi panjang gelombang 780-2500 nm (Osborne, 2000; Blanco & Villarroya, 2002; Pasquini, 2003). Di daerah ini absorbansi panjang gelombang utamanya berkorespondensi dengan proses vibrasi atau getaran utama atau getaran fundamental (lihat Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Jenis absorbansi panjang gelombang NIR dan lokasinya (diadaptasi dari Osborne, 2000).

Getaran molekul dapat dijelaskan dengan menggunakan model pegas harmonik di mana energi getaran molekul dapat dihitung dengan persamaan [3.1]:

$$E_{vib} = \left(v + \frac{1}{2} \right) \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad [3.1]$$

Di mana v merupakan angka kuantum vibrasi atau getaran (vibrational quantum number), h adalah nilai konstanta atau tetapan Planck ($h = 6.6261 \times 10^{-34}$), k adalah tetapan gaya dan μ adalah massa yang hilang

dari ikatan kimia yang terjadi. Hanya transisi antara tingkat energi berturut-turut ($\Delta = \pm 1$) yang menyebabkan perubahan momen dipol dimungkinkan dengan persamaan [3.2]:

$$\Delta E_{vib} = \Delta E_{rad} = h\nu \quad [3.2]$$

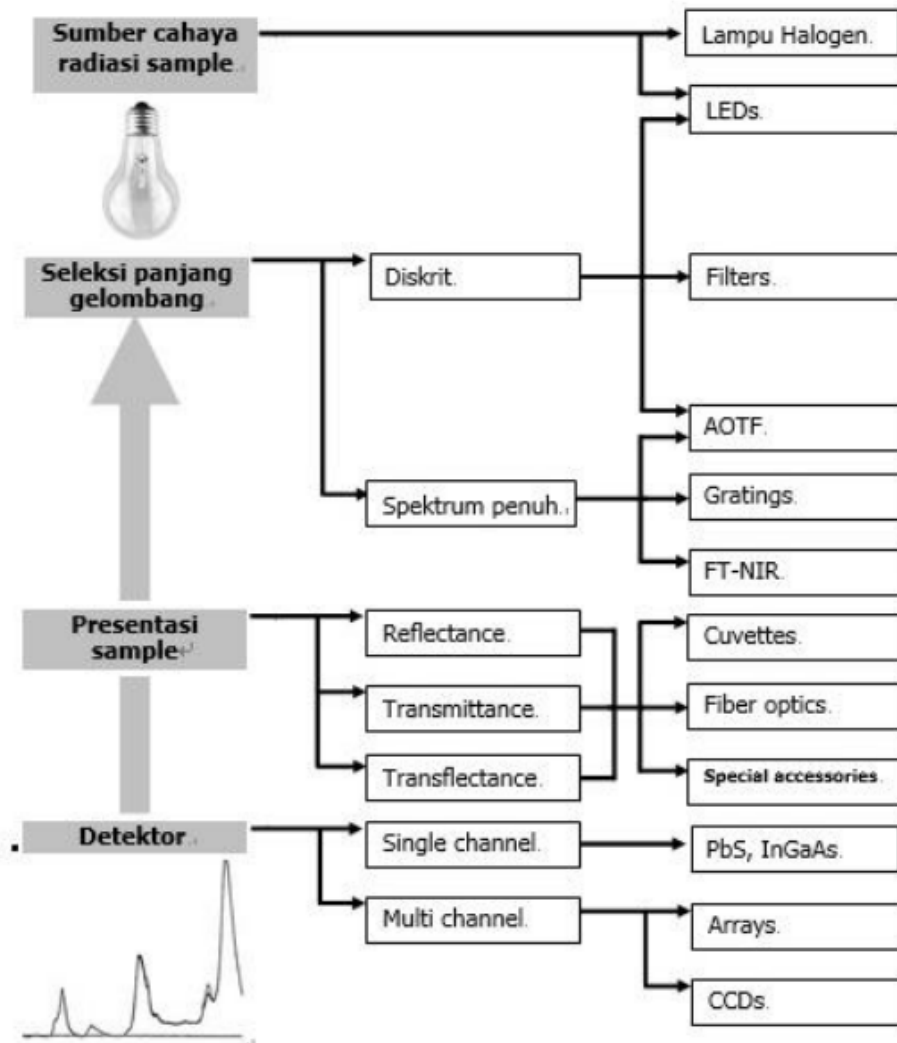
Di mana ν merupakan frekuensi getaran fundamental (*fundamental vibrational frequency*) dari ikatan kimia yang menghasilkan pita absorpsi di daerah *infrared*.

Namun demikian, model osilator harmonik tidak dapat menjelaskan perilaku molekul yang sebenarnya. Di mana model ini tidak melibatkan aspek tolakan *Coulombic* yang terjadi antara atom-atom atau penyimpangan ikatan kimia. Akibatnya, perilaku molekul lebih mirip dengan model osilator tidak harmonik (anharmonik), di mana tingkat energi tidak sama jaraknya. Dengan demikian, perbedaan energi menurun dengan bertambahnya nilai ν :

$$\Delta E_{vib} = h\nu[1 - (2\nu + \Delta\nu; 1)y] \quad [3.3]$$

Di mana y merupakan faktor ketidakharmonisan (*anharmonicity factor*). Ketidakharmonisan ini dapat menghasilkan perpindahan atau transisi antara tingkat energi vibrasi atau getaran (*vibrational energy states*) di mana $\Delta\nu = \pm 2, \pm 3, \dots$. Transisi antara keadaan getaran atau vibrasi non-contiguous ini menghasilkan pita serapan yang dikenal sebagai *overtone* (*overtone* pertama dan kedua) pada, kira-kira, kelipatan frekuensi getaran fundamental. Selain itu, *overtone* ini jauh lebih kecil daripada transisi mendasar, jadi pita cahaya yang terjadi jauh lebih lemah (pita untuk *overtone* pertama adalah 10-100 kali lebih lemah daripada frekuensi fundamental, tergantung pada ikatan tertentu). Pita cahaya ini muncul antara 780 nm dan 2000 nm, tergantung pada urutan *overtone*-nya dan sifat ikatan dan kekuatan ikatan kimia yang dimiliki senyawa.

Intensitas pita cahaya NIR bergantung pada perubahan momen dipol dan ikatan tidak harmonik (*anharmonicity*). Karena atom hidrogen merupakan atom yang paling ringan, dan oleh karena itu atom hidrogen menunjukkan getaran terbesar dan penyimpangan terbesar dari perilaku harmonik, pita cahaya utama yang biasanya diamati di wilayah panjang gelombang NIR sesuai dengan ikatan kimia yang mengandung atom hidrogen ini dan atom lainnya (yaitu C-H, N-H, O-H dan S-H). Sebaliknya berkas gelombang yang ikatan kimianya seperti C=O, C-C dan C-Cl sangat lemah terdeteksi di panjang gelombang NIR dan bahkan kadang tidak muncul sama sekali.



Gambar 3.7 Instrumentasi NIR spektroskopi (diadaptasi dari Blanco & Villarroya, 2002).

Keberhasilan aplikasi teknologi *NIR spectroscopy* sangat tergantung kepada pemilihan yang benar terhadap instrumentasi yang digunakan. Instrumentasi *NIR spectroscopy* telah mengalami evolusi yang sangat dramatis dalam rangka merespon kebutuhan akan proses analisis yang cepat dan fleksibel (dapat diterapkan pada berbagai bentuk dan kondisi sampel). Pada dasarnya alat spektrometer yang digunakan di daerah NIR sangat identik dengan peralatan spektrometer yang digunakan di daerah gelombang elektromagnetik yang lainnya seperti *mid infrared* dan *UV-visible*. Namun, alat NIR yang saat ini digunakan dapat dibedakan atas beberapa jenis tergantung kepada karakteristik sampel yang menjadi target ataupun kondisi lainnya seperti kompleksitas sampel, kecepatan analisis dan sebagainya (Gambar 3.7).

Berdasarkan proses seleksi panjang gelombangnya, spektrometer NIR dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu spektrometer NIR dengan panjang

gelombang diskrit atau sebagian dan spektrometer NIR dengan panjang gelombang penuh. Spektrometer NIR dengan panjang gelombang diskrit merupakan jenis spektrometer yang sederhana karena spektrometer ini hanya mengambil spektra sampel pada beberapa panjang gelombang tertentu saja. Tentu saja spektrometer jenis ini menjadi terbatas penggunaannya untuk analisis absorbansi sampel pada panjang gelombang yang juga terbatas. Spektrometer NIR dengan panjang gelombang penuh terbagi lagi menjadi dua berdasarkan cara kerjanya yaitu instrumentasi berdasarkan difraksi dan instrumentasi berdasarkan *Fourier transform* (FT).

Proses deteksi di dalam *NIR spectroscopy* menggunakan alat yang terdiri atas beberapa bahan semikonduktor seperti silikon (Si), timbal sulfida (PbS) dan *indium gallium arsenide* (InGaAs). Untuk bahan Silikon, deteksi bisa menjangkau panjang gelombang 400–1100 nm. Untuk bahan *indium gallium arsenide* dapat menjangkau panjang gelombang 800–1700 nm sedangkan untuk bahan timbal sulfida daerah deteksi meliputi panjang gelombang 1100–2500 nm (Osborne, 2000).

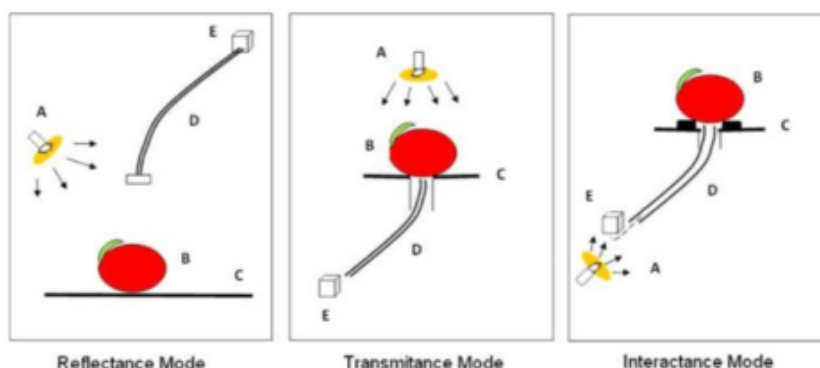
Saat ini juga tersedia jenis detektor dengan sistem *multi-channel* di mana beberapa jenis detektor disusun dalam sebuah rangkaian seperti tipe detektor *charged coupled devices* (CCD). Ini biasanya dilakukan untuk menjangkau lebih banyak panjang gelombang sehingga proses pengambilan spektra juga bisa lebih cepat. Jenis spektrometer yang menggunakan tipe detektor *multi-channel* banyak dikembangkan pada teknik *NIR-imaging spectroscopy*.

Untuk sumber cahaya, lampu tungsten dan lampu halogen paling banyak digunakan sebagai sumber cahaya *NIR spectroscopy* portabel. Keduanya terjangkau dari sisi harga dan memiliki intensitas yang tinggi di daerah NIR. Dibandingkan dengan lampu tungsten, lampu halogen memiliki intensitas yang lebih tinggi, umur pakai lebih lama, suhu lebih tinggi dan lebih stabil.

3.4. Pengambilan Data Spektra Menggunakan *NIR Spectrometer* Portabel

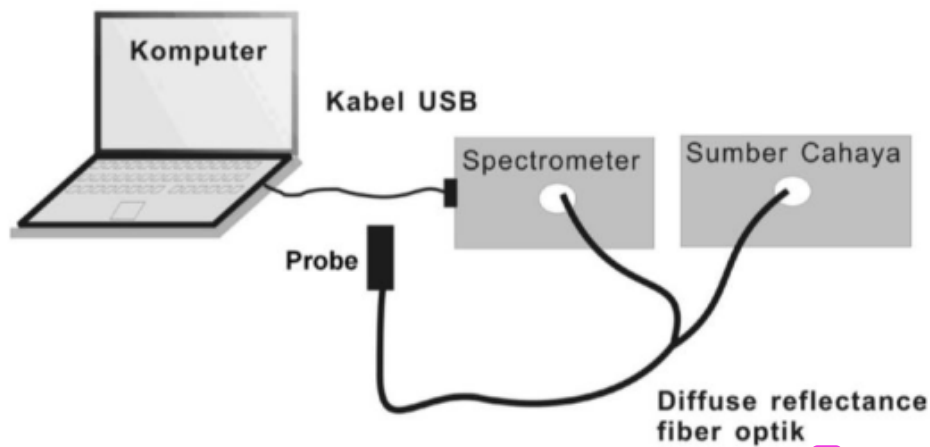
Secara umum proses pengambilan data spektra sampel buah-buahan melibatkan paling tidak 4 komponen penting yaitu spektrometer, sumber cahaya, fiber optik dan komputer. Hanya saja ada satu komponen lain yang juga penting yaitu *holder* atau *chamber* untuk sampel. Holder sampel ini harus didesain khusus yang disesuaikan dengan ukuran buah, tebal dan tipisnya kulit buah, dan mode konfigurasi pengambilan spektra. Untuk pengambilan spektra menggunakan fiber optik biasanya mode pengambilan spektranya dibagi menjadi tiga jenis seperti dapat dilihat di

Gambar 3.8 yaitu mode *transmittance*, *reflectance* dan *interactance* (*diffuse reflectance*). Mode *interactance* atau *diffuse reflectance* memiliki fiber optik yang memiliki dua fungsi yaitu sebagai jalan keluar cahaya dari sumber cahaya ke sampel dan jalan masuk cahaya dari sampel ke spektrometer seperti terlihat di Gambar 3.9 dan 3.10.

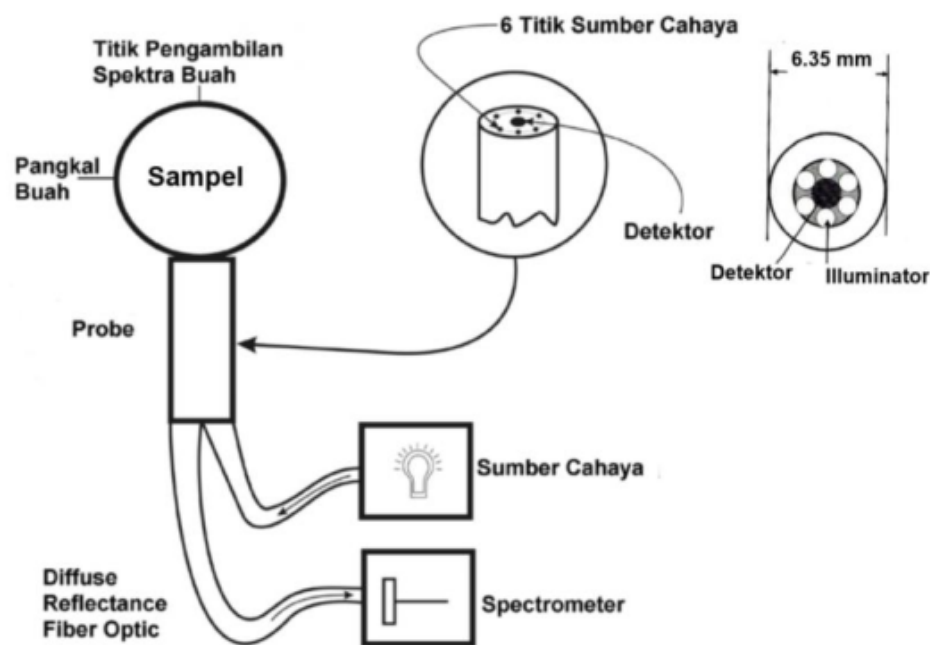


Gambar 3.8 Sketsa tiga tipe konfigurasi pengambilan spektra: A. Sumber cahaya; B. Sampel; C. Holder; D. Fiber optik; E. Detektor/Spektrometer (Lin & Ying 2009).

Gambar 3.9 merupakan proses pengambilan data spektra yang diadopsi untuk penelitian penentuan parameter mutu buah-buahan secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dengan mode *interactance* di Jurusan teknik Pertanian Universitas Lampung. Probe yang digunakan memiliki diameter 6.35 mm dengan 6 titik pencapayaan (illuminator) dan satu titik detektor seperti terlihat di Gambar 3.10. Spektra dari sumber cahaya diarahkan ke sampel buah melalui fiber optik. Sebagian cahaya kemudian masuk ke dalam sampel buah kurang lebih sedalam 5-7 mm (Saranwong *et al.*, 2001) dan berinteraksi dengan berbagai komponen bahan biologik dalam buah. Kemudian cahaya yang telah mengandung informasi biologik ini diteruskan ke spektrometer melalui fiber optik dan datanya dapat dilihat di layar monitor serta dapat disimpan melalui kabel USB. Fiber optik yang digunakan dikenal sebagai fiber optik bentuk Y (Y-shaped) seperti terlihat di Gambar 3.10.



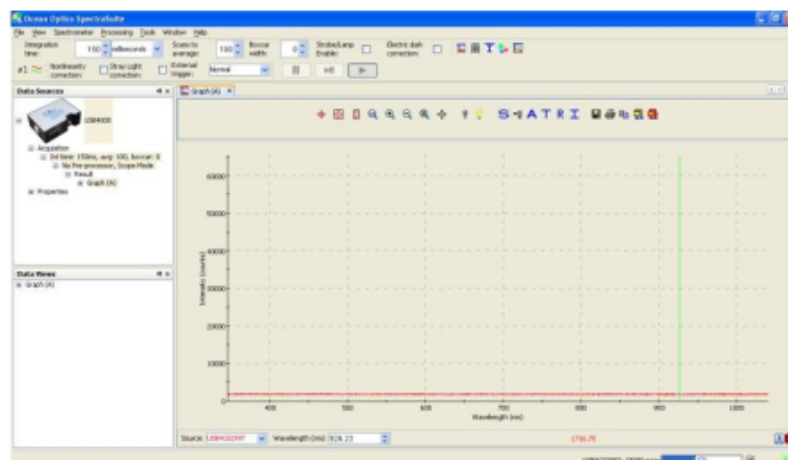
Gambar 3.9 Konfigurasi pengukuran spektra sampel buah-buahan menggunakan *NIR spectroscopy* portabel di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung (Suhandy, 2010).



Gambar 3.10 Detail proses pengambilan data spektra sampel buah-buahan menggunakan *NIR spectroscopy* portabel yang dilengkapi dengan probe fiber optik (Suhandy, 2010).

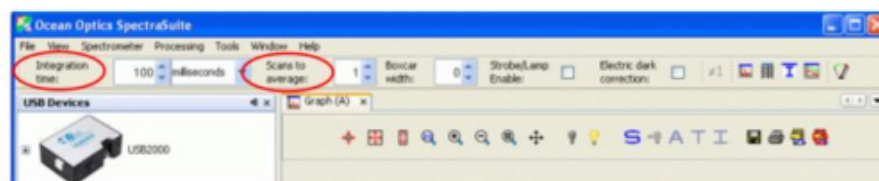
Proses pengambilan spektra biasanya dikontrol menggunakan program khusus yang menjadi bawaan dari produk spektrometer yang digunakan. Misalnya pabrikan JASCO memiliki program Spectral Manager™ Suite untuk mengontrol akuisisi data yang melibatkan spektrometer buatan JASCO. Untuk produk spektrometer dari Ocean Optics program SpectraSuite™ digunakan untuk mengontrol seluruh proses pengambilan spektra. Program ini diberikan dalam satu paket pembelian spektrometer

dalam bentuk CD (*compact disc*) yang dilengkapi dengan password. Anda tinggal melakukan instalasi program tersebut di komputer. Tampilan 20 ar komputer pada program SpectraSuite™ saat dijalankan di komputer dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Program SpectraSuite™ pada komputer untuk mengontrol proses akuisisi data spektra.

2 Pengambilan spektra dilakukan pada beberapa posisi untuk setiap sampel (jumlahnya tergantung sampel yang diukur) dengan teknik *diffuse reflectance* atau *absorbance mode*. Beberapa parameter pengambilan spektra harus ditentukan saat menjalankan SpectraSuite™ seperti parameter waktu integrasi (*integration time*) dan jumlah scanning (*scans to average*) (lihat Gambar 3.12).



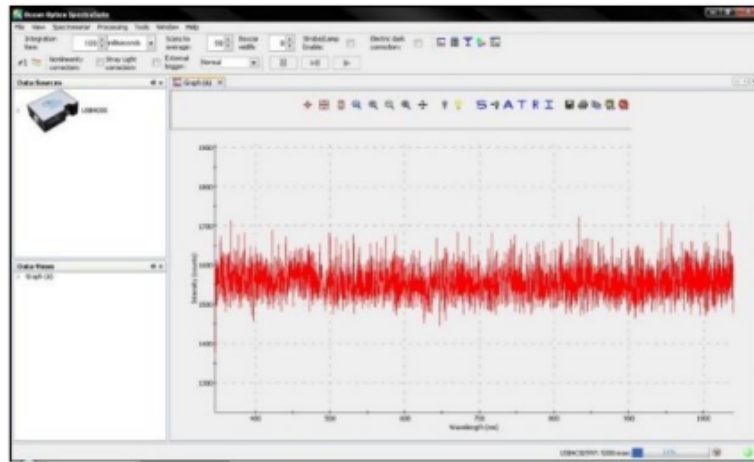
Gambar 3.12 Tampilan menu waktu integrasi dan jumlah scanning pada program SpectraSuite™ (Sumber: Dokumen Penulis).

Waktu integrasi merupakan parameter yang dinyatakan dengan satuan waktu biasanya ms (*millisecond*) dan parameter ini akan menentukan seberapa lama waktu total yang diperlukan saat cahaya terdeteksi oleh detektor CCD. Ini mirip dengan pengaturan *shutter speed* pada kamera. Semakin besar waktu integrasi maka semakin banyak cahaya yang diserap oleh detektor dan semakin besar kemungkinan terlihat *peak* atau puncak

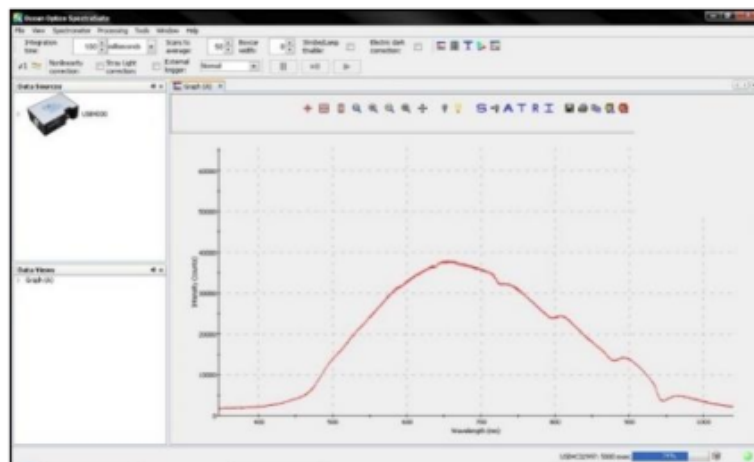
spektra. Hanya saja waktu integrasi yang terlalu tinggi juga bisa menyebabkan terjadinya saturasi pada detektor di mana detektor tidak bisa membaca cahaya yang masuk (karena terlalu banyak). Selain itu untuk kasus pengukuran spektra sampel buah-buahan di mana suhu permukaan buah sangat mempengaruhi variasi spektra maka waktu integrasi yang terlalu besar tidak disarankan karena bisa menyebabkan *overheat* atau panas berlebihan pada permukaan buah.

Jumlah *scanning* merupakan jumlah pengambilan data spektra yang dilakukan oleh spektrometer dan kemudian menghitung rataannya dan menampilkan spektra rataannya tersebut di layar SpectraSuite™. Parameter ini dinyatakan dengan satuan *scans* dan semakin banyak jumlah *scanning* maka spektra yang dihasilkan semakin halus (*smooth*) dengan *noise* semakin kecil dan SNR (*signal to noise ratio*) semakin tinggi. Selanjutnya spektra hasil pengukuran tiap sampel dibuat rataannya. Rataan spektra ini memiliki SNR yang lebih baik. Hanya saja jika jumlah *scanning* terlalu banyak juga bisa menyebabkan saturasi pada detektor sehingga detektor tidak mampu menampilkan data spektra karena jumlah cahaya yang masuk lebih banyak dari kemampuan detektor. Parameter waktu integrasi dan jumlah *scanning* harus ditentukan terlebih dahulu dengan melakukan penelitian pendahuluan dan biasanya parameter ini bisa berbeda-beda atau bisa juga sama antara satu penelitian dengan penelitian yang lainnya terutama tergantung kepada sampel buah yang digunakan.

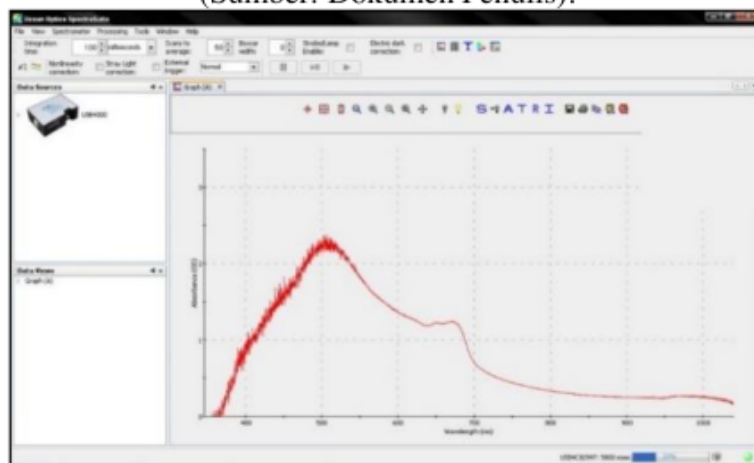
2
Sebelum pengambilan spektra sampel dilakukan, spektra *dark* dan *reference* diambil masing-masing sebanyak satu kali. Spektra *dark* merupakan spektra yang diambil tanpa sampel dan tanpa cahaya. Ini dilakukan dengan cara memblok sumber cahaya. Spektra *reference* merupakan spektra yang diambil dengan menggunakan *reference (diffuse reflectance standard model WS-1, Ocean Optics USA)* sebagai sampel. Spektra sampel merupakan spektra yang diambil dengan menggunakan sampel buah sebagai sampel. Contoh spektra *dark*, *reference* dan sampel seperti terlihat di Gambar 3.13, Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.



Gambar 3.13 Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra *dark* (Sumber: Dokumen Penulis).



Gambar 3.14 Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra *reference* (Sumber: Dokumen Penulis).



Gambar 3.15 Tampilan layar komputer ketika pengambilan spektra sampel (Sumber: Dokumen Penulis).

Sebelum dilakukan pengukuran data spektra maka penting untuk melakukan kontrol suhu sampel. Suhu setiap sampel dibuat seragam. Untuk itu, seluruh sampel dimasukkan ke dalam *water bath* bersuhu 25°C selama 10 menit untuk menghasilkan suhu sampel sekitar 25-26°C untuk buah sawo misalnya. Untuk buah lain seperti mangga membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama untuk bisa mencapai suhu 25-26°C. Gambar 3.16 menunjukkan contoh pengkondisian suhu sampel sebelum pengukuran spektra. Selain itu untuk mencegah masuknya cahaya dari lingkungan yang bisa menjadi salah satu sumber *noise*, seluruh pengambilan spektra harus dilakukan di dalam kotak hitam yang tertutup seperti terlihat di Gambar 3.17.



Gambar 3.16 Pengkondisian suhu sampel buah menggunakan *water bath*.



Gambar 3.17 Pengambilan spektra buah-buahan menggunakan *NIR spectroscopy* portabel yang dilengkapi dengan kotak hitam (Sumber: Dokumen Penulis).

5

Dengan teknik *interactance mode*, maka spektra absorbansi (A_λ) dapat dinyatakan dengan persamaan [3.4] sebagai berikut:

$$A_\lambda = -\log_{10} \left(\frac{S_\lambda - D_\lambda}{R_\lambda - D_\lambda} \right) \quad [3.4]$$

di mana :

S_λ = Intensitas panjang gelombang pada sampel

D_λ = Intensitas panjang gelombang pada *dark*

R_λ = Intensitas panjang gelombang pada *reference*

Pertanyaan Bab 3

1. Jelaskan kelebihan spektrometer portabel untuk mendukung peningkatan mutu dan keamanan pangan khususnya produk buah-buahan!
2. Sebutkan beberapa *fruit selector* yang Anda ketahui!
3. Jelaskan bagian-bagian penting dari sistem *NIR spectroscopy* portabel yang tersedia di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung!
4. Sebutkan beberapa spektrometer portabel yang tersedia secara komersial dan digunakan penelitian *NIR spectroscopy*!
5. Sebutkan dan jelaskan beberapa jenis bahan detektor di *NIR spectroscopy*!
6. Sebutkan dan jelaskan tiga tipe pengambilan spektra yang umum diadopsi di *NIR spectroscopy*!
7. Apa yang dimaksud dengan spektra *dark* dan spektra *reference*?
8. Mengapa proses pengambilan spektra di *NIR spectroscopy* harus dilakukan di dalam ruang gelap atau kotak hitam?

Pustaka Bab 3

Bab 4

KEMOMETRIKA UNTUK NIR SPECTROSCOPY

Tujuan Perkuliahan:

Setelah mengikuti perkuliahan di Bab 4 ini maka mahasiswa diharapkan dapat:

1. Menyebutkan perbedaan analisis data univariat dan multivariat.
2. Menjelaskan definisi ilmu kemometrika dan perkembangannya.
3. Menyebutkan dan memahami konsepsi beberapa algoritma yang digunakan untuk perbaikan data spektra.
4. Menyebutkan beberapa alasan pentingnya dilakukan proses perbaikan data spektra.
5. Menyebutkan dan menjelaskan tahapan-tahapan pada analisis kuantitatif data spektra.
6. Menjelaskan perbedaan antara metode klasifikasi terbimbing dan tidak terbimbing.
7. Menyebutkan beberapa perangkat lunak untuk pengolahan data spektra.

4.1. Univariat Versus Multivariat

a. Data Univariat

Analisis data univariat merupakan salah satu analisis data paling sederhana di mana hanya ada satu variabel yang terlibat. Analisis data univariat tidak bertujuan untuk mencari hubungan sebab akibat tapi lebih kepada deskripsi seperti deskripsi nilai rata-rata, standar deviasi, nilai maksimum-minimum dan sejenisnya. Untuk mendeskripsikan hasil analisis univariat dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti histogram, tabel distribusi frekuensi, poligon frekuensi dan sebagainya. Contoh data univariat adalah data atribut mutu hasil pengukuran data secara merusak menggunakan metode standar seperti data KPT, keasaman dan bahan kering. Tabel 4.1 dan 4.2 merupakan contoh hasil analisis data univariat KPT dengan menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, maksimum-minimum dari hasil

pengukuran KPT buah jeruk BW dan buah nenas (Suhandy, 2010; Suhandy, 2007).

15

Tabel 4.1 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah jeruk BW (Suhandy, 2010).

Item	Sampel Kalibrasi	Sampel Validasi
Jumlah Sampel	43	43
Maksimum	10.1	10.2
Minimum	5.3	5.6
Rataan	8.5	8.5
Standar Deviasi	1.2	1.3
Unit	°Brix	°Brix

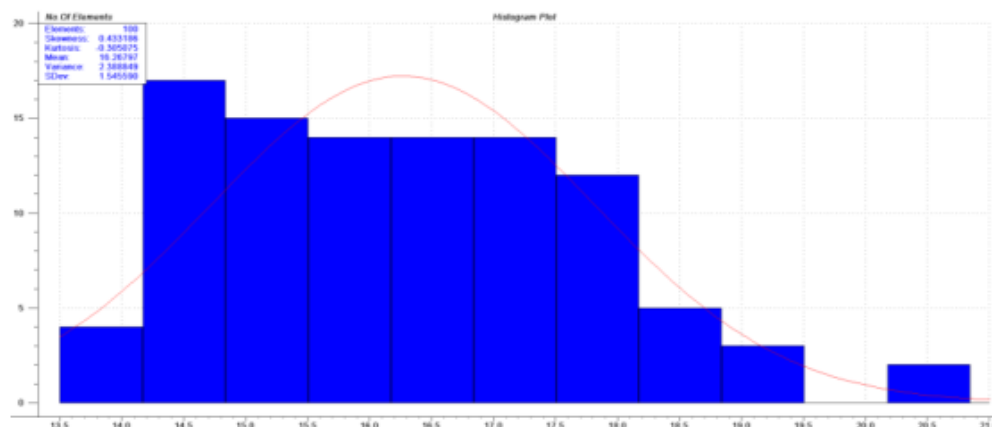
2

Tabel 4.2 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan KPT buah nenas (Suhandy, 2007).

Item	Sampel Kalibrasi	Sampel Validasi
Jumlah Sampel	24	18
Maksimum	18.44	17.89
Minimum	11.25	11.87
Rataan	14.76	14.74
Standar Deviasi	1.85	1.94
Unit	°Brix	°Brix

Selain dengan tabel, presentasi hasil analisis univariat juga bisa ditampilkan dalam bentuk histogram seperti contoh di Gambar 4.1. Histogram menunjukkan data rata-rata, standar deviasi untuk kandungan bahan kering (BK) buah mangga. Visualisasi menggunakan histogram bisa secara cepat memberikan ilustrasi sebaran data yang kita miliki.

Proses perhitungan nilai rata-rata, standar deviasi dan seterusnya tidak hanya bermanfaat dilakukan pada data univariat data hasil pengukuran referensi. Data spektra juga misalnya pada panjang gelombang tertentu dari beberapa sampel dapat juga dikatakan sebagai data univariat dan bisa dihitung nilai rata-rata, standar deviasi dan seterusnya.



Gambar 4.1 Hasil analisis univariat kandungan bahan kering (BK) buah mangga dalam bentuk histogram.

Perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi tidak hanya untuk memvisualisasi data referensi hasil pengukuran atribut mutu seperti KPT atau keasaman. Nilai rata-rata atau *mean* juga sering digunakan untuk mengatasi persoalan data spektra. Salah satunya untuk mengatasi persoalan error yang bersifat acak (*random error*). Disarankan untuk mengambil data spektra beberapa kali kemudian nilainya dirata-rata dan nilai rata-rata inilah yang dipakai untuk analisis data spektra berikutnya.

Nilai rata-rata atau mean (\bar{x}) dapat dihitung dengan persamaan berikut (Miller & Miller, 2005):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad [4.1]$$

Selisih antar nilai spektra maksimum dengan nilai spektra minimum atau yang dikenal sebagai nilai *range* juga sering digunakan untuk memperbaiki data spektra seperti proses normalisasi spektra dan sebagainya. Nilai standar deviasi atau dengan symbol s juga seringkali digunakan untuk memperbaiki data spektra misalnya dengan algoritma *standard normal variate* (SNV). Untuk menghitung nilai standar deviasi dapat menggunakan persamaan berikut (Miller & Miller, 2005):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad [4.2]$$

Parameter statistik deskriptif lainnya yang bermanfaat dalam analisis univariat data spektra adalah kuadrat dari standar deviasi atau s^2 . Nilai ini disebut juga sebagai nilai varian data. Jadi varian data dapat dituliskan secara matematik sebagai (Miller & Miller, 2005):

$$\text{Varian} = s^2 \quad [4.3]$$

Varian data merupakan salah satu parameter ketersebaran data. Parameter statistik lain yang juga menyatakan ukuran ketersebaran data adalah *coefficient of variation* (CV) atau dikenal juga sebagai *relative standard deviation* (RSD) yang dapat dihitung dengan persamaan (Miller & Miller, 2005):

$$CV=RSD = \frac{100s}{\bar{x}} \quad [4.4]$$

b. Data Multivariat

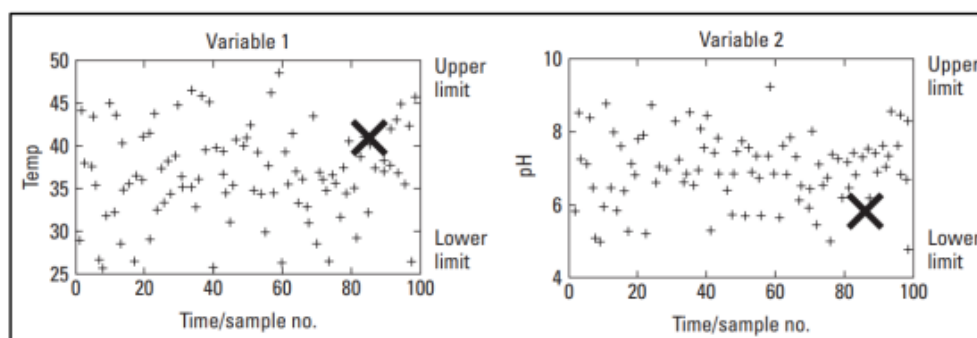
Analisis data multivariat merupakan analisis yang melibatkan 2 atau lebih variabel dan berupaya menjelaskan hubungan atau korelasi sebab akibat yang mungkin ada antara variabel atau peubah prediktor (peubah bebas) dengan peubah respon (peubah tak bebas). Bentuk analisis multivariat sangat banyak tersedia (lebih dari 20 jenis) dan kita bisa memilihnya sesuai dengan tipe data yang kita miliki dan tujuan analisis yang ingin kita capai. Contoh bentuk analisis multivariat adalah *principal components*

analysis (PCA), *partial least-squares regression* (PLSR) dan *linear discriminant analysis* (LDA). Biasanya berbagai bentuk analisis multivariat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak pengolah data multivariat yang banyak tersedia di pasar secara komersial.

Lalu apa kelebihan analisis multivariat dengan analisis univariat?

Perhatikan contoh berikut:

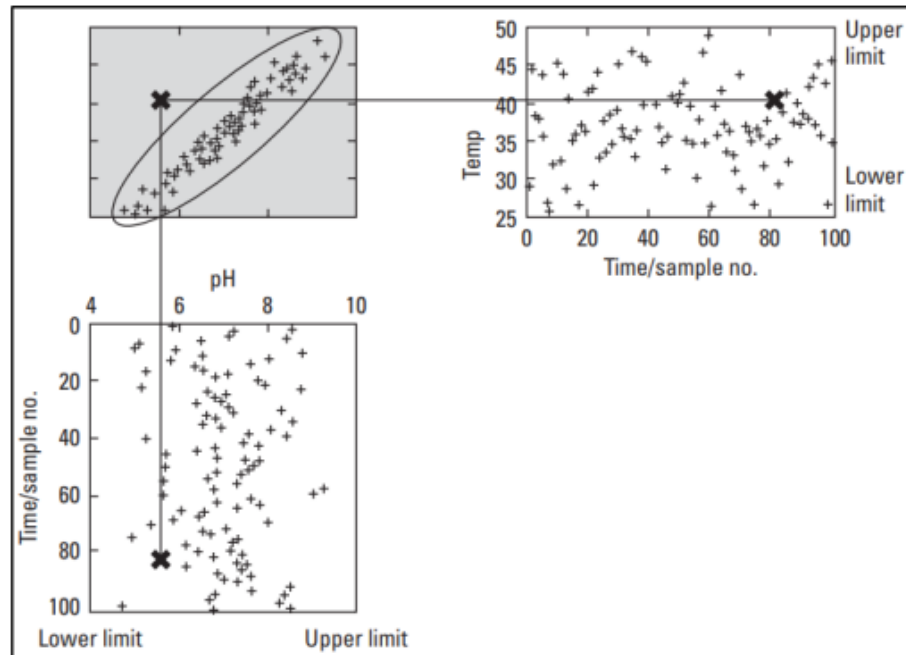
Gambar 4.2 merupakan plot univariat dari data hasil pengukuran variabel atau peubah nilai suhu dan keasaman. Jika kita perhatikan maka semua titik pengukuran baik peubah suhu maupun keasaman berada di dalam batas aman yaitu semua titik terletak di antara batas atas dan batas bawah yang diperkenankan. Padahal sebenarnya ada masalah dengan hasil pengukuran tersebut karena ada satu titik pengukuran yaitu X yang sebenarnya jika dilihat dari pengukuran setiap variabel baik nilai suhu maupun keasaman masih di dalam batas aman. Namun sebenarnya kedua variabel tersebut yaitu suhu dan keasaman saling berhubungan dan di titik X, pengukuran menghasilkan data yang berbeda (abnormal) dengan keseluruhan data lainnya. Titik X merupakan alarm bagi Anda untuk segera mencari tahu apa sebenarnya yang terjadi karena data di titik X sebenarnya adalah data yang abnormal dan berbeda dengan keseluruhan data lainnya. Apakah ada masalah dengan alat ukurnya? Atau masalah pengukurannya? Bagaimana kita tahu nilai pengukuran di titik X abnormal? Tentu saja analisis data univariat yang hanya mendeskripsikan hasil pengukuran seperti nilai rata-rata dan standar deviasi tidak bisa diandalkan untuk bisa menjelaskan korelasi antara peubah suhu dan keasaman. Di sinilah analisis multivariat berperan penting.



Gambar 4.2 Plot univariat pengukuran suhu dan keasaman (Swarbrick, 2012).

Korelasi atau hubungan peubah suhu dan keasaman ini akan terlihat mudah dipahami jika kita membuat plot secara multivariat yaitu dengan melibatkan dua variabel yaitu suhu dan keasaman dalam satu plot seperti terlihat di Gambar 4.3. Dari Gambar 4.3 maka dengan mudah kita dapat melihat bagaimana data pengukuran di titik X memang abnormal atau berbeda dengan keseluruhan data lainnya.

Dari Gambar 4.3 terlihat bagaimana kedua variabel yaitu suhu dan keasaman saling berkorelasi satu sama lain secara linear. Sehingga semua titik pengukuran akan terletak di seputar garis linear dalam plot multivariat kedua variabel tersebut. Sangat jelas terlihat bagaimana titik X terpisah dari sebagian besar titik pengukuran lainnya. Dari sini kita sudah bisa melihat bagaimana analisis multivariat lebih unggul dibandingkan dengan analisis univariat. Terlebih lagi jika input variabel yang terlibat lebih banyak lagi seperti halnya data spektra yang bisa melibatkan puluhan hingga ratusan variabel maka analisis multivariat sangat dibutuhkan untuk dapat menghasilkan kesimpulan yang tepat.



Gambar 4.3 Plot multivariat pengukuran suhu dan keasaman (Swarbrick, 2012).

4.2. Kemometrika

Ilmu spektroskopi (*spectroscopy*) tidak akan berkembang pesat tanpa ilmu kemometrika. Sebaliknya ilmu kemometrika menjadi lebih berkembang dan semakin menarik dengan banyak contoh aplikasi yang disediakan oleh ilmu spektroskopi khususnya di bidang pertanian. Algoritma kemometrika terus berkembang seiring tuntutan aplikasi ilmu spektroskopi di berbagai bidang.

Ilmu kemometrika sendiri pertama kali diperkenalkan oleh sejumlah kelompok peneliti dalam bidang kimia, terutama dalam bidang kimia organik analitik dan fisik. Ini terjadi di era akhir tahun 1960-an dan terus berlangsung sepanjang tahun 1970-an. Pada tahun 1971, seorang ilmuwan Swedia **Svante Wold** memperkenalkan istilah "kemometri," dalam bahasa Swedia yang dalam bahasa Inggris sama dengan "**chemometrics**" (Kiralj

& Ferreira, 2006). Di Indonesia sendiri, aplikasi ilmu kemometrika mulai berkembang seiring dengan tumbuhnya penelitian di bidang spektroskopi sejak awal tahun 1990-an.

Sejak tahun 1970-an, kemometrika terus berkembang. Tabel 4.3 merupakan ringkasan sejarah perkembangan kemometrika. Dari tabel tersebut dapat dipahami bahwa perkembangan ilmu kemometrika didukung dengan terbitnya jurnal yang didedikasikan secara khusus untuk mempublikasikan hasil-hasil penelitian di bidang kemometrika seperti jurnal *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* dan *Journal of Chemometrics*.

Tabel 4.3 Sejarah singkat perkembangan kemometrika (Geladi, 2003).

Tahun	Perkembangan
1971	Artikel klasik tentang resolusi kurva spektra oleh Lawton dan Sylvestre.
1971	Istilah <i>chemometrics</i> dikenalkan oleh Svante Wold.
1972	Artikel <i>pattern recognition</i> oleh Isenhour dan Jurs.
1972	Artikel kemometrika pertama oleh Kowalski, Massart and Wold.
1972	Artikel review oleh Currie <i>et al.</i>
1973	Buku geologi oleh Davis.
1975	Buku <i>pattern recognition</i> oleh Jurs dan Isenhour.
1977	Terbit pertama kali sebuah 23 siding kemometrika, editor Bruce Kowalski. Konferensi berlangsung di San Francisco di 1976 .
1977	Jurnal <i>Anal. 23 Chimica Acta</i> memperkenalkan bagian kemometrika yang diberi judul <i>Computer Techniques and Optimization</i> di volume 95 dibawah editor Jean Clere
1978	Buku <i>Chemometrics</i> terbit ditulis oleh Massart <i>et al.</i>
1978	Pertemuan pertama diiniasi untuk membentuk CAC di Amsterdam
1980	Buku <i>Factor analysis</i> terbit ditulis oleh Malinowski dan Howery
1980	Buku <i>Pattern recognition</i> ditulis oleh Varmuza
23 3	Buku <i>Cluster analysis</i> oleh Massart dan Kaufman
1983	<i>NATO Chemometrics Summer school</i> di Cosenza
1986	Buku <i>Chemometrics</i> oleh Sharaf <i>et al.</i>
1987	<i>Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems</i> , sebuah jurnal Elsevier untuk bidang kemometrika mulai terbit, Luc Massart sebagai editor pertama.
1987	<i>Journal of Chemometrics</i> , sebuah jurnal Wiley untuk bidang kemometrika mulai terbit, Bruce Kowalski sebagai editor pertama.

Ilmu kemometrika baru muncul di tahun 1970-an. Perkembangannya seiring dengan perkembangan ilmu komputasi dan perangkat komputer itu sendiri. Juga didorong oleh kebutuhan ilmu analisis spektroskopi yang semakin rumit. Sebelum jua [36](#) membahas ilmu kemometrika maka penting untuk memberikan definisi apa yang dimaksud dengan kemometrika itu sendiri. Apa yang dimaksud dengan kemometrika?

Berikut adalah rangkuman beberapa definisi kemometrika dari beberapa pakar:

Menurut Varmuza & Filzmoser (2008):

Kemometrika adalah suatu disiplin kimia yang menggunakan metode statistik dan

11 matematika, untuk merancang atau memilih prosedur dan eksperimen yang optimal, dan untuk memberikan informasi kimia yang maksimal dengan cara menganalisis data kimia. Juga dikatakan bahwa kemometrika berkaitan dengan proses ekstraksi informasi yang relevan dari data kimia dengan alat berupa matematika dan statistik.

Menurut Gemperline (2006):

30 Kemometrika adalah bidang interdisipliner yang melibatkan statistik multivariat, pemodelan matematika, ilmu komputer, dan kimia analitik. Beberapa bidang aplikasi utama kemometrik meliputi (1) kalibrasi, validasi, dan pengujian signifikansi; (2) optimalisasi pengukuran kimia dan prosedur eksperimental; dan (3) ekstraksi informasi kimia yang maksimal dari proses analisis data.

Menurut Beebe et al., (1998):

Kemometrika adalah penggunaan teknik statistik dan matematika untuk menganalisis data kimia. Kemometrika melibatkan seluruh proses di mana data (misalnya angka dalam tabel) ditransformasikan menjadi informasi yang dapat digunakan untuk proses pengambilan keputusan.

Menurut Masuti et al., (2003):

Kemometrika adalah disiplin kimia yang menggunakan metode matematika, statistik dan lainnya yang menggunakan logika formal untuk merancang atau memilih prosedur dan eksperimen pengukuran optimal, dan untuk memberikan informasi kimia maksimum yang relevan dengan menganalisis data kimia.

Menurut Wold & Sjostrom (1998):

Kemometrika menyelesaikan tugas-tugas berikut di bidang kimia: cara mendapatkan informasi yang relevan secara kimiawi dari data kimia yang diukur, cara merepresentasikan dan menampilkan informasi ini, dan cara memasukkan informasi tersebut ke dalam data.

Menurut Kramer (1998):

Kemometrika merupakan sebuah seni mengolah data dengan berbagai teknik numerik untuk mengekstrak informasi yang berguna.

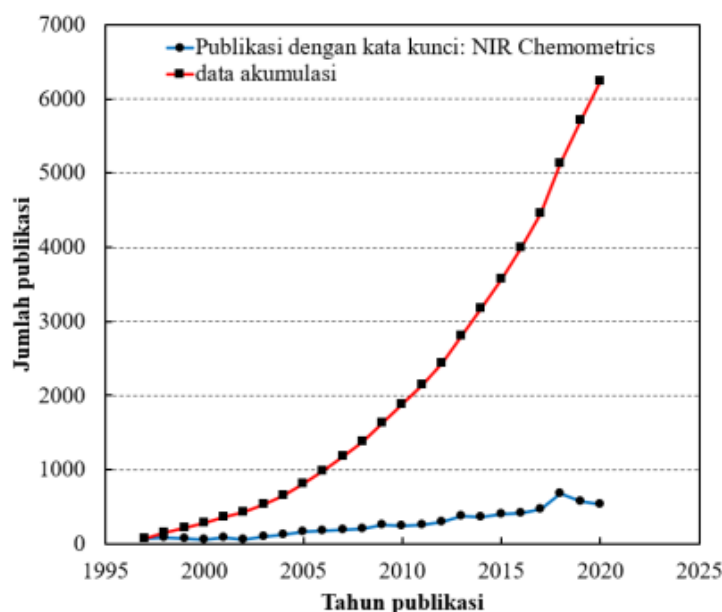
Menurut Otto (2017):

59 Kemometrika merupakan sebuah disiplin ilmu kimia yang menggunakan matematika dan metode statistika untuk merancang dan memilih pengukuran optimal untuk prosedur dan eksperimen serta untuk menyediakan informasi kimia secara maksimal melalui proses analisis data kimia.

78 Dari berbagai definisi yang dikemukakan oleh beberapa pakar di atas maka kemometrika sangat berkaitan dengan proses mendapatkan atau memperoleh data pengukuran kimia, kemudian proses untuk interpretasi data tersebut dengan bantuan ilmu statistik dan matematika, dan terakhir proses untuk menyampaikan hasil analisis itu secara mudah sehingga dapat digunakan untuk proses pengambilan keputusan. Jelas di sini spektroskopi sangat berkait dengan kemometrika. Data spektroskopi adalah data kimia, mengandung informasi yang berhubungan dengan bio-informasi (kandungan internal properti bahan, struktur bahan dan sebagainya). Pengukuran spektroskopi melibatkan data yang sangat

melimpah, dengan sebagian besar data saling kolinear sehingga di sinilah dibutuhkan berbagai teknik statistik dan matematika untuk mengekstraks informasi penting yang terkandung pada data h_{75} pengukuran spektroskopi. Ekstraksi ini kemudian ditampilkan secara visual baik dalam bentuk dua atau tiga dimensi sehingga secara cepat informasi itu bisa digunakan untuk proses pengambilan keputusan.

Perkembangan pesat di bidang kemometrika telah menjadi daya dorong yang kuat untuk perkembangan riset di bidang spektroskopi, salah satunya *NIR spectroscopy*. Seperti terlihat di Gambar 4.4, jumlah publikasi dengan kata kunci NIR dan *chemometrics* di www.sciencedirect.com mengalami peningkatan yang luar biasa. Tahun 1997 jumlah publikasi dengan kata kunci NIR dan *chemometrics* tercatat hanya 65 buah dan meningkat menjadi 673 buah publikasi di tahun 2018 atau meningkat sekitar 1000 persen lebih. Bahkan secara akumulasi jumlah publikasi yang tercatat di www.sciencedirect.com dengan kata kunci NIR dan *chemometrics* sudah berada di atas angka enam ribu. Beberapa contoh penelitian terbaru dengan kata kunci *NIR spectroscopy* dan *chemometrics* terutama di bidang pasca panen buah-buahan adalah: aplikasi NIR dan *chemometrics* untuk identifikasi proses pematangan buatan pada buah sawo (*Manilkara Zapota*) (Mahanti & Charaborty, 2020), pengukuran internal *browning* atau pencoklatan buah mangga (Gabriëls *et al.*, 2020), kuantifikasi cacat *watercore* dan KPT pada buah apel (Guo *et al.*, 2020), optimasi dan komparasi beberapa model untuk prediksi KPT buah apel secara *online* (Xia *et al.*, 2020) dan evaluasi secara tidak merusak atribut mutu KPT buah apel (Fan *et al.*, 2020).



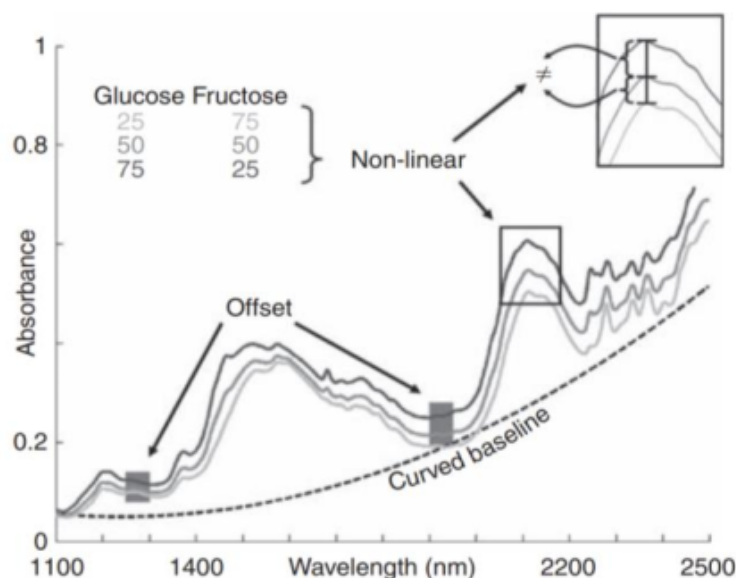
Gambar 4.4 Data jumlah publikasi NIR dan chemometrics di www.sciencedirect.com pada periode 1997-2020 (www.sciencedirect.com).

4.3. Proses Perbaikan Spektra

Salah satu konsep yang penting di dalam ilmu spektroskopi (ini berlaku baik di NIR, *UV-visible* atau pun *mid infrared*) bahwa relasi antara sampel dengan konsentrasi bahan tertentu dengan data spektranya (absorbansinya) adalah linear mengikuti persamaan Beer-Lambert yaitu:

$$A = \epsilon lc \quad [4.5]$$

Di mana A adalah absorbansi, ϵ adalah *molar absorptivity* bahan dan l adalah efektif *path length* dan c adalah konsentrasi bahan yang menjadi target pengukuran. Pada satu series pengukuran data spektra, dua variabel yaitu ϵ dan l adalah dibuat konstan. Sehingga secara linear, data absorbansi (naik dan turunnya absorbansi) hanya dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi bahan (c). Nah pada kenyataannya relasi linear atau linearitas itu terganggu dengan adanya faktor lain yang membuat linearitas antara absorbansi dan konsentrasi tidak berjalan semestinya. Faktor lain yang mengganggu ini bisa berupa efek hamburan atau *scatter* yang berasal dari adanya perbedaan partikel dalam bahan, interferensi, interaksi molekular, perubahan indeks bias di konsentrasi larutan pekat, adanya pengaruh cahaya yang berasal dari lingkungan saat pengukuran spektra dan sebagainya. Gangguan ini pada spektra tampak sebagai nilai *baseline offset* yang konstan dan *baseline* berupa kurva atau lengkungan/*slope* seperti terlihat di Gambar 4.5. Pertambahan konsentrasi glukosa dan penurunan konsentrasi fruktosa secara konstan dengan interval 25% seharusnya diikuti dengan naik dan turunnya absorbansi spektra secara linear. Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa ketidaklinearan terjadi salah satunya karena adanya efek hamburan atau *scatter*.



Gambar 4.5 Ketidaklinearan pada spektra yang disebabkan oleh adanya dua efek hamburan atau *scatter*: *baseline offset* dan *baseline* lengkung (sumber: Rinnan *et al.*, 2009).

Nah, algoritma yang dikenal sebagai metode *pre-processing* pada spektra sebenarnya adalah sekumpulan algoritma yang bisa digunakan untuk mengembalikan hasil pengukuran spektra kita untuk bisa mengikuti prinsip linearitas persamaan Beer-Lambert. Algoritma ini digunakan untuk mengkompensasi berbagai pengaruh atau gangguan yang menyebabkan spektra yang diperoleh bisa mengikuti prinsip linearitas Beer-Lambert.

Metode *pre-processing* itu secara umum dapat dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah metode *pre-processing* untuk kompensasi pengaruh efek *scatter* atau efek hamburan yang disebut juga sebagai ⁶⁴oreksi efek hamburan. Yang termasuk tipe ini adalah metode *pre-processing: multiplicative scatter correction (MSC), standard normal variate (SNV), normalization, dan offset correction*. Yang kedua adalah metode *pre-processing derivation* atau turunan. Yang termasuk *derivation* adalah: Savitzky–Golay dan Norris–Williams.

⁷⁴ng harus diperhatikan adalah bahwa setiap metode *pre-processing* memiliki kelebihan dan kekurangan dan penggunaannya sangat tergantung kepada *data* spesifik spektra yang digunakan. Untuk mendapatkan hasil terbaik maka pada prakteknya kita harus bersabar dan mencoba semua metode *pre-processing* yang tersedia dan kemudian mengevaluasi hasilnya dan menarik kesimpulan metode *pre-processing* yang tepat untuk memperbaiki data spektra yang kita miliki. Tabel 4.4 menunjukkan daftar metode perbaikan data spektra dan efeknya terhadap kualitas spektra.

Tabel 4.4 Metode perbaikan data spektra dan efeknya (Sirisomboon, 2018).

No.	Metode perbaikan spektra	Efek
1.	<i>Smoothing</i>	Mengurangi <i>noise</i>
2.	<i>Derivative</i>	Memisahkan <i>peak</i> yang saling overlap dan variasi baseline
3.	<i>Normalization</i>	Menghilangkan variabilitas dari sumber yang tidak diinginkan
4.	⁶⁰ <i>De-trending</i>	Menghilangkan linearitas kurva dan perubahan baseline
5.	<i>Standard Normal Variate</i>	Menghilangkan efek hamburan (<i>scatter</i>)
6.	<i>SNV+De-trending</i>	Mengurangi multikolineariti, perubahan baselin dan linearitas kurva
7.	<i>Multiplicative Scatter Correction (MSC)</i>	Menghilangkan efek hamburan yang tidak diinginkan

Berikut penjelasan secara terperinci beberapa metode perbaikan data spektra yang banyak diadopsi dalam penelitian *NIR spectroscopy*.

a. *Smoothing*

³³

Smoothing atau penghalusan merupakan salah satu cara yang efektif untuk menghilangkan *noise* frekuensi tinggi (*high-frequency*) dari data spektra

sekaligus memperbaiki data rasio *noise* dan sinyal (SNR atau *signal to noise ratio*). Salah satu parameter yang harus ditentukan adalah jumlah titik untuk *averaging* data. Semakin besar jumlah *averaging* maka resolusi spektra menjadi semakin rendah. Sebaliknya semakin kecil jumlah *averaging* maka resolusi spektra semakin tinggi. Sehingga penentuan jumlah titik atau segmen *averaging* merupakan hal krusial. Beberapa algoritma yang bisa dipilih untuk *smoothing* adalah: *moving average smoothing*, *Gaussian filter smoothing*, *median filter smoothing* dan *Savitzky-Golay smoothing (S-G smoothing)*.

Secara teknis prosedural untuk menghitung *moving average smoothing* adalah sebagai berikut. Misalnya jumlah segmen yang hendak kita gunakan untuk *smoothing* adalah $n=3$ maka persamaan untuk menghitung spektra *smoothing*nya adalah:

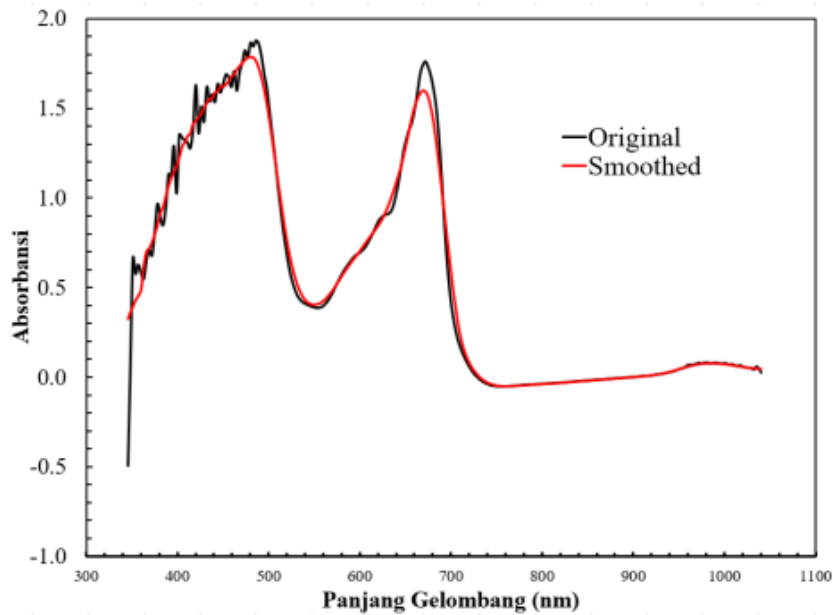
$$S_j = \frac{Y_{j-1} + Y_j + Y_{j+1}}{3} \quad [4.6]$$

Keterangan:

- S_j : Nilai absorbansi *smoothing moving average* pada panjang gelombang ke- j
- Y_j : Nilai absorbansi original pada panjang gelombang ke- j
- j : Panjang gelombang ke- j
- 3 : Jumlah segmen

Untuk jumlah segmen minimal adalah 3 dan ganjil. Untuk perhitungan *smoothing* dengan jumlah segmen lebih dari 3 (7, 9, 11 dan seterusnya) dapat mengikuti persamaan 4.2 di atas.

Contoh perubahan dari spektra original ke spektra *moving averaging smoothing* dengan 11 segmen dapat dilihat di Gambar 4.6. Secara visual dapat dilihat spektra yang telah diberikan perlakuan algoritma *moving averaging smoothing* terlihat lebih halus atau *smooth*.



Gambar 4.6 Perubahan dari spektra original ke spektra *moving averaging smoothing* dengan 11 segmen.

b. Offset Correction

Untuk *offset correction* bisa dilakukan dengan dua cara yaitu *baseline offset* dan *linear baseline correction*. Keduanya digunakan untuk mengubah *baseline* sampel. Pada prakteknya kedua cara tersebut bisa dilakukan mandiri atau bersama-sama dan jika dilakukan bersama-sama maka urutannya adalah *linear baseline correction* dulu baru kemudian *baseline offset*.

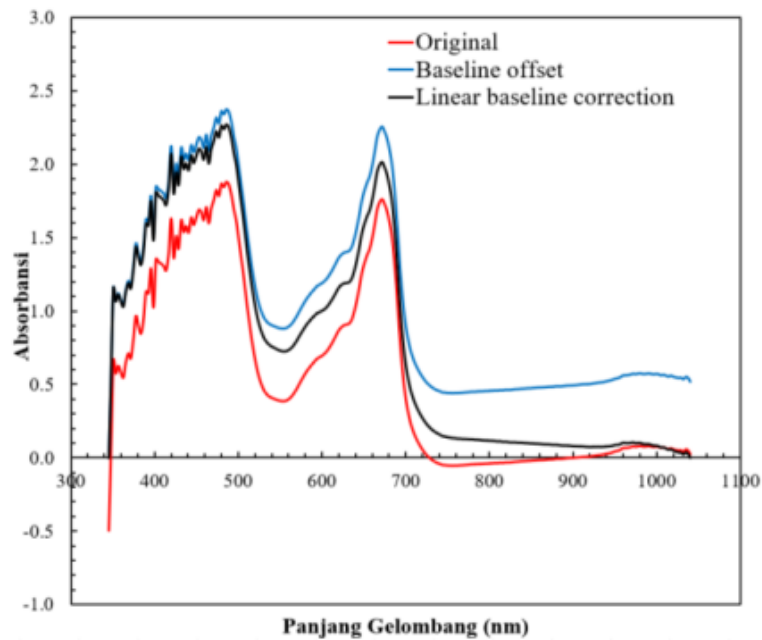
Formula untuk menghitung *baseline offset* adalah sebagai berikut:

$$f(x) = x - \min(X) \quad [4.7]$$

Di mana x adalah variabel tunggal dan X adalah seluruh variabel yang terlibat. Teknis perhitungan adalah setelah menentukan variabel atau panjang gelombang mana saja yang terlibat maka tentukanlah nilai absorbansi paling kecil dari seluruh variabel yang terlibat. Maka nilai *baseline offset* dihitung dengan cara mengurangi nilai spektra original setiap panjang gelombang dengan nilai minimum yang sudah ditentukan (seperti rumus 4.1). Sehingga spektra absorbansi yang baru adalah nilai 0 untuk panjang gelombang dengan absorbansi terkecil dan panjang gelombang lainnya memiliki absorbansi positif semua (tidak ada nilai negatif). Inilah yang dimaksud perubahan *baseline*.

Untuk *linear baseline correction* ide dasarnya adalah mengubah *baseline non-linear* menjadi *baseline linear* atau dari *baseline* dengan garis miring (*slope*) menjadi *baseline* dengan garis mendatar (*horizontal*). Pertama tentukan terlebih dahulu dua panjang gelombang sebagai acuan atau *baseline* baru. Keduanya kemudian absorbansinya dibuat 0 dan absorbansi di panjang gelombang lain nilainya diperkirakan dengan cara interpolasi

atau ekstrapolasi linear terhadap dua panjang gelombang acuan tersebut. Gambar 4.7 merupakan contoh perubahan dari spektra original ke spektra *baseline offset* dan *linear baseline offset*. Perhatikan di Gambar 4.7 bahwa baik untuk *baseline offset* maupun *linear baseline correction*, spektra keduanya adalah positif dan tidak ada yang absorbansinya negatif.



Gambar 4.7 Perubahan dari spektra original ke spektra *baseline offset* dan *linear baseline correction*.

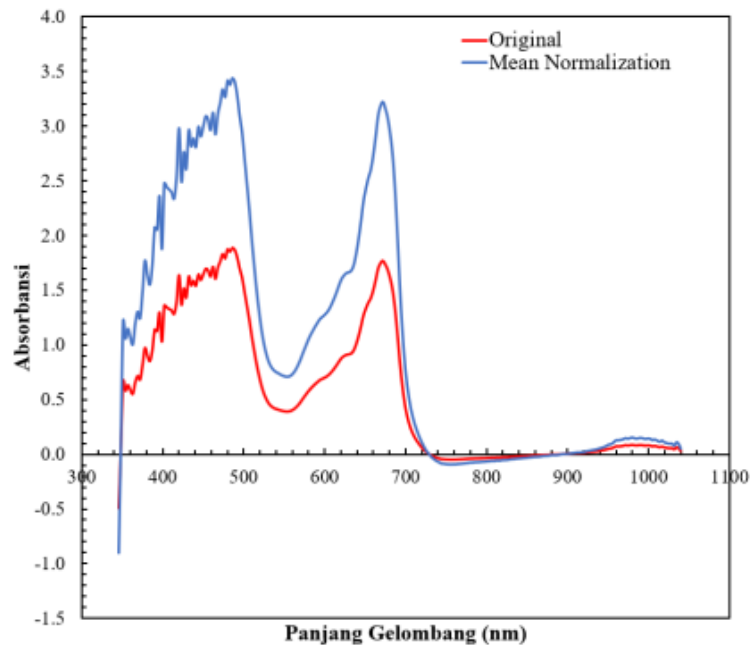
c. Normalization

Normalization atau normalisasi merupakan algoritma transformasi spektra yang bekerja berdasarkan orientasi sampel. Tujuan utamanya adalah untuk membuat sampel pada posisi skala yang sama. Salah satunya sangat berguna ketika detektor yang digunakan untuk menangkap spektra merupakan fungsi dari masa atau bobot sampel seperti di *Gas Chromatography* atau spektra yang merupakan fungsi dari daya listrik seperti di *Raman spectroscopy*. Fungsi ini tentu tidak terlalu bermanfaat jika spektra yang direkam merupakan fungsi dari konsentrasi sampel seperti di *NIR* atau pun *UV visible spectroscopy*.

Ada enam algoritma untuk menghitung normalisasi yaitu: *area normalization*, *unit vector normalization*, *mean normalization*, *maximum normalization*, *range normalization* dan *peak normalization*. Untuk *mean normalization*, prosedurnya adalah setiap nilai absorbansi di setiap panjang gelombang (x) dibagi dengan nilai rata-rata absorbansi ($mean(X)$) seluruh panjang gelombang yang terlibat. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{x}{mean(X)} \quad [4.8]$$

Gambar 4.8 merupakan contoh transformasi spektra dari original ke spektra *mean normalization*:

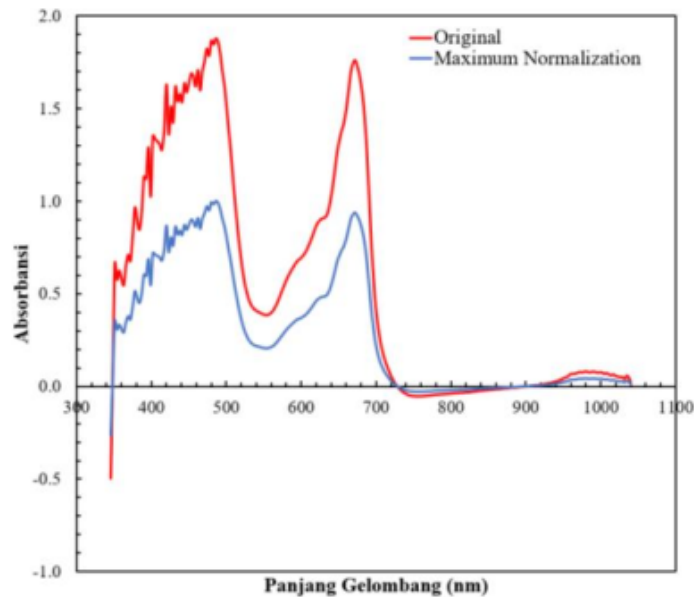


Gambar 4.8 Perubahan dari spektra original ke spektra *mean normalization*.

Untuk *maximum normalization*, prosedurnya adalah setiap nilai absorbansi di setiap panjang gelombang (x) dibagi dengan nilai maksimum absorbansi ($\max(X)$) dari seluruh panjang gelombang yang terlibat. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{x}{\max(X)} \quad [4.9]$$

Gambar 4.9 merupakan contoh transformasi spektra dari original ke spektra *maximum normalization*:

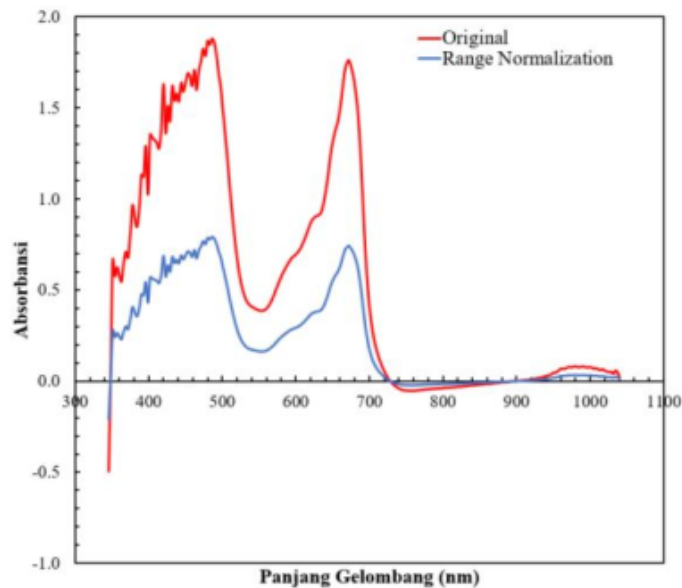


Gambar 4.9 Perubahan dari spektra original ke spektra *maximum normalization*.

Untuk *range normalization*, prosedurnya adalah setiap nilai absorbansi di setiap panjang gelombang (x) dibagi dengan nilai *range* atau selisih antara nilai maksimum dan minimum absorbansi ($max - min(X)$) dari seluruh panjang gelombang yang terlibat. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{x}{max-min(X)} \quad [4.10]$$

Gambar 4.10 merupakan contoh transformasi spektra dari original ke spektra *range normalization*:



Gambar 4.10 Perubahan dari spektra original ke spektra *range normalization*.

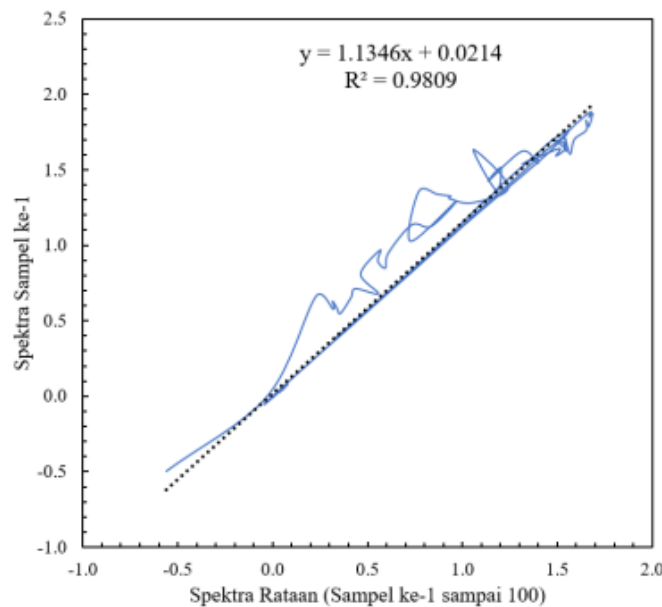
d. MSC (*multiplicative scatter correction*)

MSC merupakan salah satu proses transformasi spektra yang pertama kali diperkenalkan oleh Marten *et al.* (1983) dan disempurnakan oleh Geladi *et al.* (1985). Tujuan utama MSC untuk menghilangkan efek *scatter* pada spektra.

Secara detail, prosedur perhitungan MSC adalah sebagai berikut: pertama menghitung rata-rata spektra dari sampel yang ada. Kemudian membuat plot dua dimensi yaitu dengan spektra rata-rata di sumbu x dan spektrum (spektra tunggal atau spektra satu sampel) yang hendak dikoreksi dengan MSC di sumbu y . Dari plot dua dimensi inilah kita bisa menentukan persamaan garis linearnya dan dari persamaan garis linear ini kita bisa mengetahui nilai intersep (a) dan nilai slope (b) dari persamaan garis linear $y = bx + a$.

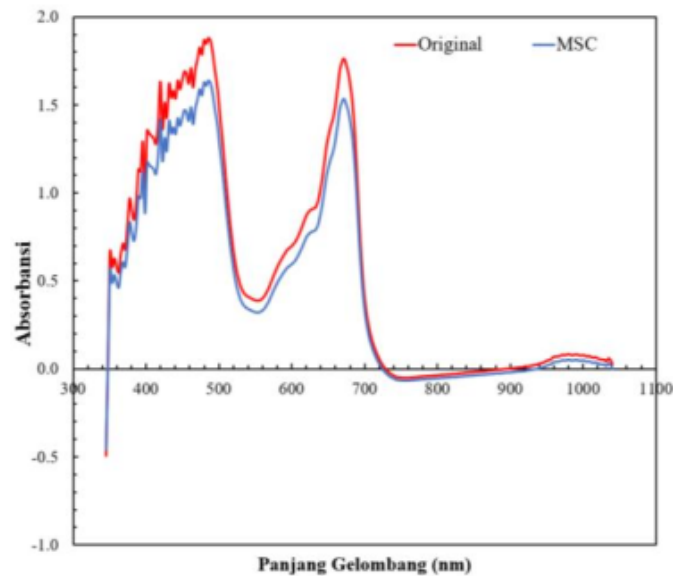
Sebagai ilustrasi perhatikan contoh berikut. Spektra yang hendak dikoreksi misalnya ada 100 sampel maka pertama buatlah rata-rata spektra dari 100 sampel tersebut. Kemudian untuk proses koreksi MSC spektra sampel ke-1 maka buatlah plot dua dimensi dengan rata-rata spektra di sumbu x dan spektra sampel ke-1 di sumbu y seperti diperlihatkan di Gambar 4.11. Dari persamaan garis linear kita bisa mengetahui nilai a (intersep) dan b (slope) dari plot dua dimensi itu yaitu $a = 0.0214$ dan $b = 1.1346$. Setelah itu maka kita bisa menghitung koreksi MSC ($f(x)$) untuk spektra sampel ke-1 (x) dengan rumus:

$$f(x) = \frac{x-a}{b} \tag{4.11}$$



Gambar 4.11 Plot dua dimensi spektra rata-rata versus spektra tunggal satu sampel.

Gambar 4.12 merupakan contoh transformasi dari spektra original (sampel ke-1) yang dikoreksi oleh algoritma MSC.



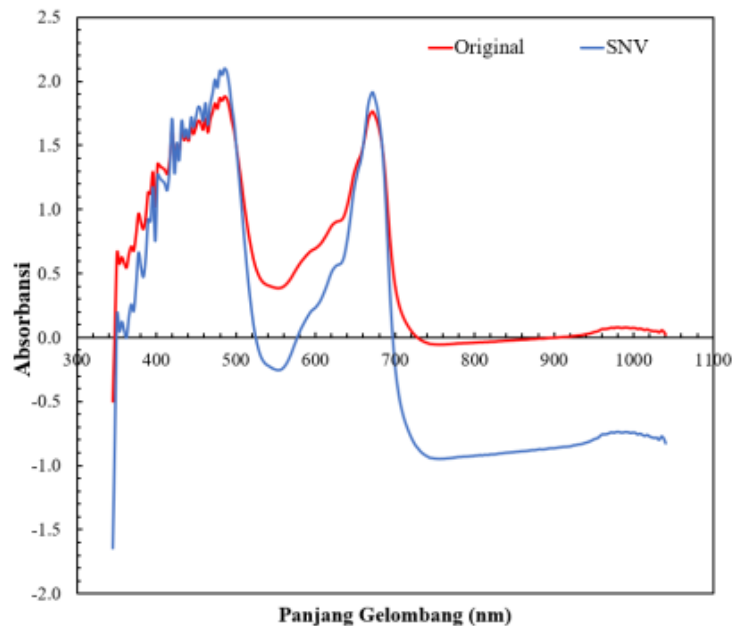
Gambar 4.12 Perubahan dari spektra original ke spektra MSC.

e. SNV (*Standard normal variate*)

Mirip dengan MSC, SNV merupakan salah satu cara perbaikan spektra yang bertujuan untuk mengeliminasi deviasi spektra akibat perbedaan ukuran partikel sampel dan efek hamburan atau scatter pada spektra. Asumsi dasarnya adalah bahwa data spektra memenuhi persyaratan distribusi normal Gauss sehingga secara prosedural perhitungan SNV adalah sebagai berikut: setiap data absorbansi di panjang gelombang tertentu (x_k) dikurangi dengan nilai rata-rata absorbansi dari seluruh panjang gelombang yang terlibat ($\text{mean}(X)$) dan hasilnya dibagi dengan nilai standar deviasi absorbansi dari seluruh panjang gelombang yang terlibat $\text{SD}(X)$. Secara matematis dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\hat{x}_k = \frac{x_k - \text{mean}(X)}{\text{SD}(X)} \quad [4.12]$$

Gambar 4.13 merupakan contoh perubahan spektra original ke spektra SNV.



Gambar 4.13 Perubahan dari spektra original ke spektra SNV.

f. Derivation

Derivation atau turunan merupakan salah satu proses transformasi data spektra yang ide dasarnya adalah konsep turunan di dalam matematika. Tujuan utama *derivation* adalah membetulkan efek *baseline* spektra yaitu menghilangkan efek yang berasal dari informasi yang tidak berhubungan dengan komponen kimia dan biologi penyusun bahan yang menjadi target pengukuran spektra. Biasanya informasi seperti ukuran dan berat sampel atau ketebalan dan densitas sampel ikut mempengaruhi atau memberi efek signifikan pada spektra. Untuk membangun model yang tangguh atau *robust* efek atau pengaruh tersebut seharusnya dihilangkan dari spektra. Di sinilah pentingnya konsep transformasi data spektra dengan algoritma turunan.

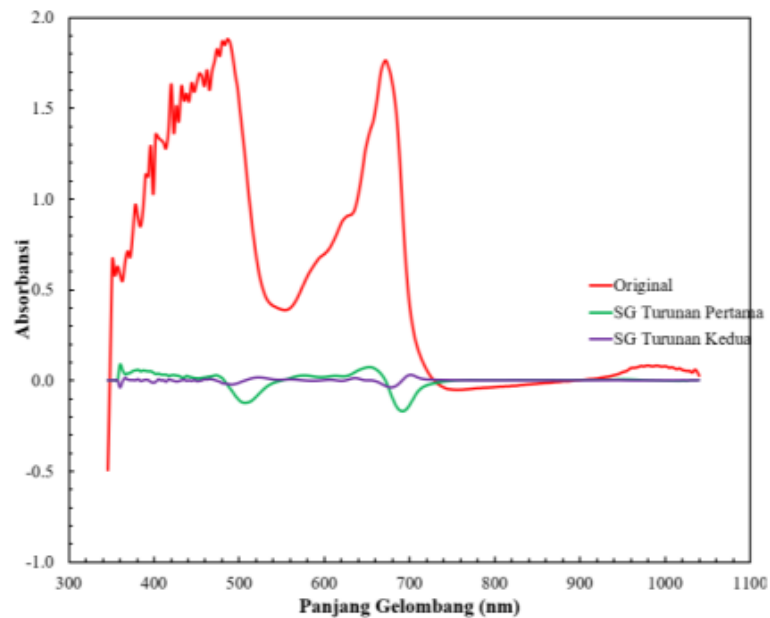
Turunan Pertama (*First Derivative*)

Untuk turunan pertama prosedurnya adalah menghitung *slope* atau kemiringan setiap titik pada spektra. Perhatikan bahwa jika spektra mengandung *noise* yang disebabkan oleh *baseline* yang berbeda karena perbedaan densitas sampel, ukuran sampel dan seterusnya maka *noise* seperti itu merupakan sebuah nilai konstanta pada spektra di mana turunan pertama dari nilai konstanta secara matematis adalah nol. Di sini dapat dipahami bahwa untuk turunan pertama maka semua *peak* pada spektra original akan dibuat zero atau nol. Sehingga bentuk spektra original akan berubah secara dramatis menggunakan algoritma turunan pertama ini. Dengan algoritma turunan pertama ini maka *baseline offset* telah dihilangkan dan *peak maxima* (nilai puncak tertinggi) pada spektra original menjadi nol pada spektra turunan pertama.

Turunan Kedua (*Second Derivative*)

Untuk turunan kedua sederhananya adalah menghitung *slope* atau kemiringan setiap titik dari spektra turunan pertama dan ini adalah perubahan arah kemiringan dari spektra. Turunan kedua menghilangkan *baseline offset* dan *slope* atau kemiringan spektra original secara sekaligus. *Peak* di spektra original tetap akan muncul di spektra turunan kedua dengan berubah tanda dari maxima ke minima dan sebaliknya.

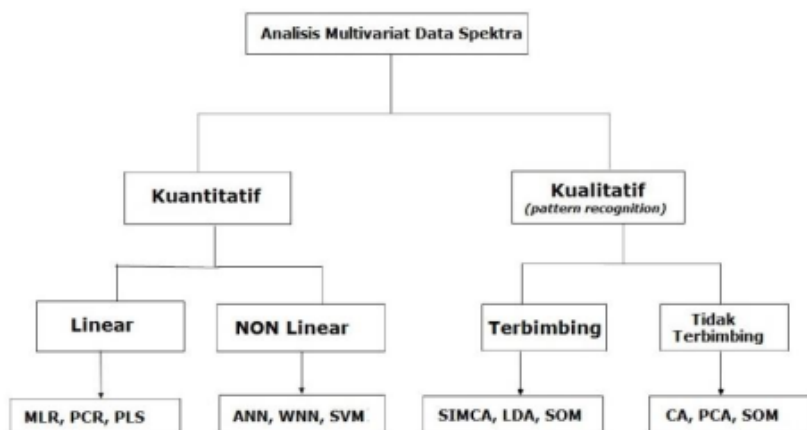
Ada beberapa algoritma yang digunakan untuk menghitung turunan pertama dan kedua spektra yaitu: Norris Gap, Gap segment dan Savitzky-Golay. Gambar 4.14 merupakan contoh perubahan spektra original ke spektra turunan pertama dan kedua Savitzky-Golay dengan 11 segmen.



Gambar 4.14 Perubahan dari spektra original ke spektra *derivation*.

4.4. Analisis Kuantitatif dan Kualitatif

Secara umum analisis multivariat yang melibatkan data spektra biasanya melibatkan dua pendekatan analisis yaitu analisis yang bersifat kuantitatif dan analisis yang bersifat kualitatif (lihat Gambar 4.15). Pembahasan di buku ini lebih ditekankan kepada analisis kuantitatif yaitu untuk proses kuantifikasi atribut mutu buah-buahan. Meskipun demikian, analisis kualitatif juga diberikan penjelasan secara umum.



Gambar 4.15 Pengelompokan beberapa metode kemometrika yang sering diaplikasikan untuk uji keaslian pangan (Esteki *et al.*, 2018).

Pengembangan model kemometrika untuk evaluasi atribut mutu buah-buahan bisa berlangsung dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Secara khusus hasil penelitian yang disampaikan di Bab 5 merupakan hasil sudi dengan pendekatan kuantitatif.

4.4.1. Analisis Kuantitatif

Tujuan utama dari metode kuantitatif pada analisis spektroskopi adalah untuk membangun model kalibrasi yang mampu secara akurat memprediksi karakteristik dan properti dari sampel yang tidak diketahui (sampel target). Proses tersebut melibatkan beberapa tahapan penting seperti ditunjukkan di Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tahapan penting dalam proses pengembangan model kalibrasi pada analisis spektroskopi secara kuantitatif.

No.	Tahapan	Tujuan
1.	Menentukan sampel kalibrasi.	Memilih sampel yang memadai sehingga dapat merepresentasikan keseluruhan populasi sampel tersebut.
2.	Menentukan target apa yang hendak diukur dan diprediksi menggunakan metode referensi	Untuk menentukan parameter apa saja yang harus diukur (properti yang diukur) secara akurat dan presisi
3.	Mengambil data spektra	Untuk memperoleh informasi terkait data fisik dan kimia dengan metode yang bisa diulang
4.	Melakukan proses transformasi spektra menggunakan algoritma yang sesuai	Untuk menghilangkan <i>noise</i> pada data spektra
5.	Membangun model kalibrasi	Untuk mengkonstruksi relasi antara data referensi dan data spektra.
6.	Validasi model kalibrasi	Untuk memastikan akurasi model kalibrasi yang dibangun
7.	Memprediksi sampel baru yang tidak diketahui	Untuk memprediksi data referensi pada sampel prediksi yaitu sampel baru yang tidak digunakan untuk membangun model kalibrasi

Berikut penjelasan setiap tahapan dalam analisis kuantitatif.

Tahap 1. Menentukan sampel kalibrasi.

Di tahap pertama ini harus dipastikan bahwa sampel yang hendak diukur dan diambil sebagai data kalibrasi harus mampu menggambarkan situasi dan karakteristik sampel yang hendak diprediksi di kemudian hari. Sebagai contoh jika kita hendak membuat model kalibrasi untuk prediksi kadar gula atau KPT buah nenas misalnya maka jika sampel buah nenas yang nantinya diprediksi kadar gulanya memiliki kisaran kadar gula 7-12% Brix maka saat membangun model kalibrasi kita harus menggunakan sampel buah nenas dengan kadar gula di kisaran 7-12% Brix. Di tahap ini biasanya plot data dalam bentuk histogram sangat membantu untuk melihat sebaran data yang kita miliki apakah sudah sesuai dengan target aplikasi atau belum. Jika kita membangun model kalibrasi dengan kisaran nilai %Brix di luar kisaran nilai %Brix target maka model yang kita bangun tidak cukup tangguh atau *robust* dan biasanya menghasilkan nilai *bias* yang tinggi.

Untuk buah-buahan maka faktor seperti tingkat ketuaan atau umur buah, ukuran buah juga termasuk yang harus diperhatikan dalam memilih sampel untuk membangun model kalibrasi.

Tahap 2. Menentukan parameter target yang diukur menggunakan metode referensi.

Di tahap ini harus dipastikan bahwa data referensi diperoleh melalui proses pengukuran yang presisi dan dapat diterima. Yang dimaksud dengan data referensi di sini adalah parameter yang hendak diprediksi menggunakan analisis spektroskopi. Misalnya kadar gula buah atau KPT, keasaman (*acidity*), kandungan protein, kandungan air, kekerasan buah, nilai LWP (*leaf water potential*) pada tanaman dan sebagainya. Nah parameter-parameter tersebut haruslah diukur menggunakan metode yang terpercaya. Hal ini karena kualitas pengukuran data referensi memiliki implikasi langsung dengan kualitas model kalibrasi yang hendak dibangun. Beberapa metode referensi untuk pengukuran atribut mutu buah-buahan sudah dibahas di Bab 2 di buku ini. Metode referensi untuk KPT misalnya adalah menggunakan refraktometer. Metode referensi untuk keasaman adalah metode titrasi asam-basa.

Tahap 3. Mengambil data spektra.

Di tahapan ini yang harus diperhatikan adalah pemilihan tipe spektroskopi yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Kadang kala juga disesuaikan dengan biaya yang diperlukan. Spektroskopi di wilayah terahertz (THz) misalnya masih tergolong spektroskopi yang sangat mahal, dengan spektrometer yang masih terbatas dan mahal. Berbeda dengan spektroskopi di wilayah *UV-visible* (ultraviolet-cahaya tampak) yang cukup mudah diakses dengan spektrometer yang harganya sangat terjangkau dan saat ini banyak tersedia di banyak laboratorium standar. *NIR spectroscopy* portabel memberikan

fleksibilitas tinggi dalam proses pengambilan spektra baik secara *on-plant* maupun *off-plant*.

Selain itu juga harus ditentukan tipe spektrometer yang harus digunakan. Misalnya tipe spektrometer FT memiliki nilai rasio S/R yang lebih baik dibandingkan dengan tipe spektrometer dispersif. Hanya saja spektrometer FT jauh lebih mahal dibandingkan dengan spektrometer dispersif. Sehingga jika data spektra sudah cukup memadai kualitasnya dengan menggunakan spektrometer tipe dispersif tentu saja penggunaan spektrometer tipe FT sebaiknya ditunda dulu.

Selain itu pada saat pengambilan spektra juga harus diperhatikan bentuk sampel apakah larutan atau solid sehingga bisa ditentukan mode presentasi sampel yang cocok apakah transmisi, reflektansi atau ATR (*attenuated total reflectance*). Kekurangtepatan dalam menentukan mode presentasi dapat berakibat data spektra yang diperoleh kurang memadai dan berpengaruh terhadap kualitas model kalibrasi yang dibangun. Untuk sampel buah-buahan maka yang sering diadopsi adalah mode *interactance* atau *diffuse reflectance*.

Tahap 4. Melakukan proses transformasi atau perbaikan spektra menggunakan algoritma yang sesuai.

Setelah data referensi dan data spektra diperoleh maka tahap berikutnya adalah bagaimana mengkonstruksi relasi atau hubungan antara kedua data tersebut. Hanya saja sebelum itu dilakukan maka yang harus diperhatikan adalah data spektra yang diperoleh selalu mengandung informasi non-spektra yang tidak memiliki relasi langsung dengan data referensi. Ini yang dikenal sebagai *noise*. Nah salah tahapan yang penting di dalam membangun model kalibrasi adalah meminimalkan (tidak bisa sampai menghilangkan sama sekali) intensitas *noise* yang ada pada data spektra. Ini bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa algoritma yang sering digunakan untuk memperbaiki spektra dengan *noise* minimal seperti: normalisasi (*normalization*) (Griffiths, 1995); *derivatives* atau turunan (47) asanya melibatkan turunan pertama dan kedua) (McClure, 1993); *multiplicative scatter correction* (MSC) (Geladi *et al.*, 1985); *standard normal variate* (SNV) dan *de-trending* (DT) (Barnes *et al.*, 1989). Algoritma itu bisa digunakan secara terpisah dan ada juga yang dipakai secara bersama-sama (kombinasi) untuk menghasilkan spektra dengan *noise* sangat minimal. Penjelasan detail terkait perhitungan beberapa algoritma perbaikan data spektra telah diberikan di penjelasan sebelumnya di buku ini.

Tahap 5. Membangun model kalibrasi dengan metode linear dan non-linear.

Di tahapan ini, korelasi antara data referensi dan data spektra dibuat dalam bentuk model kalibrasi yaitu relasi antara data NIR misalnya dengan data

atribut mutu buah-buahan seperti KPT, keasaman dan bahan kering. Di tahap ini kita banyak berhutang budi kepada para peneliti di bidang kemometrika yang telah menyediakan berbagai pilihan analisis data multivariat. Salah satunya yang paling populer dan banyak digunakan adalah metode *principal component analysis* (PCA) (Wold *et al.*, 1987) dan *full spectrum partial least-squares* (FS-PLS) regression (Martens & Naes, 1991).

PCA merupakan teknik tidak terbimbing yang biasanya digunakan untuk proses awal melihat data secara keseluruhan. PCA merupakan proses pemetaan data sehingga salah satunya bisa melihat kesamaan atau ketidaksamaan data termasuk melihat apakah ada data yang sangat berbeda dari sebagian besar data yang ada yang dikenal sebagai data pencilan (*outlier*). PCA memiliki dua plot penting yaitu plot skor PCA dan plot nilai *X-loadings*. Dari analisis nilai skor PCA kita harus mampu memisahkan data pencilan dari analisis berikutnya. Data pencilan tidak boleh diikuti pada proses pengembangan model kalibrasi. Plot *x-loadings* sangat membantu untuk pemetaan panjang gelombang yang signifikan. Dari plot *x-loadings* dapat tergambar panjang gelombang mana saja yang memiliki kontribusi signifikan dalam proses perhitungan model. Dari plot ini kita bisa membatasi pengembangan model kalibrasi hanya melibatkan panjang gelombang tertentu saja (*selected wavelength*) yang punya nilai *x-loadings* tinggi (signifikan).

Setelah PCA, maka tahap berikutnya adalah membangun model kalibrasi menggunakan regresi PLS dengan melibatkan seluruh panjang gelombang yang diukur atau dikenal sebagai regresi *full-spectrum* PLS (FS-PLS). Selain menggunakan *full-spectrum* maka saat ini banyak tersedia algoritma untuk menyeleksi panjang gelombang tertentu yang membuat perhitungan menjadi lebih cepat dan tentu saja model kalibrasi yang lebih handal (*robust*). Beberapa contoh algoritma untuk seleksi panjang gelombang di antaranya adalah *uninformative variable elimination by PLS* (UVE-PLS) yang diperkenalkan oleh Centner *et al.* (1996), *iterative predictor weighting* (IPW) PLS yang diinisiasi oleh Forina *et al.* (1999) dan *competitive adaptive reweighted sampling* (CARS) yang pertama kali digunakan oleh Li *et al.* (2009). *Interval PLS* (iPLS), *moving window PLS* (MWPLS) dan *genetic algorithm PLS* (GA-PLS) juga merupakan contoh algoritma untuk seleksi panjang gelombang (Nørgaard *et al.*, 2000; Leardi & Nørgaard, 2004; Jiang *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2010).

Tahap 6. Validasi model kalibrasi.

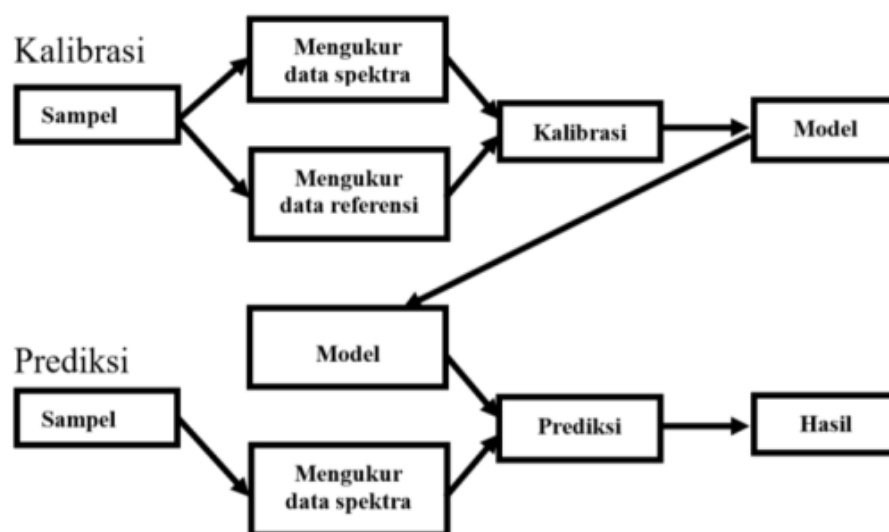
Istilah validasi di sini mengacu kepada sebuah proses yang dilakukan untuk menilai performansi sebuah model kalibrasi yaitu mengestimasi akurasi dan kehandalan model kalibrasi saat model tersebut dibangun. Tergantung kepada jenis sampelnya maka terdapat beberapa jenis validasi. Jika sampel kalibrasi sama dengan sampel validasi maka ini yang dikenal

sebagai validasi silang (*cross-validation*). Jika sampel validasi berbeda dengan sampel yang digunakan untuk membangun model kalibrasi maka disebut sebagai *t-test validation*. Jika jumlah sampel keseluruhan sedikit (kurang dari 60) maka sebaiknya model kalibrasi divalidasi dengan teknik validasi silang. Jika jumlah sampelnya banyak (lebih dari 60) maka proses validasi bisa dilakukan dengan teknik *t-test validation*.

Tahap 7. Prediksi sampel.

Tujuan utama dari proses pengembangan model kalibrasi adalah agar kita bisa memprediksi data referensi pada sampel baru yang tidak diketahui data referensinya. Data ini tidak dihitung menggunakan metode referensi dan sebagai gantinya dihitung atau lebih tepatnya diprediksi dengan menggunakan model kalibrasi yang sudah dibangun dan divalidasi (lihat Gambar 4.16). Proses ini yang dikenal sebagai *analytical process technology* atau PAT. Proses ini telah menggantikan berbagai proses penentuan data referensi menggunakan metode referensi yang biasanya melelahkan, membutuhkan waktu yang lama dan melibatkan banyak bahan kimia. Dengan adanya model kalibrasi ini maka proses penentuan data referensi menjadi semakin cepat, cukup akurat dan murah serta bebas bahan kimia.

Selain itu prediksi menggunakan metode spektroskopi juga sangat sesuai dengan isu keberlangsungan dan ramah lingkungan karena sebagian besar metode spektroskopi berlangsung dengan tidak merusak sampel (*nondestructive*) atau dengan preparasi sampel yang sangat minimal. Dengan kata lain prediksi data referensi menggunakan metode spektroskopi bebas limbah sampel.



Gambar 4.16 Hubungan antara proses kalibrasi dan prediksi (diadaptasi dari Mark, 1993).

Bagaimana cara mengevaluasi model kalibrasi regresi PLS yang dibangun?

Efisiensi model kalibrasi biasanya dievaluasi menggunakan beberapa parameter yang dikenal sebagai statistika terapan. Parameter penting ditunjukkan di Tabel 4.6 lengkap dengan persamaan untuk menghitung parameter tersebut.

Kriteria untuk model kalibrasi dikatakan berkualitas baik adalah sebagai berikut: Pertama model kalibrasi tersebut memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi yaitu mendekati 1. Jika nilai R^2 sama dengan 0 maka model kalibrasi yang dibangun sangat buruk dan tidak ada korelasi antara data spektra dan data referensi. Jika nilai R^2 sama dengan 1 maka model kalibrasi sangat baik dan korelasi antara data referensi dan data spektra sangatlah kuat.

Tabel 4.6 Parameter statistika terapan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas model kalibrasi.

Terms	Persamaan
R^2	$R^2 = \frac{\sum(x \times y) - \left[\left(\frac{\sum x \times \sum y}{N} \right) \right]}{\left\{ \left[\sum x^2 - \left(\frac{(\sum x)^2}{N} \right) \right] \times \left[\sum y^2 - \left(\frac{(\sum y)^2}{N} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$
SEC	$SEC = \left\{ \sum (x - y)^2 - \left[\frac{(\sum (x - y))^2}{N} \right] / N - 1 \right\}^{\frac{1}{2}}$
SEP	$SEP = \left\{ \sum (x - y)^2 - \left[\frac{(\sum (x - y))^2}{N} \right] / N - 1 \right\}^{\frac{1}{2}}$
Bias	$bias = \sum (x - y) / N$
RPD	$RPD = \frac{SD_{valset}}{SEP}$

x : data referensi aktual y : data referensi prediksi N : jumlah data/sampel

- R^2 : Koefisien determinasi.
- SEC : standard error of calibration (standard deviasi (SD) dari selisih antara data referensi aktual dan data referensi hasil prediksi pada sampel kalibrasi).
- SEP : standard error of prediction (standard deviasi (SD) dari selisih antara data referensi aktual dan data referensi hasil prediksi pada sampel prediksi).
- Bias : Rataan dari selisih antara data referensi aktual dan data referensi hasil prediksi.
- RPD : Rasio antara nilai SECV dan nilai standard deviasi sampel validasi.

Parameter lain yang digunakan⁵¹ untuk mengevaluasi diterima tidaknya model kalibrasi adalah nilai *standard error of calibration* (SEC) dan *standard error of cross validation* (SECV). Model kalibrasi yang berkualitas memiliki nilai SEC dan SECV sekecil mungkin dan memiliki nilai selisih antara SC dan SECV yang sekecil mungkin. Kadang diperoleh nilai SEC sangat kecil tapi saat yang bersamaan nilai SECV sangat besar sehingga nilai selisih SEC dan SECV sangat besar pula dan jika ini terjadi maka model tidak bisa diterima dan ini menunjukkan adanya kasus *overfitting*. Pada kasus *overfitting* ditandai dengan terlalu banyak faktor PLS yang terlibat (Gomez *et al.*, 2006).

Di sinilah pentingnya untuk memilih jumlah faktor PLS yang optimal dan bebas kasus *overfitting*. Untuk mel³at ada tidaknya kasus *overfitting* bisa juga dengan membuat plot antara nilai *root mean square error of cross validation* (RMSECV) dan jumlah faktor PLS. Nilai RMSECV terkecil bersesuaian dengan jumlah faktor PLS yang optimal. Setelah model kalibrasi dibangun dan memilih model kalibrasi yang paling berkualitas dengan memperhatikan parameter R^2 , SEC dan SECV serta jumlah faktor PLS yang optimal, maka tahap berikutnya yang tidak kalah penting adalah evaluasi model kalibrasi saat digunakan untuk prediksi.

Parameter statistika yang digunakan untuk evaluasi hasil prediksi adalah pertama nilai koefisien determinasi R^2 (untuk prediksi), nilai SEP dan nilai *bias*. Model kalibrasi dikatakan baik dan berkualitas jika hasil prediksi menunjukkan R^2 mendekati nilai 1 dan nilai SEP dan *bias* sekecil mungkin. Selain itu model kalibrasi yang berkualitas juga memiliki nilai RPD sebesar mungkin (minimal 3).

4.4.2. Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif untuk analisis spektra biasanya melibatkan metode *pattern recognition* atau metode klasifikasi. Metode klasifikasi dapat didefinisikan sebagai sekumpulan metode kemometrika yang digunakan untuk membangun model klasifikasi. Model ini pada akhirnya nanti digunakan untuk memprediksi keanggotaan sampel masuk atau tidak ke dalam kelas yang sudah didefinisikan dalam model (Biancolilo & Marini, 2018).

Secara garis besar **metode klasifikasi** di dalam kemometrika dan an⁵⁴is data multivariat dapat dikelompokkan ke dalam 2 kelompok yaitu **klasifikasi tidak terbimbing** (*unsupervised classification*) dan **klasifikasi terbimbing** (*supervised classification*) (Lopes & Neto, 2018).

a. Klasifikasi tidak terbimbing

Menurut Jain *et al.* (2000), metode klasifikasi tidak terbimbing membagi data atau sampel ke dalam beberapa kelas tanpa terlebih dahulu mendefinisikan kelas. Klasifikasi tidak terbimbing dapat digambarkan juga

sebagai proses pemetaan atau *mapping* sampel atau dikenal juga sebagai proses klusterisasi sampel. Sampel hasil pengukuran mengandung beberapa atribut atau properti yang kemudian satu atau beberapa atribut sampel tersebut dapat dipilih untuk mengelompokkan sampel-sampel tersebut berdasarkan kesamaan atau ketaksamaan properti yang dimiliki oleh sampel. Klasifikasi tidak terbimbing dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode seperti **K-means**, **K-medians**, **Hierarchical cluster analysis** dan **principal component analysis (PCA)**. Klasifikasi ini biasanya dilakukan terlebih dahulu sebelum menggunakan metode klasifikasi terbimbing.

b. Klasifikasi terbimbing





Disebut sebagai klasifikasi terbimbing karena melibatkan dua tahap klasifikasi yaitu pertama tahap pembuatan atau pengembangan model klasifikasi menggunakan sejumlah sampel yang dikenal sebagai sampel kalibrasi. Tahap berikutnya adalah proses prediksi kelas untuk sampel baru. Model yang sudah dibangun inilah yang akan membimbing sampel baru tersebut apakah masuk ke dalam kelas atau tidak berdasarkan batas atau kriteria keanggotaan kelas yang merupakan fitur dari model yang dibangun tersebut.

³⁴ beberapa metode yang termasuk klasifikasi terbimbing adalah metode **SIMCA** (*soft independent modeling of class analogy*), **LDA** (*linear discriminant analysis*), **Logistic regression**, **PLS-DA** (*partial least squares discriminant analysis*), **SVMC** (*support vector machine classification*) dan **ANN** (*artificial neural networks*) (Lopes & Neto, 2018).

4.5. Perangkat Lunak Kemometrika

Beberapa perangkat lunak atau *software* pengolahan data multivariat telah tersedia di pasaran dan dijual secara komersial. Salah satu kemampuan yang ditawarkan oleh perangkat lunak itu adalah perhitungan analisis regresi menggunakan algoritma PLS dan sebagainya. Bahkan beberapa perangkat lunak sengaja dikembangkan dan didedikasikan untuk mempermudah analisis spektroskopi seperti proses transformasi⁷⁶ spektra dan analisis regresi. Tabel 4.7 menunjukkan contoh beberapa perangkat lunak yang bisa digunakan untuk membantu proses analisis spektroskopi khususnya untuk membangun model kalibrasi berbasis PLS (*partial least squares*).

Tabel 4.7 Beberapa contoh *software* untuk analisis spektroskopi secara kuantitatif dan kualitatif.

Nama <i>software</i>	Produsen	Karakteristik
 <p>The Unscrambler®</p>	Perusahaan Norwegia CAMO AS https://www.camo.com/unscrambler/	Berdiri sejak tahun 1984 oleh para ilmuwan Norwegia saat ini The Unscrambler menjadi salah satu software analisis data spektroskopi yang paling lengkap dari mulai desain eksperimen (Design of Experiments/DoE), analisis data eksploratori (exploratory data analysis), regresi PLS (partial least squares regression /R), analisis komponen utama (principal component analysis/PCA) dan soft independent modelling of class logies (SIMCA)
Visual PLS	Software ini dapat didownload di http://www2.kuas.edu.tw/p/rof/fred/vpls .	Software VisualPLS dikembangkan oleh Jen-Ruei Fu, Ph.D. dari Department Of Information Management, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan. Bek dengan sistem operasi Windows. Software ini merupakan pengembangan dari software Laten Variable Partial Least Square (LVPLS) yang diperkenalkan oleh Lohmoller dan masih under DOS.
 <p>Smart PLS</p>	Perusahaan Jerman SMART PLS https://www.smartpls.com .	SmartPLS diinisiasi oleh Ringle <i>et al.</i> (2005) menggunakan bahasa program Java. Outputnya dalam bentuk file berformat HTML, Excel atau Latex format.
 <p>Pirouette</p>	Dikembangkan oleh perusahaan Perancis Infometrix. https://infometrix.com/pirouette/ .	Software banyak digunakan untuk analisis PCA dan PLS.
TQ Analyst software package (Thermo Nicolet, USA).	Dikembangkan oleh perusahaan Thermo Fisher Scientific https://www.thermofisher.com .	Software yang didedikasikan untuk mempermudah proses pengukuran data spektra, klasifikasi (analisis kualitatif) dan analisis kuantitatif
PLS Toolbox, Solo – Eigenvector Inc. 	Software ini dikembangkan oleh Eigen Vector Research Inc's. http://www.eigenvector.com .	Salah satu yang menarik adalah bahwa software ini dapat adaptasi dengan bahasa program MATLAB dan memiliki fitur untuk analisis regresi dengan fitur yang bisa disesuaikan dengan kebutuhan dengan basis MATLAB.

87

Pertanyaan Bab 4

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan data univariat dan multivariat?
2. Jelaskan perbedaan analisis data univariat dan multivariat!
3. Jelaskan beberapa definisi kemometrika?
4. Mengapa proses perbaikan spektra sering digunakan untuk analisis spektra di *NIR spectroscopy* portabel?
5. Sebutkan dan jelaskan beberapa metode perbaikan data spektra!
6. Apa perbedaan metode klasifikasi terbimbing dan tidak terbimbing?

Sebutkan masing-masing contohnya!

7. Sebutkan beberapa contoh perangkat lunak analisis spektroskopi yang tersedia secara komersial!

Pustaka Bab 4

Bab 5

KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU BUAH- BUAHAN MENGGUNAKAN *NIR* *SPECTROSCOPY* PORTABEL

Tujuan Perkuliahan:

Setelah perkuliahan di Bab 5 ini maka mahasiswa diharapkan dapat:

1. Memahami dan menjelaskan proses kuantifikasi kandungan padatan terlarut (KPT) menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.
2. Memahami dan menjelaskan proses kuantifikasi kandungan bahan kering (BK) menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.
3. Memahami dan menjelaskan proses kuantifikasi keasaman (*acidity*) menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.
4. Menjelaskan relasi antara koefisien regresi dan panjang gelombang pada model regresi PLS.
5. Menjelaskan proses evaluasi model regresi PLS.

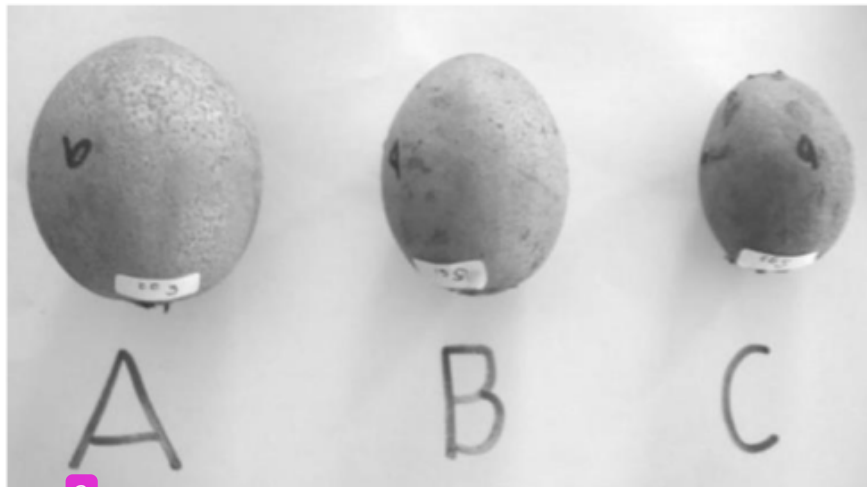
Di Bab 5 ini secara detail diperlihatkan capaian penelitian yang telah dilakukan khususnya terkait dengan proses kuantifikasi beberapa atribut mutu beberapa buah di Indonesia secara tidak merusak menggunakan teknologi *NIR spectroscopy* portabel yang dilakukan di Jurusan Teknik Pertanian (TEP) Universitas Lampung selama periode 2008 hingga 2010. Tiga atribut mutu buah-buahan yang menjadi fokus yaitu kandungan padatan terlarut (KPT), kandungan bahan kering (BK) dan keasaman (*acidity*). Buah yang diteliti meliputi buah sawo, nenas, alpukat, mangga Indramayu, mangga Harum Manis, jeruk BW dan salak Pondoh. Hasil-hasil penelitian berikut ini telah memberikan landasan yang cukup untuk mengembangkan sistem evaluasi atribut mutu buah-buahan secara tidak merusak berbasis *NIR spectroscopy* portabel di Indonesia. Harga instrumentasi NIR yang semakin terjangkau juga membuat proses hilirisasi teknologi ini semakin dimungkinkan di masa yang akan datang.

5.1. Kuantifikasi KPT Buah-Buahan

a. Buah Sawo (*Achras zapota L*)

Buah sawo merupakan salah satu buah andalan Provinsi Lampung yang terus dikembangkan untuk pasar ekspor. Rasanya yang manis dan segar membuat buah sawo sangat digemari oleh konsumen. Kualitas buah sawo sangat ditentukan oleh rasa manis (kandungan padatan terlarut/KPT). Saat ini alat yang tersedia dan umum digunakan untuk mengukur KPT buah sawo adalah refraktometer.

Penelitian penentuan KPT buah sawo menggunakan *NIR spectroscopy* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer NIR portabel (USB4000) (Suhandy, 2009a). Pada penelitian tersebut digunakan buah sawo (*Achras zapota L*) sebanyak 110 buah terdiri atas tiga tingkat kemasakan yaitu masak 1 (berukuran besar), masak 2 (berukuran sedang) dan masak 3 (berukuran kecil). Perbedaan ketiga tingkat kemasakan terutama didasarkan pada perbedaan ukuran buah seperti terlihat di Gambar 5.1.

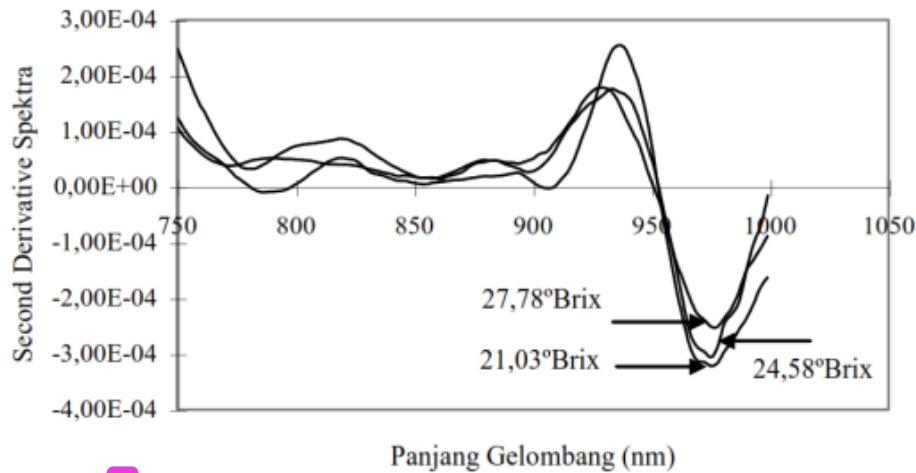


Gambar 5.1 Tiga tingkat kemasakan buah sawo: masak 1 (A), masak 2 (B) dan masak 3 (C) (Suhandy, 2009a).

Spektra buah sawo diambil dengan parameter: waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning to average* sekitar 50 *scans*. Setiap sampel diambil spektranya di dua titik berbeda. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk proses pengambilan spektra adalah 10 000 ms atau 10 s atau 10 detik/sampel.

Gambar 5.2 menunjukkan spektra NIR buah sawo untuk *Savitzky-Golay second derivative* spektra dengan tiga tingkat KPT yaitu tinggi (27.78°Brix), sedang (24.58°Brix), dan rendah (21.03°Brix) yang diambil dengan teknik *interactance mode*. Perbedaan spektra akibat perbedaan nilai KPT terlihat secara jelas pada Gambar 5.2. Perbedaan cukup jelas terjadi salah satunya di sekitar panjang gelombang 970 nm. Panjang

gelombang ini sangat berkorelasi kuat dengan tingkat absorbansi air. Hal ini dapat dipahami karena air merupakan salah satu komponen terbesar dalam penyusunan KPT.



Gambar 5.2 *Second derivative* spektra NIR buah sawo dengan tiga tingkatan KPT (Suhandy, 2009a).

Persamaan kalibrasi untuk penentuan KPT dibangun dengan menggunakan teknik regresi *partial least squares* (PLS). Persamaan kalibrasi dapat digunakan untuk menduga kandungan padatan terlarut (KPT) buah sawo dengan koefisien korelasi (r) antara nilai KPT aktual dan prediksi sebesar 0.92, *standard error of calibration* (SEC) sebesar 1.03%, *standard error of prediction* (SEP) sebesar 1.17%, dan bias sebesar 0.08% (Suhandy, 2009a).

b. Buah Nenas (*Ananas comosus* var. *Smooth Cayenne*)

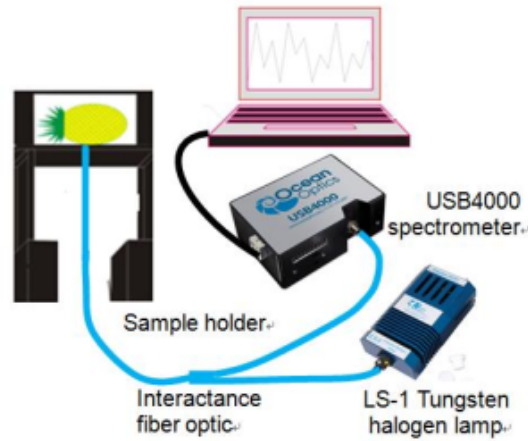
Buah nenas merupakan salah satu produk buah Indonesia yang menjadi andalan ekspor. Saat ini Indonesia menjadi negara ketiga terbesar penghasil nenas olahan dan segar setelah negara Thailand dan Filipina.

Pengukuran KPT secara tidak merusak juga berhasil dilakukan untuk buah nenas. Sebanyak 42 sampel buah nenas varietas *Smooth Cayenne* dengan tiga tingkat kematangan yang berbeda digunakan sebagai sampel yaitu 50% masak, 75% masak dan 100% masak (lihat Gambar 5.3). Spektra buah nenas diambil menggunakan NIR probe seperti tampak di Gambar 5.4. Parameter yang digunakan adalah waktu integrasi sebesar 100 ms dan jumlah *scans* to average sebesar 50 *scans*. Spektra diambil di empat titik berbeda sehingga total waktu untuk pengambilan spektra adalah 20 detik per sampel.

Untuk membuat model kalibrasi maka KPT buah nenas terlebih dahulu diukur secara tidak merusak menggunakan refraktometer digital (Model IPR 201, Atago, Japan) dengan sebaran nilai KPT buah nenas diperoleh sebesar 11.25~18.44 %Brix untuk sampel kalibrasi dan 11.87~17.89 %Brix untuk sampel validasi (Suhandy, 2009b).

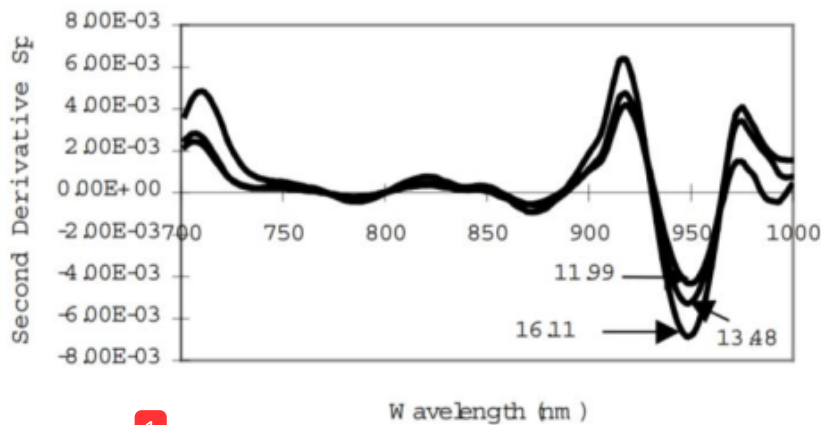


Gambar 5.3 Tiga tingkat kematangan sampel buah nenas (dari kiri ke kanan: masak 50%, masak 75% dan masak 100%).



Gambar 5.4 Sistem pengambilan spektra buah nenas menggunakan NIR portabel.

Gambar 5.5 menunjukkan spektra rata-rata *second derivative* buah nenas dengan tiga level nilai Brix (rendah, sedang dan tinggi). Perbedaan kandungan KPT buah nenas terlihat jelas di panjang gelombang 950 nm yang berkorelasi dengan absorbansi air.



Gambar 5.5 Spektra *second derivative* sampel buah nenas (rata-rata) dengan nilai KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2009b).

Model kalibrasi penentuan KPT buah nenas dibangun menggunakan regresi PLS dan model terbaik diperoleh untuk tipe spektra *moving average smoothing* (jumlah segmen 5) di interval 700-960 nm dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.94 (ata koefisien korelasi sebesar $r = 0.97$), *standard error of calibration* (SEC) sebesar 0.47% , *standard error*

of prediction (SEP) sebesar 0.88% dan *bias* sebesar 0.40% (Suhandy, 2009b). Beberapa panjang gelombang penting yang berkontribusi tinggi pada penentuan KPT buah nenas berhasil teridentifikasi yaitu panjang gelombang 757 nm (berkorespondensi dengan absorbansi air), dan panjang gelombang 870 nm dan 882 nm (berkorespondensi dengan absorbansi karbohidrat dan turunannya seperti tepung, sukrosa, fruktosa dan glukosa sebagai komponen penting penyusun KPT (Ho & Hewitt, 1986). Hasil penelitian penentuan KPT buah nenas dengan panjang gelombang penting di 870 nm dan 888 nm sejalan dengan penelitian sebelumnya. Penentuan KPT buah tomat menggunakan panjang gelombang 884 nm (Khuriyati & Matsuoka, 2004) dan penentuan KPT buah mangga dengan panjang gelombang 878 nm (Saranwong *et al.*, 2003).

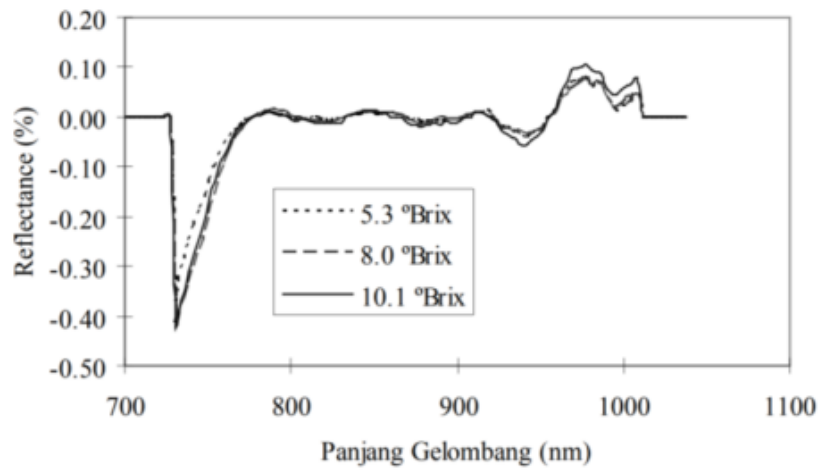
2 Buah Jeruk BW (*Citrus sp. var. chokun BW*)

Buah jeruk (*Citrus sp. var. chokun BW*) yang banyak dibudidayakan di Propinsi Lampung merupakan salah satu produk unggulan daerah yang sangat potensial untuk dikembangkan dan diarahkan untuk keperluan ekspor. Hanya saja untuk keperluan ekspor maka buah jeruk tersebut harus memenuhi standar ekspor seperti tingkat kemanisan yang tinggi dan seragam. Selama ini pengukuran KPT masih menggunakan refraktometer secara merusak.

2 Penentuan KPT buah jeruk BW menggunakan *NIR spectroscopy* telah berhasil dilaporkan (Suhandy, 2010). Sebanyak 86 buah jeruk digunakan untuk penelitian ini. Buah jeruk tersebut terdiri atas tiga tingkat kematangan dengan tujuan untuk mendapatkan rentang nilai KPT yang lebar. Perbedaan tingkat kematangan didasarkan kepada ukuran buah yang dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu besar, sedang dan kecil.

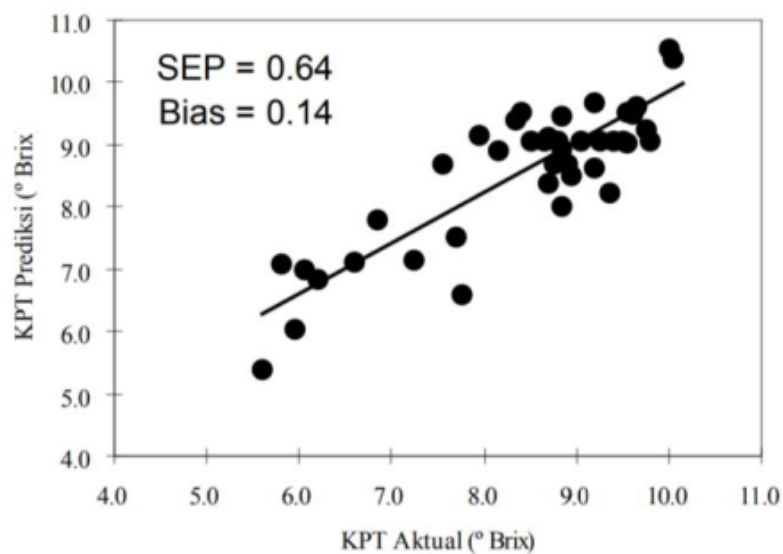
2 Pengambilan spektra dilakukan pada kondisi waktu integrasi 180 ms. Spektra yang diperoleh merupakan rata-rata dari 5 buah spektra (*scanning to average 5 scans*). Sebelum pengambilan spektra sampel dilakukan, spektra *dark* dan *reference* diambil masing-masing sebanyak satu kali. Spektra *dark* merupakan spektra yang diambil tanpa sampel dan tanpa cahaya. Ini dilakukan dengan cara memblok sumber cahaya. Spektra *reference* merupakan spektra yang diambil dengan menggunakan *reference (diffuse reflectance standard* model WS-1, Ocean Optics USA) sebagai sampel. Pengukuran spektra dilakukan pada dua posisi untuk setiap sampel dengan teknik *diffuse reflectance*.

KPT yang diperoleh untuk sampel kalibrasi adalah 5.3~10.1% Brix sedangkan untuk sampel validasi rentang KPT yang diperoleh adalah 5.6~10.2% Brix. Spektra buah jeruk BW dengan perbedaan KPT ditunjukkan di Gambar 5.6 dalam bentuk persentase *reflectance* (%).



Gambar 5.6 Spektra *reflectance* rata-rata buah jeruk BW dengan tiga level kandungan Brix (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2010).

Model regresi PLS terbaik untuk kuantifikasi KPT buah jeruk BW diperoleh untuk spektra *smoothing* di interval 700-990 nm dengan $R^2=0.92$ dengan $SEC=0.36\%$ dan $SEP=0.64\%$. Model ini memiliki $RPD=2.03$ dan $bias=0.14\%$. Dengan uji *t-test* dapat dibuktikan bahwa parameter KPT aktual buah jeruk BW yang diukur dengan refraktometer dan parameter KPT buah jeruk BW prediksi yang dihitung menggunakan *NIR spectroscopy* adalah tidak berbeda secara nyata seperti ditunjukkan di Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Plot KPT aktual dan prediksi buah jeruk BW (Suhandy, 2010).

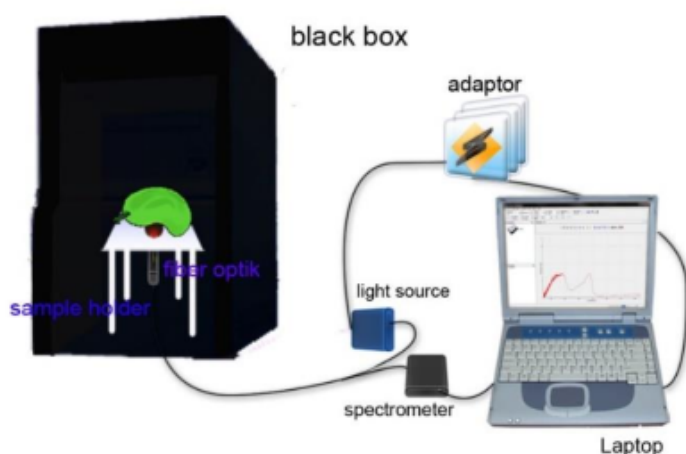
d. Buah Mangga Indramayu (*Mangifera indica* var. *Indramayu*)

Indonesia juga dikenal sebagai salah satu penghasil buah mangga terbaik salah satunya jenis mangga Indramayu. Penentuan KPT buah mangga Indramayu secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* telah

dilaporkan dengan hasil dapat diterima. Sebanyak 92 buah mangga Indramayu digunakan sebagai sampel (Suhandy *et al.*, 2008a).

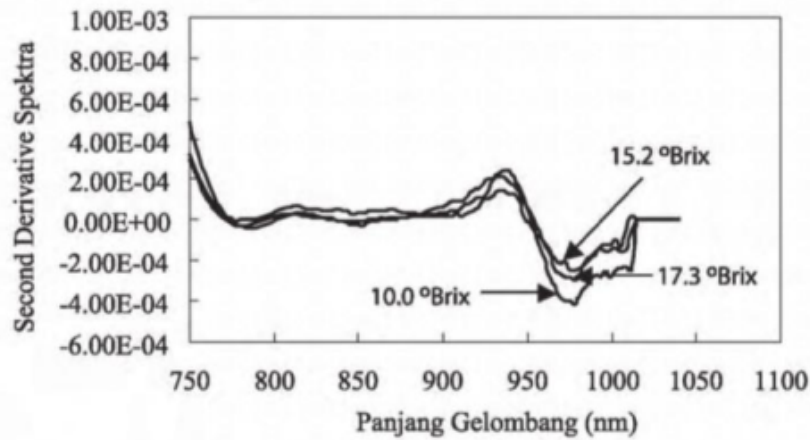
Sistem pengambilan spektra buah mangga Indramayu yang dilengkapi dengan kotak hitam (*black box*) seperti terlihat di Gambar 5.8. Kotak hitam digunakan untuk mencegah adanya cahaya nyasar atau *stray light* dari lingkungan. Cahaya ini harus dicegah masuk selama proses pengukuran spektra berlangsung. Salah satu yang dapat dilakukan adalah menggunakan kotak hitam dan pengambilan spektra dilakukan di dalam kotak hitam. Pengambilan spektra dilakukan pada enam posisi untuk setiap sampel dengan teknik *diffuse reflectance* pada kondisi waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning* sebesar 50 scans.

KPT secara merusak diukur dengan menggunakan Atago digital refraktometer (IPR 201, Tokyo, Jepang). KPT yang diperoleh adalah 10.0~17.3 °Brix untuk sampel kalibrasi dan 11.2~17.8 °Brix untuk sampel validasi.



Gambar 5.8 Sistem pengambilan spektra sampel buah mangga Indramayu yang dilengkapi kotak hitam.

Gambar 5.9 merupakan spektra rata-rata *second derivative* buah mangga Indramayu dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) tepatnya terlihat di titik panjang gelombang 970 nm yang berkorelasi dengan absorbansi air.



Gambar 5.9 Spektra rata-rata *second derivative* buah mangga Indramayu dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy *et al.*, 2008a).

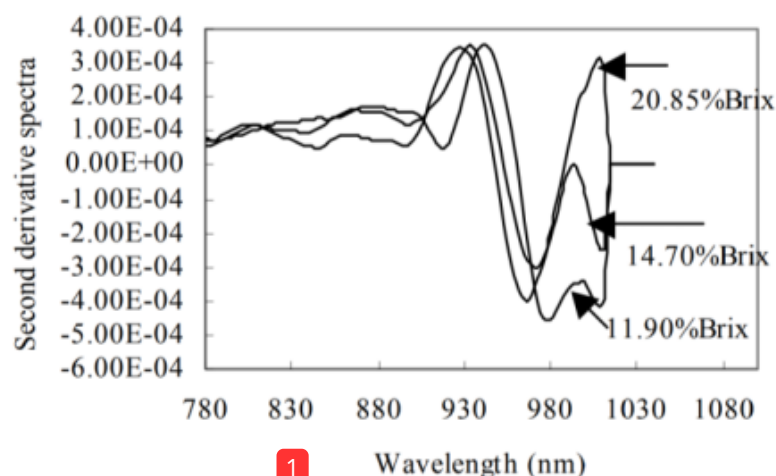
Model kalibrasi PLS terbaik untuk penentuan KPT buah mangga Indramayu menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dengan menggunakan spektra *second derivative* di interval 700-980 nm dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.91. Model kalibrasi ini memiliki nilai $SEC=0.60\%$ dan $SEP = 0.74\%$ dan $bias = 0.02\%$.

e. Buah Salak Pondoh (*Salacca Edulis Reinw*)

Satu lagi buah eksotik khas Indonesia yang berpotensi ekspor adalah buah salak pondoh (*Salacca Edulis Reinw*). Buah salak bisa menjadi alternatif pangan sumber diet yang kaya dengan senyawa anti-oksidan (Gorinstein *et al.* 2009). Untuk memperluas pasar ekspor maka buah salak yang dipasarkan harus memiliki keseragaman mutu salah satunya keseragaman dalam atribut mutu KPT. Untuk itulah dibutuhkan sebuah sistem pengukuran KPT buah salak secara tidak merusak.

Penentuan KPT buah salak pondoh secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* portabel berhasil dilakukan. Sampel buah salak pondoh sebanyak 100 buah digunakan dengan nilai KPT 12.10~20.15 %Brix untuk sampel kalibrasi dan 12.00~20.10 %Brix untuk sampel validasi. Spektra buah salak diambil menggunakan spektrometer portabel dengan waktu integrasi 100 ms dan jumlah scanning 50 scans. Sehingga total waktu yang diperlukan untuk satu kali pengambilan data spektra buah salak adalah 5000 ms atau 5 s atau 5 detik. Untuk setiap sampel buah salak dilakukan 2 kali pengambilan spektra pada dua titik yang berbeda kemudian diratakan. Sehingga total waktu yang diperlukan untuk proses pengambilan data spektra untuk setiap sampel adalah 10 s atau 10 detik.

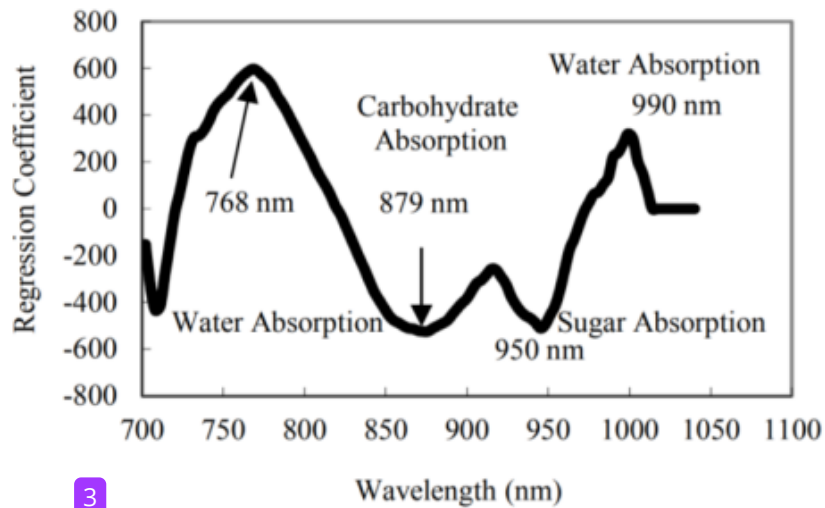
Gambar 5.10 merupakan spektra rata-rata *second derivative* buah salak dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi). Perbedaan terlihat di absorbansi dengan panjang gelombang 980 nm yang berkorelasi dengan absorbansi air.



Gambar 5.10 Spektra rata-rata *second derivative* buah salak dengan tiga KPT berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy *et al.*, 2010).

Model kalibrasi terbaik untuk penentuan KPT buah salak diperoleh menggunakan spektra *second derivative* pada interval 700-1040 nm. Model ini memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.90 (atau koefisien korelasi sebesar $r = 0.95$ dengan $SEC=0.88\%$, $SEP=0.92\%$ dan bias= 0.08% (Suhandy *et al.*, 2010).

Untuk identifikasi panjang gelombang dengan kontribusi besar terhadap penentuan KPT buah salak pondoh maka dibuat plot panjang gelombang di sumbu-x dan *regression coefficients* di sumbu-y. panjang gelombang dengan *regression coefficients* tinggi merupakan panjang gelombang yang penting dan berkontribusi terhadap penentuan KPT buah salak. Plotnya seperti dapat dilihat di Gambar 5.11. Beberapa panjang gelombang penting dengan nilai koefisien regresi yang tinggi berhasil teridentifikasi misalnya panjang gelombang 768 nm yang berkorelasi dengan absorbansi air, panjang gelombang 879 nm yang berkorelasi dengan absorbansi senyawa karbohidrat, panjang gelombang 950 nm yang berkorelasi dengan absorbansi senyawa gula dan panjang gelombang 990 nm yang berkorelasi dengan absorbansi senyawa air.



Gambar 5.11 Plot koefisien regresi versus panjang gelombang untuk penentuan KPT buah salak (Suhandy *et al.*, 2010).

Sebagai ringkasan maka kuantifikasi atribut mutu KPT untuk buah-buahan Indonesia menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dapat dirangkum di Tabel 5.1. Setiap buah memiliki karakteristik pengambilan spektra yang berbeda dan kualitas model kalibrasi yang berbeda. Namun demikian secara umum dapat dikatakan bahwa proses pengambilan rata-rata 5 detik per sampel dengan model kalibrasi dapat diterima di mana koefisien korelasi (r) di atas 0.90 dan SEC, SEP dan *bias* nilainya rendah.

Tabel 5.1 Model kalibrasi PLS untuk penentuan KPT beberapa buah menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

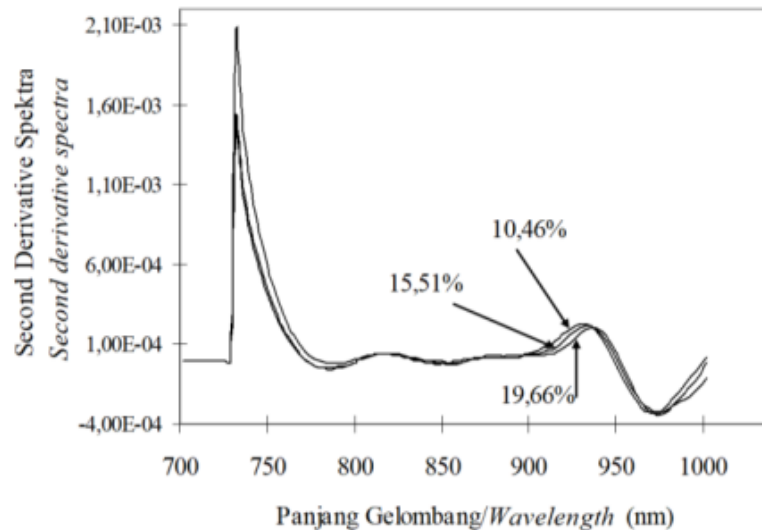
Komoditas Buah	Kondisi pengambilan spektra			Kualitas model kalibrasi			
	Waktu integrasi (ms)	Jumlah scanning (scan)	Waktu pengambilan (detik)	r	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
Sawo	100	50	10	0.92	1.03	1.17	0.08
Nenas	100	50	20	0.97	0.47	0.88	0.40
Mangga	100	50	30	0.91	0.60	0.74	0.02
Jeruk BW	180	5	1.8	0.96	0.36	0.64	0.14
Salak Pondoh	100	50	10	0.95	0.88	0.92	0.08

5.2. Pengukuran Bahan Kering Buah-Buahan

a. Buah Mangga Indramayu (*Mangifera indica* var. *Indramayu*)

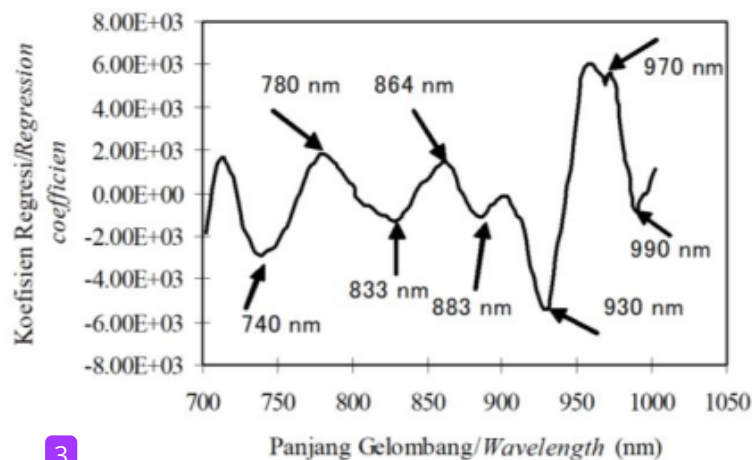
Di Indonesia, *NIR spectroscopy* portabel telah digunakan untuk kuantifikasi kandungan bahan kering atau DMC (*dry matter content*) atau bahan kering (BK) buah mangga Indramayu dengan hasil dapat diterima (Suhandy *et al.*, 2008b). Sebanyak 74 buah mangga (*Mangifera indica* var. *Indramayu*) digunakan pada penelitian penentuan DMC menggunakan *NIR spectroscopy*. Spektra diambil menggunakan spektrometer portabel dengan waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning to average 50 scans* di dua titik berbeda.

Nilai DMC atau BK diukur dengan metode oven. Untuk sampel kalibrasi nilai DMC berkisar antara 10.46~23.89% sedangkan untuk sampel validasi nilai DMC berkisar antara 11.49~21.49%. Spektra *second derivative* NIR buah mangga dengan tiga tingg³ DMC, yaitu tinggi (19.66%), sedang (15.51%) dan rendah (10.46%) yang diambil dengan teknik *interactance mode* dapat dilihat pada Gambar 5.12. Dari Gambar 5.12 terlihat perbedaan spektra akibat perbedaan nilai DMC atau bahan kering (BK).



Gambar 5.12 Spektra rata-rata *second derivative* buah mangga Indramayu dengan tiga kandungan bahan kering yang berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy *et al.*, 2008b).

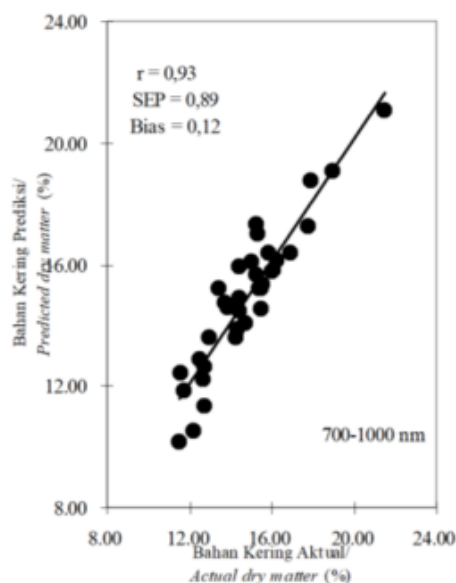
Persamaan kalibrasi PLS untuk pen²entuan DMC secara tidak merusak dibangun menggunakan regresi PLS dengan panjang gelombang 700-1000 nm untuk *second derivative* spektra. Persamaan kalibrasi⁵ LS terbaik diperoleh dengan koefisien korelasi tinggi sebesar 0.93, nilai SEC = 0.93%, nilai SEP = 0.89% serta nilai bias rendah (bias = 0.12%). Perbedaan antara SEC dan SEP juga kecil menunjukkan tidak terjadinya *over-fitting*.



Gambar 5.13 Plot koefisien regresi versus panjang gelombang untuk pen³entuan bahan kering buah mangga Indramayu (Suhandy *et al.*, 2008b).

Gambar 5.13 memperlihatkan adanya beberapa koefisien regresi yang cukup dominan di antaranya pada panjang gelombang 740 nm, 780 nm, 833 nm, 864 nm, 883 nm, 970 nm dan 990 nm. Panjang gelombang 850 nm, 833 nm dan 970 nm berkorelasi dengan absorbansi air (Kawano *et al.*, 1995; Osborne *et al.*, 1993; Suhandy *et al.*, 2006). Panjang gelombang 990 nm merupakan salah satu panjang gelombang yang tingkatan energinya berkorelasi dengan struktur molekul karbohidrat, yang merupakan penyusun utama bahan kering (Osborne *et al.*, 1993).

Gambar 5.14 menunjukkan *scatter plot* antara bahan kering aktual dan bahan kering prediksi pada rentang panjang gelombang 700–1000 nm untuk spektra *second derivative*. Uji signifikansi level dengan 90% tingkat kepercayaan menunjukkan bahwa bahan kering atau DMC aktual yang diukur menggunakan refraktometer dan bahan kering prediksi yang dihitung dengan *NIR spectroscopy* adalah tidak berbeda secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi PLS untuk penentuan bahan kering atau DMC buah mangga secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* dapat terbangun dengan baik.



Gambar 5.14 *Scatter plot* antara bahan kering aktual dan bahan kering prediksi pada rentang panjang gelombang 700–1000 nm untuk spektra *second derivative* (Suhandy *et al.*, 2008b).

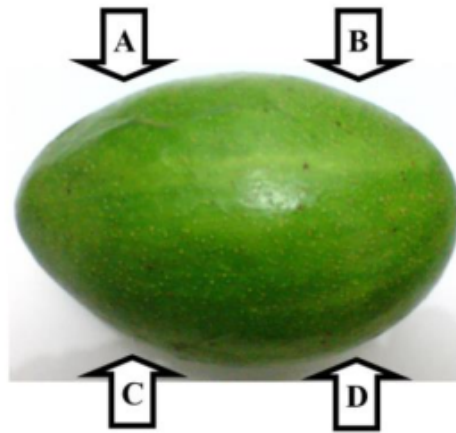
b. Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.)

Pengukuran bahan kering (BK) juga diujicobakan untuk buah alpukat. Alpukat merupakan salah satu buah tropis yang harganya relatif stabil dan digemari di Indonesia. Sebanyak 100 buah alpukat dengan dua tingkat kemasakan digunakan pada penelitian ini yaitu alpukat muda dan alpukat tua seperti terlihat di Gambar 5.15. Pemilihan tingkat kemasakan dilakukan dengan menggunakan parameter ukuran buah dan warna permukaan kulit buah alpukat.



Gambar 5.15 Sampel buah alpukat dengan dua tingkat kematangan tua (kiri) dan muda (kanan).

1 Spektra NIR buah alpukat diambil dengan teknik *interactance* dengan waktu integrasi 100 ms dan jumlah scan per spektra 30 scans. Pengambilan spektra dilakukan pada 4 titik untuk setiap sampel seperti 1 mapak di Gambar 5.16. Spektra yang digunakan hanya spektra NIR yaitu dari panjang gelombang 700 – 1040 nm. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan spektra adalah $100 \times 30 \times 4 = 12000$ ms = 12 s atau 12 detik per sampel.



Gambar 5.16 Posisi pengambilan spektra buah alpukat di empat titik berbeda.

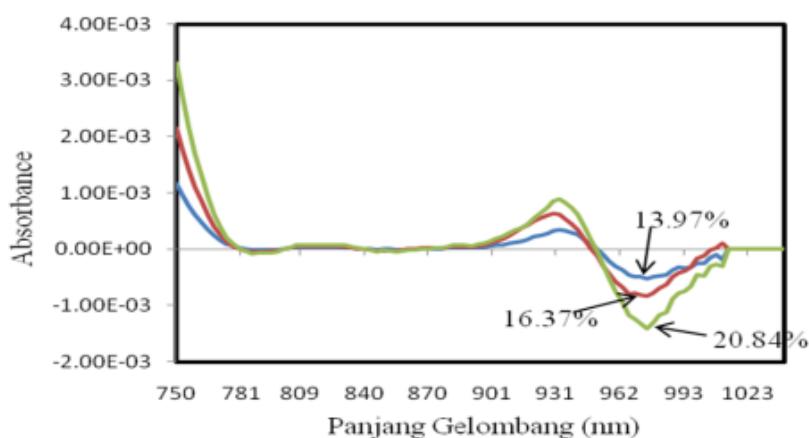
Segera setelah pengambilan spektra selesai kemudian dilakukan pengukuran bahan kering (BK) buah alpukat. Pengukuran BK buah alpukat pada penelitian ini secara mekanis, buah alpukat diambil dagingnya tepat di titik pengambilan spektra dengan ukuran panjang 3 cm, lebar 3 cm dan tebal 2 cm kemudian diletakkan dalam cawan.

Setelah terlebih dahulu ditimbang agar diketahui berat awalnya daging buah alpukat tersebut iris tipis untuk memudahkan pengeringan dan kemudian dikeringkan menggunakan oven listrik model EYELA WFO-700 (tiga tray) yaitu selama 84 jam dengan suhu konstan 70°C. Dari hasil penelitian didapat sebaran nilai bahan kering buah alpukat yang diukur

secara merusak (*destructive*) adalah 13.50% hingga 20.84% dengan nilai rata-rata 16.27%. Secara lengkap data bahan kering buah alpukat untuk sampel kalibrasi dan sampel validasi dapat dilihat di Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan BK buah alpukat.

	Sampel kalibrasi	Sampel validasi
Jumlah sampel	50	50
Rentang nilai	13.97~20.84	13.50~20.34
Rataan	16.29	16.25
Standar deviasi	1.52	1.58
Unit	% BK	% BK



Gambar 5.17 Spektra *second derivative* pada gelombang 750-1040 nm buah alpukat dengan nilai bahan kering berbeda (rendah, sedang dan tinggi).

Gambar 5.17 menunjukkan spektra *second derivative* sampel buah alpukat dengan berbagai nilai BK yaitu BK tinggi (20.84%), sedang (16.37%), dan rendah (13.97%). Spektra *second derivative* diambil karena spektra tersebut dapat menghilangkan perbedaan yang terjadi karena sifat fisik buah seperti ukuran, permukaan buah, berat dan warna, sehingga perbedaan yang terjadi pada data spektra sepenuhnya terjadi hanya karena adanya perbedaan kandungan komponen penyusun bahan biologik seperti BK buah alpukat.

Model regresi PLS untuk kuantifikasi BK buah alpukat menggunakan *NIR spectroscopy* dibangun menggunakan regresi PLS untuk spektra original, *smoothing* dan *second derivative*. Model terbaik diperoleh untuk *smoothing* spektra dengan interval 750-1040 nm dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.77 atau koefisien korelasi (s) sebesar 0.88 dengan $SEC=0.72\%$, $SEP=0.82\%$ dan $bias=0.07\%$.

1 Buah Sawo (*Achras zapota L*)

Penentuan bahan kering buah sawo menggunakan *NIR spectroscopy* portabel berhasil dilakukan (Suhandy, 2008). Sebanyak 100 sampel buah sawo segar diperoleh dari kebun petani di daerah Kalangan Lampung Timur, Provinsi Lampung. Seluruh sampel memiliki kulit buah bersih dari kecacatan, bercak jamur atau penyakit. Spektra buah sawo dilakukan dengan parameter: waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning to average* 50 scans dengan dua titik pengambilan spektra untuk setiap sampel.

1 Analisis kimia meliputi pengukuran nilai BK (bahan kering) buah sawo dengan menggunakan oven listrik model EYELA WFO 700 (3 tray). Untuk keperluan analisis BK, buah sawo diambil bagian dagingnya sebanyak empat potong tepat di bagian titik pengambilan spektra untuk menghasilkan data empat kali ulangan pada setiap parameter yang diukur. Data yang dipakai dalam perhitungan adalah rata-rata dari keempat titik yang diambil tersebut.

Untuk prosedur pengukuran BK yang dilakukan adalah cawan petri diletakkan dalam mesin pengering listrik (*electric oven drying*) model EYELA WFO – 700 (3 tray) selama 1 jam agar dalam kondisi kering. Setelah itu cawan petri diukur beratnya dengan menggunakan timbangan digital (model HL-3000 Hansen). Cawan petri dimasukkan dalam desikator. Kemudian daging buah diletakkan di dalam cawan petri. Sampel dan cawan petri diukur beratnya menggunakan timbangan digital kemudian sampel dan cawan petri diletakkan dalam mesin pengering oven listrik (*electric oven drying*) selama 120 jam sampai beratnya konstan dengan suhu 70°C. Setelah itu sampel dan cawan dimasukkan dalam desikator dan kemudian diukur beratnya dengan menggunakan timbangan digital.

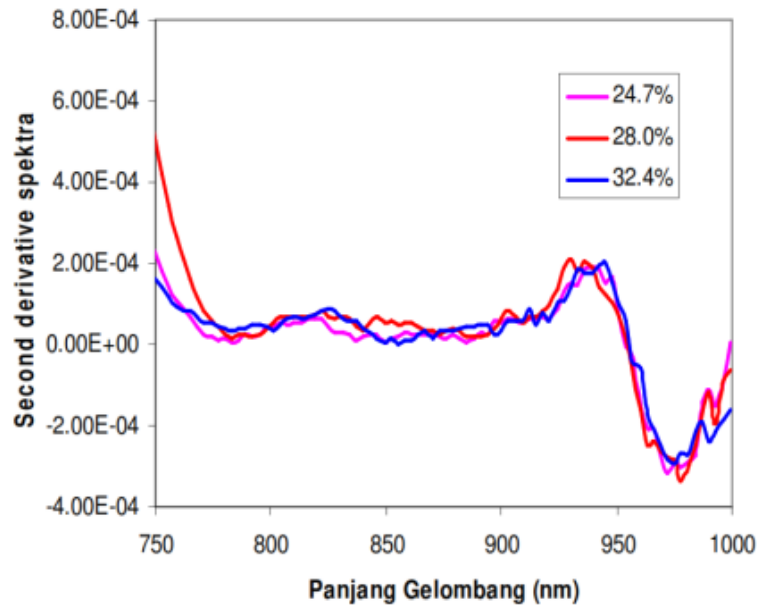
Satuan BK akan dinyatakan sebagai persen (%) basis basah yaitu dengan membagi bahan kering dengan bahan awal (bahan kering + air) dikali 100%. Data BK yang diperoleh kemudian dibagi menjadi dua set sampel yaitu sampel kalibrasi dan sampel validasi. Karakteristik statistik BK kedua kelompok sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3.

3 Tabel 5.3 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan BK buah sawo (Suhandy, 2008).

	Sampel kalibrasi	Sampel validasi
Jumlah sampel	48	42
Rentang nilai	24.71~32.43	24.88~32.07
Rataan	28.89	28.52
Standar deviasi	1.76	1.61
Unit	% BK	% BK

1

Spektra *second derivative* buah sawo yang diambil dengan teknik *diffuse reflectance* dengan nilai BK tinggi (32.4%), sedang (28.0%), dan rendah (24.7%) dapat dilihat pada Gambar 5.18.

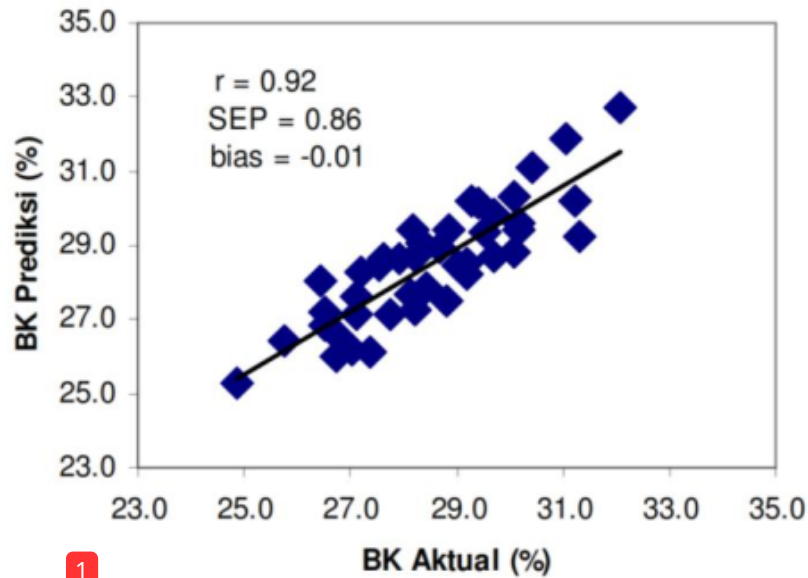


Gambar 5.18 Spektra *second derivative* buah sawo yang diambil dengan teknik *diffuse reflectance* dengan berbagai nilai BK yang berbeda (Suhandy, 2008).

1

Model kalibrasi pada panjang gelombang 700 – 990 nm untuk original spektra menghasilkan model kalibrasi yang terbaik dengan nilai koefisien korelasi $r = 0.92$. Model kalibrasi tersebut juga memiliki SEC dan SEP yang rendah yaitu masing-masing $SEC = 0.68\%$ dan $SEP = 0.86\%$. Nilai RPD dan faktor pada model kalibrasi tersebut memiliki nilai yang tinggi yaitu $RPD = 1.87$, dan $F = 8$, sedangkan bias pada model tersebut cukup rendah yaitu -0.01% .

Gambar 5.19, menunjukkan *scatter plot* antara BK aktual dan BK prediksi. Spektra original pada panjang gelombang 700-990 nm memiliki nilai SEP dan bias yang rendah dengan koefisien korelasi sebesar 0.92. Uji taraf kepercayaan dengan 90% tingkat kepercayaan menunjukkan bahwa BK aktual yang diukur menggunakan metode *oven drying* dan BK prediksi yang dihitung dengan *NIR spectroscopy* adalah tidak berbeda secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa BK aktual dan BK prediksi tidak berbeda nyata. Sehingga penentuan BK secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* juga dapat terbangun dengan baik.



Gambar 5.19 **1** Scatter plot antara aktual dan prediksi BK buah sawo pada original spektra di interval 700-990 nm (Suhandy, 2008).

Tabel 5.4 meringkas model kalibrasi PLS yang berhasil dibangun untuk mengkuantifikasi bahan kering (BK) beberapa buah asal Indonesia. Total waktu pengambilan spektra tiap sampel 10~12 detik saja dengan koefisien korelasi 0.88~0.93. Performansi model kalibrasi untuk kuantifikasi bahan kering (BK) buah asal Indonesia menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dapat diandalkan dengan SEC, SEP dan bias yang rendah.

Tabel 5.4 **1** Model kalibrasi PLS untuk penentuan bahan kering (BK) beberapa buah menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

Komoditas Buah	Kondisi pengambilan spektra			Kualitas model kalibrasi			
	Waktu integrasi (ms)	Jumlah scanning (scan)	Waktu pengambilan (detik)	r	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
Mangga	100	50	10	0.93	0.93	0.89	0.12
Alpukat	100	30	12	0.88	0.72	0.82	0.07
Sawo	100	50	10	0.92	0.68	0.86	-0.01

5.3. Pengukuran Keasaman Buah-Buahan

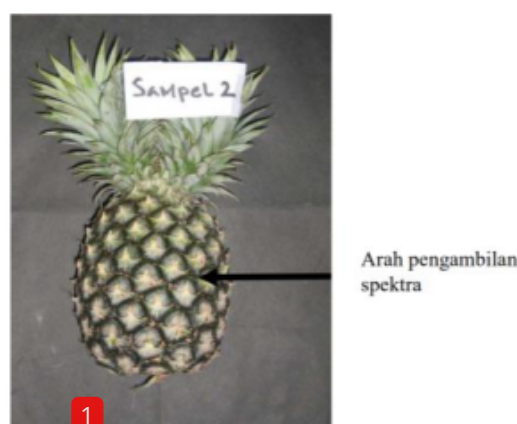
Saat ini metode tidak merusak yang bisa diandalkan untuk mengkuantifikasi keasaman buah-buahan adalah menggunakan *NIR spectroscopy*. Meskipun akurasi masih belum memuaskan karena terkendala dengan kandungan keasaman buah yang relatif sedikit dalam buah-buahan sehingga *NIR spectroscopy* sulit mendeteksinya, penelitian yang dilakukan sejauh ini menunjukkan potensi *NIR spectroscopy* sebagai metode tidak merusak untuk kuantifikasi keasaman buah-buahan seperti buah tomat (Pedro & Ferreira 2007), buah kiwi (Moghimi *et al.*, 2010),

buah nenas (Suhandy, 2007), buah mangga (Schmilovitch *et al.*, 2000), buah apel (Jha & Garg, 2010), buah jeruk (Yuan *et al.*, 2015) dan buah pisang (Jaiswal *et al.*, 2012).

1. Buah Nenas (*Ananas comosus var. Smooth Cayenne*)

Buah nenas merupakan salah satu buah tropik yang populer dan saat ini menjadi salah satu buah unggulan di Provinsi Lampung. Di Provinsi Lampung, buah nenas dibudidayakan secara intensif dan diolah dalam bentuk nenas kaleng (*sliced pineapple*) dan dipasarkan hingga ke luar negeri. Keasaman (*acidity*) pada buah nenas merupakan salah satu faktor yang menentukan penerimaan konsumen terhadap buah nenas. Selama ini pengukuran level keasaman buah nenas dilakukan secara konvensional dengan merusak produk dan metode titrasi asam-basa yang cukup lama waktu analisisnya dan dengan biaya yang cukup mahal. Ditambah lagi pengukuran keasaman dengan metode titrasi asam-basa juga menghasilkan limbah baik limbah nenas maupun limbah bahan-bahan kimia.

Penelitian kuantifikasi keasaman buah nenas menggunakan *NIR spectroscopy* portabel telah dilaporkan (Suhandy, 2007). Sampel buah nenas yang digunakan sebanyak 148 sampel yang terdiri atas tiga tingkat kemasakan yaitu kemasakan 50%, kemasakan 75% dan kemasakan 100%. Spektra buah nenas diambil menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dengan waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning to average 50 scans*. Pengambilan spektra dilakukan di empat titik dengan arah pengambilan spektra seperti dapat dilihat di Gambar 5.20. Sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk proses pengambilan spektra untuk setiap sampel adalah 20 detik.



Gambar 5.20 Arah pengambilan spektra pada buah nenas.

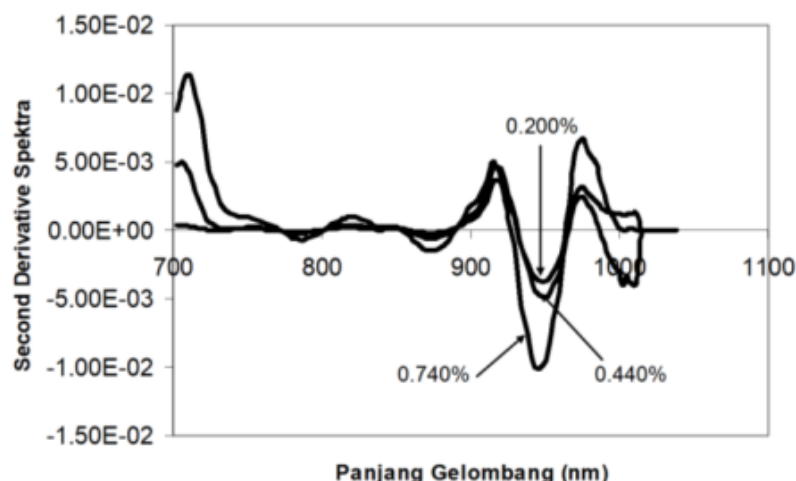
Segera setelah pengambilan spektra selesai kemudian dilanjutkan dengan pengukuran keasaman atau *acidity* secara merusak dengan menggunakan metode titrasi asam-basa. Pengukuran total keasaman dengan metode titrasi menghasilkan nilai keasaman 0.20~0.74% untuk sampel kalibrasi

dan 0.21~0.74% untuk sampel validasi. Secara lengkap data keasaman untuk sampel kalibrasi dan validasi dapat dilihat di Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan keasaman (*acidity*) buah nenas (Suhandy, 2007).

	Sampel kalibrasi	Sampel validasi
Jumlah sampel	64	60
Rentang nilai	0.20~0.74	0.21~0.74
Rataan	0.47	0.46
Standar deviasi	0.104	0.109
Unit	%	%

Gambar 5.21 merupakan spektra NIR buah nenas dengan tiga tingkatan keasaman yang berbeda. Terlihat adanya perbedaan spektra di beberapa titik panjang gelombang seperti pada panjang gelombang 880 nm, 930 nm dan 960 nm. Perbedaan tajam terlihat pada panjang gelombang 960 nm yang berkorelasi dengan absorbansi air.

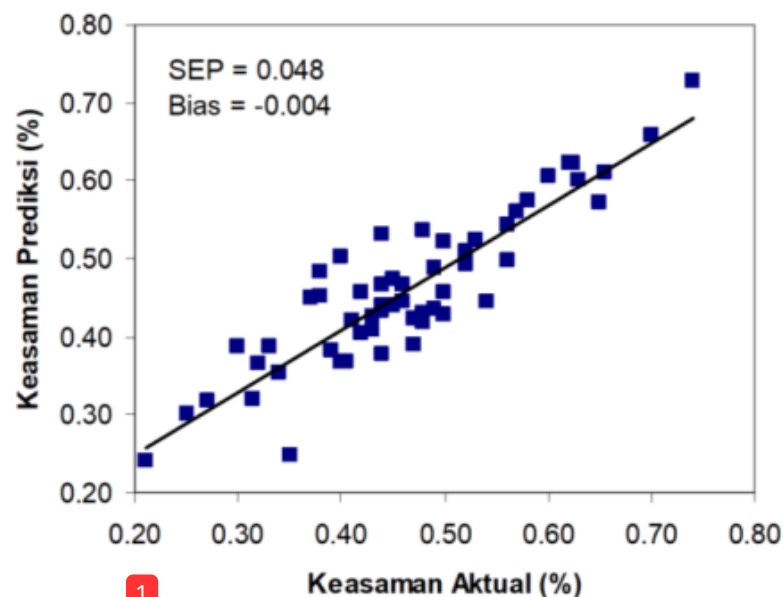


Gambar 5.21 Spektra rata-rata *second derivative* buah nenas dengan keasaman berbeda (rendah, sedang dan tinggi) (Suhandy, 2007).

Model kalibrasi PLS pada panjang gelombang 700-970 nm untuk spektra *second derivative* menghasilkan model kalibrasi yang terbaik dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.95$. Model kalibrasi tersebut juga memiliki SEC dan SEP yang rendah yaitu masing-masing $SEC=0.024\%$ dan $SEP = 0.048\%$. Nilai RPD pada model kalibrasi tersebut memiliki nilai yang tinggi yaitu $RPD = 2.271$. Sedangkan nilai *bias* pada persamaan tersebut cukup rendah yaitu sebesar -0.004% . Hasil yang diperoleh terbukti lebih baik dari yang diperoleh oleh Lammertyn *et al.* (1998), He *et al.* (2005) dan Gómez *et al.* (2006).

Model PLS terbaik digunakan untuk memprediksi keasaman buah nenas secara tidak merusak dan hasilnya dipresentasikan di Gambar 5.22.

Dengan uji *paired t-test* pada taraf kepercayaan 95% yang dilakukan dengan menggunakan SPSS (*Statistical Package for Social Science*) diperoleh bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antara keasaman aktual yang diukur dengan metode titrasi asam basa dan keasaman prediksi yang dihitung menggunakan *NIR spectroscopy* portabel. Sehingga penentuan keasaman secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* portabel juga dapat terbangun dengan baik. Kuantifikasi keasaman secara tidak merusak menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dapat dilakukan dengan hasil dapat diterima.



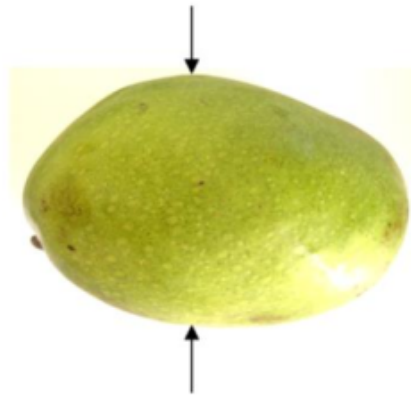
Gambar 5.22 Plot keasaman aktual versus keasaman prediksi buah nenas yang dihitung menggunakan model kalibrasi PLS terbaik (Suhandy, 2007).

b. Buah Mangga Harum Manis (*Mangifera indica* var. *Harum Manis*)

Buah mangga tergolong ke dalam kelompok buah klimakterik di mana buah akan mengalami proses pematangan selama penyimpanan jika dipetik dalam kondisi muda. Oleh karena itu waktu panen memiliki peran penting dalam penentuan kualitas buah mangga. Sebelum buah mangga matang (*ripe*) siap dipanen, buah akan mengalami proses pemasakan (*maturity*). Menurut Kays (1991), pada proses pemasakan tersebut buah akan mengalami perubahan sara fisik dan kimia yaitu perubahan tekstur, pigmentasi dan flavour. Sejumlah peneliti juga berhasil mengidentifikasi proses penurunan tingkat keasaman (*acidity*) buah mangga yang signifikan selama proses pemasakan (Ueda *et.al*, 2000).

Penelitian kuantifikasi keasaman buah mangga Harum Manis sudah dilakukan. Sebanyak 100 sampel buah mangga Harum Manis digunakan pada penelitian ini. Spektra buah mangga diambil menggunakan mode *diffuse reflectance* menggunakan *NIR spectroscopy* portabel dengan dua

titik pengambilan spektra seperti tampak di Gambar 5.23. Setiap spektra diambil menggunakan waktu integrasi 100 ms dan jumlah *scanning to average* 50 scans.



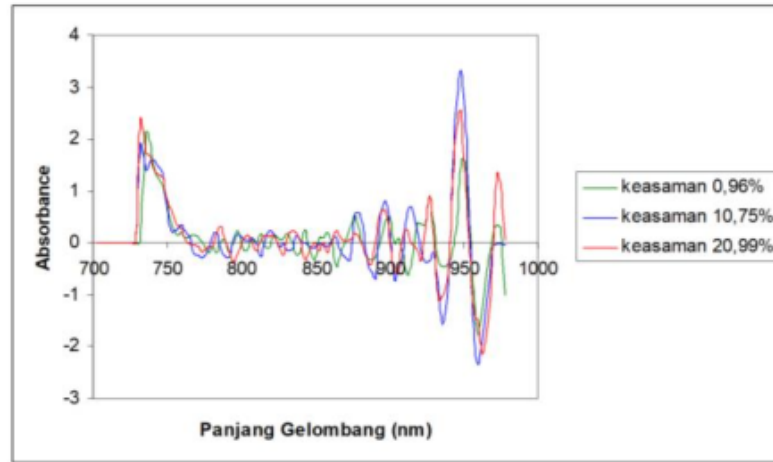
Gambar 5.23 Dua arah pengambilan sektra buah mangga Harum Manis untuk kuantifikasi keasaman.

Setelah itu keasaman buah mangga diukur secara merusak menggunakan metode titrasi asam basa. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali dengan cara mengambil daging buah mangga pada titik pengambilan spektra dan diperas sampai didapatkan 5 ml ekstrak mangga. Nilai ratahan dari dua titik pengambilan kemudian digunakan sebagai nilai keasaman sampel. Tabel 5.6 menunjukkan data keasaman buah mangga Harum Manis untuk sampel kalibrasi dan validasi.

Tabel 5.6 Karakteristik statistik kelompok sampel kalibrasi dan validasi yang digunakan untuk penentuan keasaman (*acidity*) buah mangga Harum Manis.

	Sampel kalibrasi	Sampel validasi
Jumlah sampel	42	58
Rentang nilai	8.96~14.69	8.174~10.661
Rataan	11.8	9.41
Standar deviasi	4.89	4.89
Unit	%	%

Spektra *Savitzky-Golay second derivative* buah mangga dengan tiga tingkat keasaman ditunjukkan di Gambar 5.24. Cukup sulit membedakan ketiga intensitas spektra dengan perbedaan tingkat keasaman karena ketiga spektra tersebut sangat identik.



Gambar 5.24 Spektra *second derivative* buah mangga Harum Manis pada panjang gelombang 700- 980 nm dengan tiga tingkatan nilai keasaman (*acidity*) (rendah, sedang dan tinggi).

Regresi PLS digunakan untuk membangun model regresi PLS untuk kuantifikasi keasaman secara tidak merusak buah mangga Harum Manis. Model terbaik diperoleh untuk untuk spektra Savitzky-Golay *second derivative* dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.83, $SEC = 2.59\%$, $P = 4.80\%$ dan $bias = 0.14\%$. Validasi yang dilakukan menunjukkan bahwa model regresi yang dibangun dapat digunakan untuk memprediksi nilai keasaman buah mangga Harum Manis di mana tidak ada perbedaan yang nyata antara keasaman aktual dan prediksi pada uji taraf kepercayaan 90%.

Tabel 5.7 meringkas model kalibrasi PLS yang berhasil dibangun untuk mengkuantifikasi keasaman (*acidity*) beberapa buah asal Indonesia. Total waktu pengambilan spektra tiap sampel 10~20 detik saja dengan koefisien korelasi 0.83~0.97. Performansi model kalibrasi untuk kuantifikasi keasaman (*acidity*) buah asal Indonesia menggunakan *NIR spectroscopy* portabel juga dapat diandalkan dengan SEC, SEP dan bias yang rendah.

Tabel 5.7 Model kalibrasi PLS untuk penentuan keasaman (*acidity*) beberapa buah menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

Komoditas Buah	Kondisi pengambilan spektra			Kualitas model kalibrasi			
	Waktu integrasi (ms)	Jumlah scanning (<i>scan</i>)	Waktu pengambilan (detik)	r	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)
Nenas	100	50	20	0.97	0.024	0.048	-0.004
Mangga	100	50	10	0.83	2.59	4.80	0.14

Pertanyaan Bab 5

1. Jelaskan salah satu kemungkinan mengapa kualitas model regresi PLS untuk kuantifikasi keasaman menggunakan *NIR spectroscopy* portabel tidak sebaik untuk kuantifikasi KPT?
2. Parameter apa yang biasanya digunakan untuk mengevaluasi kualitas model regresi PLS?
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan waktu integrasi dan jumlah *scanning to average* pada proses pengambilan spektra menggunakan *NIR spectroscopy* portabel!
4. Jelaskan salah satu manfaat plot panjang gelombang versus koefisien regresi pada model regresi PLS!
5. Mengapa waktu integrasi dan jumlah *scanning to average* tidak boleh terlalu tinggi?

Pustaka Bab 5

Bab 6

PELUANG DAN TANTANGAN

Tujuan Perkuliahan:

17

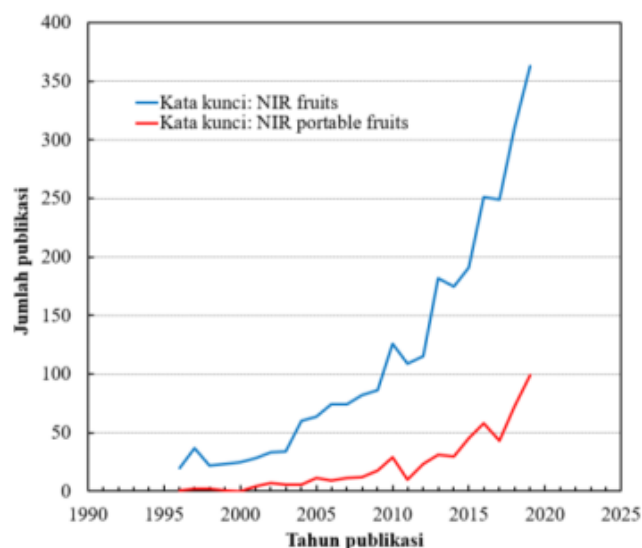
Setelah mengikuti perkuliahan di Bab 6 ini diharapkan mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan arah pengembangan penelitian di bidang *NIR spectroscopy* portabel.
2. Menjelaskan gabungan beberapa sensor untuk pemutuan buah-buahan.
3. Menjelaskan konsep keterselusuran (*traceability*) buah-buahan untuk mendukung mutu dan keamanan pangan buah-buahan.

6.1. Pendahuluan

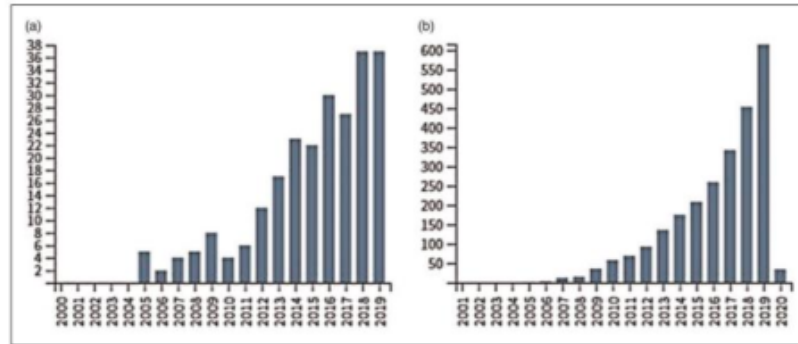
Seperti telah dijelaskan dan ditunjukkan di bab sebelumnya, *NIR spectroscopy* portabel telah berhasil digunakan untuk mengkuantifikasi beberapa atribut mutu buah-buahan seperti kandungan padatan terlarut (KPT), keasaman dan kandungan bahan kering (BK) secara tidak merusak (non-destruktif). Hanya saja, sebagai sebuah metode analisis harus diakui bahwa *NIR spectroscopy* tidak sempurna dan memiliki beberapa kelemahan. Di antaranya adalah ketangguhan model kalibrasi *NIR spectroscopy* untuk proses prediksi sangat tergantung kepada kualitas sampel yang digunakan untuk membangun model. Untuk membangun model prediksi yang tangguh dibutuhkan sampel dari banyak lokasi panen, melibatkan *range* pengukuran atribut mutu yang lebar, bahkan seringkali membutuhkan data sampel dari beberapa tahun panen yang berbeda. Selain itu isu yang harus diperhatikan saat proses hilirisasi adalah gabungan metode *NIR spectroscopy* dengan metode lain untuk membentuk sebuah sistem penilaian atribut mutu yang komprehensif. Sebagai contoh, memar pada buah sebagai salah satu pemicu munculnya busuk buah sangat sulit dikuantifikasi oleh metode *NIR spectroscopy*. Metode analisis citra UV ternyata dapat membantu memperkuat proses identifikasi memar buah secara lebih tepat. Di dalam Bab 6 ini dipaparkan beberapa peluang dan tantangan dalam proses pengembangan *NIR spectroscopy* portabel termasuk di dalamnya proses gabungan beberapa sensor atau *fusion* dalam kuantifikasi atribut mutu buah-buahan.

6.2. Peluang dan Tantangan Pengembangan *NIR Spectroscopy* Portabel



Gambar 6.1 Perkembangan jumlah publikasi di bidang *NIR spectroscopy* portabel untuk buah-buahan yang masuk data base Elsevier (www.sciencedirect.com) periode 1997-2020.

Saat ini teknologi *NIR spectroscopy* portabel merupakan salah satu bidang penelitian yang sangat menarik dan mendapatkan perhatian dari para peneliti. Hal ini dapat dilihat dari jumlah publikasi dan sitasi dari database penerbit Elsevier (www.sciencedirect.com) (lihat Gambar 6.1) ataupun dari database ISI Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com>) (lihat Gambar 6.2). Khusus aplikasi *NIR spectroscopy* di bidang pasca panen dan pemutuan buah-buahan maka dengan kata kunci *NIR spectroscopy portable fruits* atau *NIR fruits* maka terjadi peningkatan baik dari segi jumlah publikasi maupun jumlah sitasi. Tren peningkatan ini akan terus terjadi dengan dua alasan. Pertama, tuntutan konsumen terhadap buah-buahan bermutu akan terus meningkat baik dari sisi standar mutu maupun ragam buah yang dikonsumsi termasuk informasi keterselusuran baik asal buah maupun proses pra dan pasca panennya (*traceability*). Kedua, kemampuan instrumentasi *NIR spectroscopy* akan terus meningkat termasuk dari sisi ukuran maupun kemampuan transfer antar spektrometer dan perkembangan perangkat lunak kemometrika yang semakin baik.



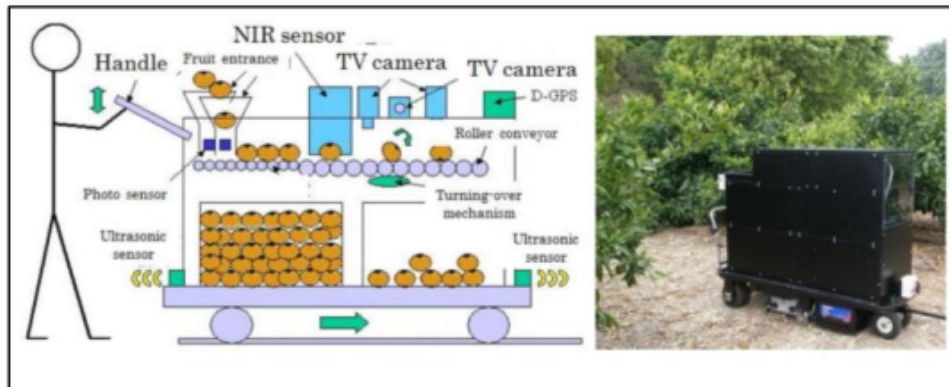
Gambar 6.2 Perkembangan jumlah publikasi di bidang *NIR spectroscopy* portabel untuk buah-buahan yang masuk data base Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com>) periode 2005-2020.

Salah satu isu penting seputar teknologi *NIR spectroscopy* portabel adalah keseimbangan antara kepentingan sains dan bisnis. Mengapa? Perkembangan yang sangat luar biasa dari teknologi *NIR spectroscopy* portabel tidak hanya menarik banyak peneliti untuk meneliti aplikasi *NIR spectroscopy* di banyak bidang tapi juga menarik minat banyak perusahaan optik untuk masuk ke dalam industri penyedia instrument *NIR spectroscopy* portabel. Meskipun dengan banyaknya industri penyedia instrumentasi *NIR spectroscopy* portabel memberikan dampak positif dengan hadirnya banyak pilihan kepada peneliti untuk memilih instrumentasi yang sesuai dengan kebutuhan, persaingan pasar yang semakin ketat membuat banyak perusahaan melakukan strategi pemasaran yang terlalu agresif, melebih-lebihkan performansi instrumentnya tanpa dukungan yang cukup dari hasil penelitian dan mengabaikan aspek sains lainnya. Untuk menjaga keseimbangan antara kepentingan sains dan bisnis ini maka diperlukan kerjasama antara perusahaan penyedia instrument dan laboratorium sebagai pengguna sekaligus pengembang instrumentasi NIR yang didukung dengan aspek sains yang memadai (Bec *et al.*, 2020).

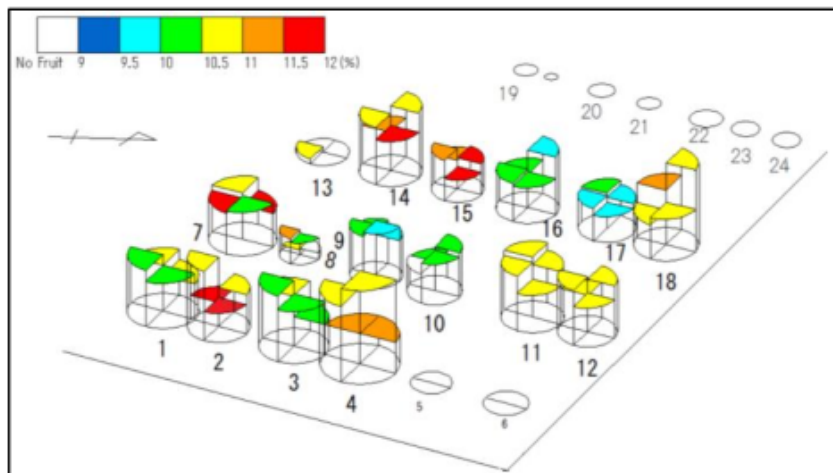
6.3. Gabungan Beberapa Sensor (*Sensor Fusion*)

Saat ini salah satu tantangan sekaligus peluang pengembangan teknologi *NIR spectroscopy* adalah bagaimana menggunakan data hasil pengukuran *NIR spectroscopy* dengan data hasil pengukuran teknologi lain seperti *machine vision* untuk menghasilkan informasi gabungan yang sangat berguna untuk penilaian atribut mutu buah-buahan dan manajemen pra dan pasca panen buah-buahan secara umum. Beberapa peneliti sudah mencoba menggabungkan beberapa data pengukuran dari beberapa teknologi tidak merusak misalnya Zou & Zhao (2005) menggunakan gabungan *NIR spectroscopy*, *machine vision* dan hidung elektronik (*electronic nose*) untuk keperluan grading buah apel ke dalam dua kelas berbeda. Kemudian Valente *et al.* (2009) menggabungkan dua buah sensor yaitu NIR dan metode akustik untuk mengkuantifikasi kekerasan buah mangga. Mendoza *et al.* (2012) menggabungkan data akustik dan data *NIR spectroscopy* untuk penilaian kekerasan dan KPT buah apel.

Gabungan antara teknologi *NIR spectroscopy*, teknologi GPS dan *machine vision* telah diaplikasikan dalam bentuk *mobile fruit grading robot system* seperti tampak di Gambar 6.3 (Kohno *et al.*, 2011).



Gambar 6.3 Robot yang dapat membantu petani/operator melakukan panen buah jeruk sekaligus mengkuantifikasi atribut mutu dan aplikasi pertanian presisi (Kohno *et al.*, 2011).



Gambar 6.4 Peta hasil panen yang dibuat berdasarkan data pengukuran *mobile robot grading system* untuk membantu pertanian presisi (Kohno *et al.*, 2011).

Robot tersebut merupakan robot yang dioperasikan di lahan (*mobile*). Terdapat beberapa sensor seperti spektrometer NIR, beberapa buah kamera dan sensor GPS. Buah jeruk yang dipetik secara manual kemudian secara hati-hati dimasukkan ke dalam robot di mana robot kemudian mengkuantifikasi beberapa atribut mutu dengan menggunakan gabungan beberapa sensor tersebut. Spektrometer NIR dapat mengkuantifikasi KPT atau kadar gula dan keasaman (*acidity*) buah jeruk. Kamera dengan *machine vision* memberikan data ukuran buah yaitu diameter buah jeruk serta warna buah jeruk. Robot tersebut dilengkapi juga dengan sebuah sensor penentu posisi yaitu sebuah GPS (*global positioning system*) yang memberikan data posisi setiap pohon jeruk yang dipanen. Data hasil

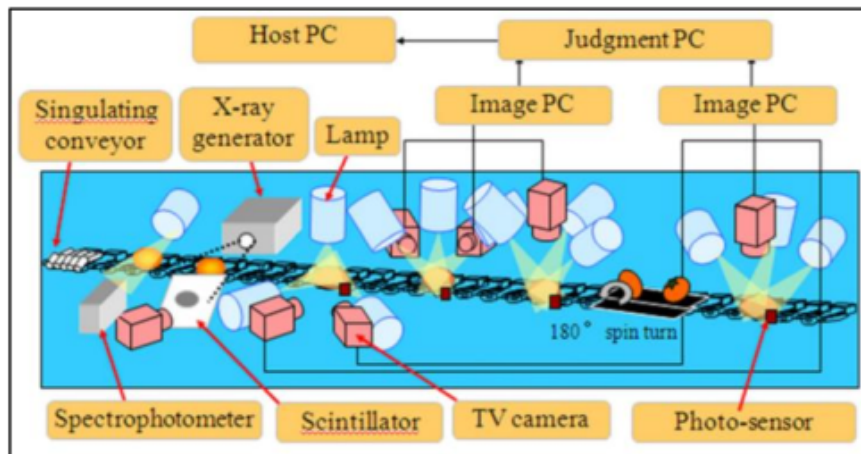
pengukuran KPT, keasaman, warna dan ukuran buah kemudian dipetakan sesuai dengan lokasi pohon jeruk yang dipanen dan secara *real time* data-data tersebut dapat disimpan atau dikirim ke server sebagai database dan dapat dibuat peta panen seperti yang tampak di Gambar 6.4.

Peta tersebut memberikan informasi hasil panen untuk setiap pohon (yang dinyakan dengan tinggi peta) lengkap dengan kualitas buah yang dipanen seperti KPT atau kadar gula (dinyatakan dengan warna peta) dan ukuran buah (diameter buah jeruk yang dinyatakan dengan ukuran atau diameter lingkaran peta). Dari peta tersebut kita dapat menyimpulkan bahwa hasil panen yang tinggi diperoleh di pohon nomor 4, 18 dan 14. Pohon nomor 2, 7, 14 dan 15 memiliki buah jeruk dengan KPT tinggi (lebih manis) dibandingkan dengan buah jeruk dari pohon nomor 11 dan 12, meskipun hasil panen di pohon nomor 11 dan 12 sangat tinggi. Pohon nomor 13 paling kecil hasil panennya dengan nilai KPT tidak terlalu tinggi. Dari sini maka kita dapat melihat bagaimana petani dapat melihat performansi dari setiap pohon jeruknya dan dari sini petani tersebut dapat terbantu untuk melakukan tindakan selanjutnya untuk meningkatkan performansi hasil panen dan kualitas buah jeruknya dengan sangat presisi. Misalnya untuk meningkatkan hasil maka diperlukan intensitas irigasi dan pemupukan yang lebih besar di pohon nomor 8 dan 13 misalnya. Pohon nomor 4 sudah cukup baik dalam hal hasil panen maka yang diperlukan adalah bagaimana meningkatkan kualitas buahnya yaitu meningkatkan KPT atau kadar gula salah satunya bisa dengan irigasi defisit. Irigasi di pohon nomor 4 perlu dikontrol dan dikurangi sehingga KPT bisa naik dengan tidak mengurangi hasil panen. Dari paparan tersebut terlihat bagaimana bergunanya peta hasil panen tersebut bagi petani untuk dapat mengelola kebunnya dengan lebih baik lagi dan lebih presisi.

Di tahun 2000-2005, Kondo (2009; 2010) bersama perusahaan Jepang SI Seiko Co., Ltd mengembangkan *fruit grading system* untuk buah jeruk seperti terlihat di Gambar 6.5. Sistem tersebut terdiri atas gabungan tiga jenis sensor tidak merusak yaitu spektrometer NIR, TV kamera dan teknologi *x-ray*. Spektrometer NIR digunakan untuk mengukur KPT dan keasaman buah jeruk, TV kamera digunakan untuk mengukur warna buah jeruk dan ukuran serta bentuk buah jeruk kemudian *x-ray* digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi ada tidaknya *internal defect* atau kerusakan dalam buah jeruk seperti adanya buah jeruk dengan kulit mengembung karena dalamnya ada rongga atau kosong.

Secara umum hasil penelitian dan aplikasi gabungan beberapa sensor menunjukkan bahwa *data fusion* atau gabungan beberapa sensor menjadi salah satu alternatif untuk mendapatkan sistem pemutuan yang lebih baik. Namun demikian ada dua hal yang harus menjadi perhatian pada saat mengembangkan gabungan beberapa sensor yaitu terkait biaya (*cost*) dan kompleksitas sistem. Biaya tentu akan bertambah dengan bertambahnya

jumlah sensor yang digunakan sehingga proses gabungan sensor harus memperhatikan antara manfaat atau benefit yang diperoleh dengan biaya tambahan sensor yang harus dikeluarkan. Kompleksitas sistem juga semakin tinggi, di mana perhitungan yang melibatkan gabungan beberapa sensor bisa berlangsung pada tiga level gabungan data yaitu level rendah (*low level data fusion*), level sedang (*middle level data fusion*) dan level tinggi (*high level data fusion*). Semakin tinggi level penggabungan data maka semakin tinggi kompleksitas perhitungannya.



Gambar 6.5 Lay out sebuah sistem pemutuan buah (*fruit grading system*) yang dikembangkan oleh Kondo (2010) dan SI Seiko Co., Ltd dengan gabungan tiga buah jenis sensor tidak merusak untuk pemutuan buah jeruk (Kondo, 2010).

Sebagai penutup, penulis yakin bahwa teknologi *NIR spectroscopy* portabel akan terus berkembang dan memberikan manfaat untuk meningkatkan mutu dan keamanan pangan khususnya buah-buahan. Kekurangan *NIR spectroscopy* dapat dikompensasi dengan gabungan beberapa sensor.

Pertanyaan Bab 6

1. Jelaskan apa saja peluang dan tantangan pengembangan teknologi *NIR spectroscopy* untuk kuantifikasi atribut mutu buah-buahan di Indonesia!
2. Apa yang dimaksud dengan gabungan data atau *data fusion* dalam sistem sensor untuk pemutuan buah-buahan di Indonesia?
3. Jelaskan salah satu kelemahan dari teknologi analisis berbasis *NIR spectroscopy*!

Pustaka Bab 6

Indeks Istilah

A

Absorbansi
Acidity
Alpukat
Analisis Kualitatif
Analisis Kuantitatif
Angka Kuantum Vibrasi
Angka Susut Pasca Panen
Artificial Neural Networks
Atago Refraktometer
Atribut Mutu
Attenuated Total Reflectance

B

Baseline
Beer Lamberts
Benchtop Instrument
Bias

C

Cahaya

D

Data Fusion
Data Referensi
Data Spektra
Derivation
De-Trending
Diffuse Reflectance
Diffuse Reflectance Standard
Dispersi Cahaya
Dry Matter Content

E

Ekstraksi
Electric Oven Drying

F

Faktor PLS
Fiber Optik
Fieldable Instrument
First Derivative
Fourier Transform
Fruit Grading System

Fruit Selector
Fruit Tester
Fruktosa

G

Gaussian Filter Smoothing
Gelombang Elektromagnetik
Global Positioning System
Glukosa
Grating

H

Handheld Instrument
Hidung Elektronik
Hierarchical Cluster Analysis
High Level Data Fusion
Histogram
Hukum Beer Lamberts

I

Ilmu Spektroskopi
Indeks Bias
Infrared
Intensitas Cahaya
Interactance
Interactance Mode
Internal Defect
Irigasi
Irigasi Defisit

J

Jeruk BW
Jumlah Scanning

K

Kadar Gula
Kandungan Bahan Kering
Kandungan Padatan Terlarut
Karbohidrat
Keasaman
Kemometrika
Kemometrika
Klasifikasi Terbimbing
Klasifikasi Tidak Terbimbing
K-means
K-medians

Koefisien Korelasi
Koefisien Regresi
Korelasi
Kotak Hitam

L

Lampu
Lampu Tungsten Halogen
Leaf Water Potential
Linear Baseline Correction
Linear Discriminant Analysis (LDA)
Low Level Data Fusion

M

Machine Vision
Mangga Harum Manis
Mangga Indramayu
Masak
Matang
Maximum Normalization
Mean Normalization
Metode Klasifikasi
Metode Kualitatif
Metode Kuantitatif
Metode Merusak
Metode Oven
Metode *Pre-Processing*
Metode Referensi
Metode Referensi
Metode Tidak Merusak
Mid Infrared
Mid Infrared Spektroskopi
Middle Level Data Fusion
Mobile Fruit Grading Robot System
Model Kalibrasi
Model Kalibrasi
Model PLS
Molar Absorptivity
Monokromatik
Monokromator
Moving Average Smoothing
Moving Average Smoothing
Multiplicative Scatter Correction
Multivariat

N

Nanometer
Near Infrared Spektroskopi
Nenas
NIR spectroscopy
NIR Spectroscopy Portabel
Noise
Non Destructive
Normalization
Norris–Williams

O

Off-Plant
Offset
Offset Correction
On-Plant
Osilator
Overfitting

P

Panjang Gelombang
Partial Least Squares (PLS)
Pasca Panen
Pemupukan
Pirouette
PLS Toolbox
Polarisasi Cahaya
Polikromatik
Portabel Spektrometer
Portable Instrument
Pra Panen
Prediksi
Presentasi Sampel
Principal Component Analysis

R

Radiasi Elektromagnetik
Reflectance
Refleksi Cahaya
Refraktometer
Regresi PLS
Regresi PLS
Regression Coefficients
Resolusi
57bot
Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV)
RPD (Ratio Prediction to Deviation)

S

Salak Pondoh
Sampel Holder
Sampel Kalibrasi
Sampel Validasi
Savitzky-Golay
Savitzky-Golay Smoothing
Sawo
SEC (Standard Error of Calibration)
Second Derivative
55 *ond Derivative*
SECV (Standard Error of Cross-Validation)
Sensor GPS
SEP (Standard Error of Prediction)
Signal to Noise Ratio
Silikon
SIMCA
Smart PLS
7 *oothing*
Soft Independent Modeling of Class Analogy
Spectral Bandwidth
Spektra
Spektra Dark
Spektra Reference
Spektrometer
Spektrometer
Spektrometer Fourier Transform
Spektroskopi
Spektrum
Standar Deviasi
Standar Mutu
Standard Normal Variate
Sukrosa
Sumber Cahaya
Support Vector Machine Classification
Svante Wold

T

Teknologi X-ray
Tepung
The Unscrambler
THz spektroskopi
Timbal Sulfida
Traceability
Transformasi Spektra
TV Kamera

U

Ukuran Buah

Univariat

USB4000

UV-Visible Spectroscopy

V

Validasi

Variabel Laten

Varian

Visual PLS

W

Waktu Integrasi

Warna Buah

Glossary

Atribut Mutu Buah Eksternal

Merupakan atribut mutu buah yang dapat diindera oleh mata manusia secara langsung. Contohnya adalah: ukuran (*size*), bentuk (*shape*), warna (*color*) dan cacat (*defect*).

Atribut Mutu Buah Internal

Merupakan atribut mutu yang terdapat di dalam buah dan tidak secara langsung bisa diindera oleh mata telanjang. Biasanya penilaian atribut mutu internal baru bisa dilakukan jika buah dikonsumsi. Contohnya adalah: cita rasa (*flavour*), tekstur (*texture*), nutrisi (*nutrition*) dan cacat (*defect*).

Bahan Kering

Merupakan terminologi yang mengacu kepada persentase (%) bahan yang tertinggal dalam buah setelah semua air diuapkan. Bisa dinyatakan dalam basis basah atau basis kering.

88 Cahaya

Cahaya memiliki dua sifat sekaligus yaitu sifat gelombang dan partikel. Sebagai gelombang maka cahaya memiliki sifat gelombang seperti pembiasan, dispersi, interferensi dan sebagainya. Sebagai partikel maka cahaya memiliki energi yang dapat diserap dan dilepaskan dari satu kondisi energi ke kondisi energi lainnya.

22

Dispersi Cahaya

Dispersi cahaya adalah peristiwa penguraian cahaya polikromatik (cahaya putih) menjadi cahaya-cahaya monokromatik dan biasanya melibatkan komponen optik yang bernama monokromator (bisa menggunakan prisma atau kisi difraksi).

49

Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak membutuhkan medium dalam proses perambatannya. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang melalui beberapa karakter seperti panjang gelombang, amplitudo, frekuensi dan kecepatan. Energi elektromagnetik dipancarkan atau dilepaskan pada level yang berbeda.

Kandungan Padatan Terlarut

KPT atau kandungan padatan terlarut merupakan terminologi yang mengacu kepada semua senyawa dalam buah yang larut dalam air atau dalam Bahasa Inggris dikenal sebagai *soluble solids content* (SSC) atau *total soluble solids* (TSS). SSC dan TSS merujuk pada terminologi yang sama yang dapat saling dipertukarkan penggunaan istilahnya yaitu semua senyawa yang terlarut dalam air.

Kemometrika

Kemometrik adalah suatu disiplin kimia yang menggunakan metode statistik dan matematika, untuk merancang atau memilih prosedur dan eksperimen yang optimal, dan untuk memberikan informasi kimia yang maksimal dengan cara menganalisis data kimia. Juga dikatakan bahwa kemometrika berkaitan dengan proses ekstraksi informasi yang relevan dari data kimia dengan alat berupa matematika dan statistik.

Ketahanan Pangan

31

Ketahanan pangan atau *food security* terjadi ketika semua orang setiap saat memiliki akses fisik dan ekonomi untuk pangan yang aman dan bergizi yang dapat memenuhi kebutuhan asupan gizi dan *pre*nsi pangan mereka untuk hidup yang sehat dan aktif (World Food Summit, 1996). *World Health Organization (WHO)* mendefinisikan tiga komponen utama ketahanan pangan, yaitu ketersediaan pangan, akses pangan, dan pemanfaatan pangan.

18 tertelusuran Pangan (*Food Traceability*)

Ketertelusuran adalah kemampuan suatu sistem untuk mengenali dan menelusuri suatu produk pada setiap tahapan produksi, pengolahan maupun pemasaran. Untuk produk pangan, tujuan utama sistem ketertelusuran adalah untuk mencatat/mendokumentasikan produk mulai dari bahan baku sampai kepada konsumen (*from farm to fork*) (Dwiyitno, 2009).

Mutu Buah-buahan

Mengacu kepada tingkat keunggulan buah tersebut atau kesesuaian buah-buahan untuk digunakan pada situasi dan kondisi tertentu di mana tingkat kesesuaian ini ditentukan oleh konsumen.

NIR Spectroscopy Portabel

Teknologi *NIR spectroscopy* yang memiliki instrument atau alat yang bisa dipindah atau disebut sebagai portable instrument (berat instrumen biasanya lebih dari 4 kg dan dimasukkan ke dalam semacam koper kecil).

Spektrometer

Spektrometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur spektrum cahaya setelah cahaya tersebut melewati sampel yang sedang diamati. Untuk mendapatkan spektrum cahaya yang diinginkan maka spektrometer bekerja dengan mekanisme tertentu.

Spektroskopi

Ilmu spektroskopi atau spektroskopi adalah ilmu yang mempelajari benda atau materi dengan menggunakan gelombang elektromagnetik.

Spektrum

Spektrum adalah representasi dari radiasi elektromagnetik yang diserap atau dipancarkan oleh sampel. Kumpulan banyak spektrum disebut sebagai spektra.

Susut Pasca Panen Pertanian

Merupakan ukuran untuk menyatakan besaran panen yang hilang atau susut selama proses pasca panen pertanian seperti pemanenan, transportasi atau pengangkutan dan seterusnya. Biasanya dinyatakan dalam satuan persen (%).

Teknologi Near Infrared Spektroskopi (NIRS)

Sebuah teknologi yang menggunakan informasi (baik secara kualitatif ataupun kuantitatif) hasil dari interaksi antara gelombang elektromagnetik near infrared (NIR) dan komponen kimiawi penyusun bahan/materi atau sampel.



Mengenal *Peer Group* Spektroskopi

Spectroscopy Research Group (SRG)



Diinisiasi sejak tahun 2015 dan secara resmi didirikan sejak tahun 2016, SRG merupakan salah satu *peer group* riset di laboratorium rekayasa bioproses dan pasca panen (lab RBPP) di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung yang secara aktif melakukan riset spektroskopi di bidang pertanian khususnya pasca panen pertanian. Saat ini memiliki member aktif yaitu dua peneliti dari Universitas Lampung dan Politeknik Negeri Lampung. Sejauh ini telah dan sedang berkolaborasi dengan beberapa institusi di dalam dan luar negeri. Di dalam negeri, SRG bekerjasama dengan Universitas Syiah Kuala (Aceh), Universitas Padjadjaran (Unpad), dan Institut Pertanian Bogor (IPB) dalam bentuk riset kolaborasi dan publikasi artikel. Di luar negeri, SRG berhasil membangun jejaring riset dengan Universitas Kyoto (Prof. Naoshi Kondo dan Ass. Prof. Yuichi Ogawa), Universitas Gifu (Prof. Kohei Nakano) dan Universitas Kobe (Ass. Prof. Shinichiro Kuroki). Member SRG selain diundang sebagai visiting researcher, guest lecturer juga melakukan kolaborasi riset spektroskopi di Universitas Kyoto, Universitas Gifu dan Universitas Kobe, Jepang.

Member yang aktif:

 <p>Dr. Agr. Sc. Diding Suhandy, S.TP, M. Agr. Ketua sejak 2016-sekarang</p>	<p>diding.suhandy@fp.unila.ac.id 0813 7334 7128</p>	<p>Bidang keahlian: Spectroscopy (UV, Visible, IR, THz) Pertanian presisi Rekayasa bioproses Kemometrika Multivariate modelling Keteknikan pertanian Fluorescence spectroscopy/imaging</p>
 <p>Meirilwita Yulia, S.TP, M. Agr.Sc. Anggota sejak 2016-sekarang</p>	<p>meirilwitayulia@polinela.ac.id 0813 7334 7129</p>	<p>Bidang keahlian: Mekanisasi pertanian Kemometrika UV-visible spectroscopy THz spectroscopy Mesin pasca panen pertanian Keteknikan pertanian Desain mesin pertanian</p>

Beberapa riset yang sudah dan sedang dilakukan:

No.	Judul	Tahun pendanaan	Sumber dana
1.	Pengembangan Metode Uji Keaslian Madu Menggunakan Metode Uv-Visible Spectroscopy Dan Kemometrika	2020-2022	Penelitian Terapan RISTEK/BRIN
2.	Karakterisasi Fluorescence Dissolved Organic Matter (FDOM) di Akuakultur Menggunakan EEM Spectroscopy dengan PARAFAC Analysis dan Pengaruhnya pada Daerah Pesisir	2020-2022	Penelitian WCR RISTEK/BRIN
3.	Investigasi Perbaikan Model Kalibrasi Untuk Penentuan Kandungan Asam Klorogenat Kopi Bubuk Speisialti	2020-2022	Penelitian Dasar RISTEK/BRIN

	Indonesia Menggunakan Portable Near Infrared Spectroscopy Dan Integrating		
4.	Studi Diskriminasi Kopi Bubuk Spesialti Robusta Lampung Berdasarkan Jenis Pupuk, Asal Geografis Dan Metode Pengolahan Biji Menggunakan Uv-Vis Spectroscopy Dan Kemometrika	2020-2021	Penelitian PKPT RISTEK/BRIN
5.	Studi Fundamental Teknologi Hybrid Infrared-Laser Spectroscopy Sebagai Metode Baru Untuk Prediksi Kualitas Buah Mangga Uteh Secara Cepat Dan	2019-2020	Penelitian PDUPT RISTEKDIKTI
6.	Sertifikasi Keaslian Kopi Spesialti Indonesia Menggunakan Uv-Vis Spectroscopy Dan Kemometrika	2018-2019	Penelitian Terapan RISTEKDIKTI
7.	Studi Pengembangan Model Kalibrasi Yang Mampu Mengkompensasi Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Kopi Bubuk Pada Hilirisasi Teknologi Uji Kualitas Berbasis Uv-Vis Spectroscopy Untuk Kopi Luwak	2018-2019	Penelitian Dasar RISTEKDIKTI
8.	Studi Penggunaan Teknologi Analisis Berbasis Uv-Vis Spectroscopy Dan Kemometrika Untuk Pengembangan Teknologi Deteksi Keaslian Kopi Arabika	2018-2019	Penelitian PKPT RISTEKDIKTI
9.	Penggunaan Kemometrika Dan Near Infrared Spectroscopy Untuk Proses Diskriminasi Kopi Luwak Secara Cepat	2016-2017	Penelitian Terapan RISTEKDIKTI
10.	Studi Penentuan Spektra Eksitasi Dan Fluoresensi Pada Beberapa Buah Jeruk Lokal Di Indonesia	2016	Penelitian Dasar RISTEKDIKTI

Beberapa buku yang sudah diterbitkan:

No.	Judul	Tahun terbit	ISBN
1.	The application of near infrared spectroscopy and chemometrics for monitoring water stress in tomato plants	CV. Anugrah Utama Raharja	978-623-211-137-0
2.	Pengantar ilmu spektroskopi untuk pertanian	Graha Ilmu	978-623-228-110-3
3.	Tutorial analisis data spektra menggunakan the unscrambler	Graha Ilmu	978-623-228-051-9
4.	Uji keaslian kopi spesialti Indonesia menggunakan uv-visible spectroscopy dan metode kemometrika	Graha Ilmu	978-623-228-033-5



Tentang Penulis



Tentang Penulis

Sinopsis Buku

Saat ini di Indonesia sebagian besar proses kuantifikasi berbagai atribut mutu buah-buahan baik eksternal (warna, ukuran, bentuk dan cacat permukaan) maupun internal (kadar gula, keasaman, kekerasan dan cacat internal) masih bersifat merusak (destruktif). Pengujian secara merusak menimbulkan masalah di mana produk buah yang diuji menjadi produk yang terbuang dan tidak bisa dipasarkan. Pengujian mutu seperti ini jelas tidak mendukung konsep peningkatan ketahanan pangan yaitu upaya untuk mengurangi susut pasca panen sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kuantitas ketersediaan buah-buahan. Di sinilah pentingnya dikembangkan teknologi pengujian mutu yang inovatif yang tidak merusak produk sehingga bisa mendukung upaya peningkatan mutu dan ketahanan pangan. Teknologi itu adalah teknologi yang tidak merusak buah atau teknologi non-destruktif salah satunya menggunakan *NIR spectroscopy* portabel.

Buku *Teknologi Near Infrared Spectroscopy Portabel Untuk Kuantifikasi Atribut Mutu Buah-Buahan* ini merupakan salah satu buku yang ditulis untuk memberikan ilustrasi bagaimana teknologi *NIR spectroscopy* portabel dapat diandalkan untuk mengurangi sampah pangan (*food waste*) dalam bentuk pengurangan susut pasca panen (*postharvest loss*). Kuantifikasi atribut mutu buah-buahan secara presisi dan cepat dapat mempertemukan antara keinginan konsumen atau ekspektasi konsumen dengan kemampuan petani atau produsen sehingga secara presisi dapat dipastikan setiap buah dan sayuran yang dihasilkan oleh petani atau industri pertanian dapat diterima oleh konsumen. Selamat membaca.

TEKNOLOGI NEAR INFRARED SPECTROSCOPY PORTABEL UNTUK KUANTIFIKASI ATRIBUT MUTU BUAH-BUAHAN

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	jurnal.fp.unila.ac.id Internet Source	4%
2	media.neliti.com Internet Source	3%
3	jurnal.polinela.ac.id Internet Source	1%
4	es.scribd.com Internet Source	1%
5	pascapanen.litbang.pertanian.go.id Internet Source	<1%
6	sintadev.ristekdikti.go.id Internet Source	<1%
7	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1%
8	grahailmu.id Internet Source	<1%
9	p3m.poliban.ac.id Internet Source	<1%
10	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1%
11	Submitted to Padjadjaran University Student Paper	<1%
12	Diding Suhandy, Meinilwita Yulia, Yuichi Ogawa, Naoshi Kondo. "Prediction of L-Ascorbic Acid using FTIR-ATR Terahertz	<1%

Spectroscopy Combined with Interval Partial Least Squares (iPLS) Regression", Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2013

Publication

13	vdocuments.site Internet Source	<1 %
14	id.scribd.com Internet Source	<1 %
15	jurnal.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
16	tirtabuanamedia.co.id Internet Source	<1 %
17	docobook.com Internet Source	<1 %
18	doaj.org Internet Source	<1 %
19	www.annualreviews.org Internet Source	<1 %
20	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
21	Submitted to iGroup Student Paper	<1 %
22	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
23	Paul Geladi. "Chemometrics in spectroscopy. Part 1. Classical chemometrics", Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2003 Publication	<1 %
24	www.statistikolahdata.com Internet Source	<1 %
25	treefruit.wsu.edu Internet Source	<1 %

26	felixinstruments.com Internet Source	<1 %
27	publikasi.fp.unila.ac.id Internet Source	<1 %
28	bacabse.blogspot.com Internet Source	<1 %
29	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
30	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	<1 %
31	ejournal.skpm.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
32	Feni P. Astuti, Olie S. Datu, Trina E. Tallei. "PENGARUH PENAMBAHAN ASAM BENZOAT TERHADAP PERTUMBUHAN RAGI DAN KADAR ALKOHOL PADA FERMENTASI KULIT NANAS (Ananas comosus L.) LOKAL", PHARMACON, 2020 Publication	<1 %
33	123dok.com Internet Source	<1 %
34	Christian W. Huck, Krzysztof B. Beć, Justyna Grabska. "Near - Infrared Spectroscopy in Natural Product Research", Wiley, 2020 Publication	<1 %
35	Galih Pratama, Diding Suhandy, Meinilwita Yulia, Iskandar Zulkarnain. "Studi Kuantifikasi Pencampuran Kopi Dekaf - Non Dekaf Menggunakan Uv-Vis Spectroscopy dan Regresi PLS", Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering), 2019 Publication	<1 %

36	saintif.com Internet Source	<1 %
37	Kader, Adel, and Muhammad Siddiq. "Introduction and Overview", Tropical and Subtropical Fruits Postharvest Physiology Processing and Packaging, 2012. Publication	<1 %
38	visualpls.simplesite.com Internet Source	<1 %
39	pubs.usgs.gov Internet Source	<1 %
40	www.balipost.com Internet Source	<1 %
41	www.scribd.com Internet Source	<1 %
42	alpha-i.or.id Internet Source	<1 %
43	japanshopping.org Internet Source	<1 %
44	psma.kemdikbud.go.id Internet Source	<1 %
45	Wenqian Huang, Jiangbo Li, Baohua Zhang, Shuxiang Fan. "Chapter 6 Quality of Vegetable Products: Assessment of Physical, Chemical, and Microbiological Changes in Vegetable Products by Nondestructive Methods", Springer Science and Business Media LLC, 2018 Publication	<1 %
46	Amrit Shrestha, Panmanas Sirisomboon. "Rapid evaluation of moisture content in bamboo chips using diode array near infrared	<1 %

47

E. Zamora-Rojas, A. Garrido-Varo, E. De Pedro-Sanz, J.E. Guerrero-Ginel, D. Pérez-Marín. "Prediction of fatty acids content in pig adipose tissue by near infrared spectroscopy: At-line versus in-situ analysis", Meat Science, 2013

Publication

<1 %

48

Submitted to Universiti Kebangsaan Malaysia

Student Paper

<1 %

49

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

50

Eny Supriyanti, Diding Suhandy, Meinilwita Yulia, Sri Waluyo. "Penggunaan Teknologi UV-Vis Spectroscopy untuk Membedakan Jenis Kopi Bubuk Arabika Gayo Wine dan Kopi Bubuk Arabika Gayo Biasa", Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering), 2018

Publication

<1 %

51

Hyung-Soo Park, Ji-Hye Kim, Ki-Choon Choi, Hyeon-Seop Kim. "Mathematical Transformation Influencing Accuracy of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Calibrations for the Prediction of Chemical Composition and Fermentation Parameters in Corn Silage", Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science, 2016

Publication

<1 %

52

K. Prasad, Sanu Jacob, Mohammed Wasim Siddiqui. "Fruit Maturity, Harvesting, and Quality Standards", Elsevier BV, 2018

Publication

<1 %

53	Satyam Srivastava, Shashikant Sadistap. "Data processing approaches and strategies for non-destructive fruits quality inspection and authentication: a review", Journal of Food Measurement and Characterization, 2018 Publication	<1 %
54	adoc.pub Internet Source	<1 %
55	citeseerx.ist.psu.edu Internet Source	<1 %
56	doku.pub Internet Source	<1 %
57	epdf.pub Internet Source	<1 %
58	edoc.site Internet Source	<1 %
59	etrinaldi.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
60	ir.kagoshima-u.ac.jp Internet Source	<1 %
61	makassar.terkini.id Internet Source	<1 %
62	panggilakukhofiyaa.blogspot.com Internet Source	<1 %
63	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %
64	t-stor.teagasc.ie Internet Source	<1 %
65	www.majalahhortus.com Internet Source	<1 %
66	Li-juan Xie, Yi-bin Ying. "Use of near-infrared spectroscopy and least-squares support	<1 %

vector machine to determine quality change of tomato juice", Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 2009

Publication

67

abe.fp.unila.ac.id

Internet Source

<1 %

68

physics.ulm.ac.id

Internet Source

<1 %

69

risetwofive.wordpress.com

Internet Source

<1 %

70

staff.unila.ac.id

Internet Source

<1 %

71

text-id.123dok.com

Internet Source

<1 %

72

www.reportshop.co.kr

Internet Source

<1 %

73

Cheng Li, Bangsong Su, Tianlun Zhao, Cong Li, Jinhong Chen, Shuijin Zhu. "Feasibility study on use of near infrared spectroscopy for rapid and non-destructive determination of gossypol content in intact cottonseeds", Research Square, 2020

Publication

<1 %

74

Darmadi Darmadi, Dimas Pradhasumitra, Surya Eko Setiawan. "EFEKTIFITAS EKSTRAK KULIT DUKU (*Lansium domesticum* corr) TERHADAP MORTALITAS PEDIKULUS HUMANUS CAPITIS SEBAGAI PENYEBAB PEDIKULOSIS PADA ANAK", JOPS (Journal Of Pharmacy and Science), 2018

Publication

<1 %

75

boothportablemurah.com

Internet Source

<1 %

76

eprints.umm.ac.id

Internet Source

<1 %

77

eprints.unm.ac.id

Internet Source

<1 %

78

ibnuramadan.wordpress.com

Internet Source

<1 %

79

kuotabro.com

Internet Source

<1 %

80

ml.scribd.com

Internet Source

<1 %

81

ngertiaja.com

Internet Source

<1 %

82

nurarifin0207366.blogspot.com

Internet Source

<1 %

83

postharvest.ucdavis.edu

Internet Source

<1 %

84

pt.scribd.com

Internet Source

<1 %

85

pub.epsilon.slu.se

Internet Source

<1 %

86

qdoc.tips

Internet Source

<1 %

87

rahmat-hardianto.blogspot.com

Internet Source

<1 %

88

repositori.kemdikbud.go.id

Internet Source

<1 %

89

repository.radenintan.ac.id

Internet Source

<1 %

90

repository.uinjkt.ac.id

Internet Source

<1 %

91

strategika.wordpress.com

<1 %

92

widuri.raharja.info

Internet Source

<1 %

93

www.akbarpost.com

Internet Source

<1 %

94

www.upb.ro

Internet Source

<1 %

95

www.yumpu.com

Internet Source

<1 %

96

you-gonever.icu

Internet Source

<1 %

97

Bart M. Nicolai, Katrien Beullens, Els Bobelyn, Ann Peirs, Wouter Saeys, Karen I. Theron, Jeroen Lammertyn. "Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review", *Postharvest Biology and Technology*, 2007

Publication

<1 %

98

Nicolai, B.M.. "Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review", *Postharvest Biology and Technology*, 2007

Publication

<1 %

99

"Vibrational Spectroscopy Methods for Rapid Control of Agro-Food Products", *Handbook of Food Analysis Third Edition - Two Volume Set*, 2015.

Publication

<1 %

100

Yola Nurkamil, Asep Saepul Alam, Siti Nursilah. "PENGARUH KEPERCAYAAN DAN KOMITMEN TERHADAP KEPUASAN SUPPLIER BERAS DI PERUSAHAAN UMUM BADAN URUSAN LOGISTIK (Studi Kasus : Di Perum

<1 %

BULOG Kantor Cabang Cianjur)", AGRITA (AGri), 2020

Publication

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On