Pengembangan Sensor *Fourier Transform Near InfraRed* (FT-NIR) Melalui Transformasi Wavelet Untuk Evaluasi Kadar Gula Mangga Gadung (*Mangifera Indica*)

(*Development of Fourier Transform Near InfraRed Spectroscopy (FT-NIR) Through Wavelet Transformation For Sugar Content Evaluation Mango Gadung (Mangifera Indica)*)

Muhammad Ikhrum¹, Zulfahrizal¹, Agus Arip Munawar^{1*}

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

Abstrack: Sebelum adanya uji non-destruktif pada mangga untuk mengetahui kandungan kadar gula pada buah mangga selalu dilakukan metode destruktif yaitu dengan cara mangga diperas sari buahnya dan dilihat °Brix dengan menggunakan alat refraktometer. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan instrument berbasis teknologi sensor FT-NIR melalui transformasi *wavelet* (*wavelet segmentation*) sehingga diharapkan dapat membantu mendeteksi cepat kualitas buah mangga. Penelitian ini menggunakan alat FT-NIR dengan sensor *photodiode*. Penelitian ini menggunakan model prediksi yang dibangun dengan menggunakan metode *Partial least square* dengan metode koreksi *baseline correction*. Setelah itu untuk mendeteksi data pencilan menggunakan metode analisa PCA dan *hotelling T² ellips* sehingga data prediksi tidak ada *noise* (gangguan). Kemudian dilanjutkan dengan analisis laboratorium untuk mendapatkan nilai acuan dalam membangun model prediksi. Dalam membangun model prediksi Parameter statistika yang biasa digunakan untuk mengevaluasi model yang dihasilkan adalah Nilai Error (RMSEC), Nilai Koefisien Korelasi (r), Nilai Koefisien Determinasi (R^2), dan RPD. Hasil penelitian menunjukan bahwa *self developed* FT-NIR mampu mendeteksi zat organik kadar gula dengan kisaran gelombang 2137 nm – 2333 nm, spektrum yang telah dikoreksi menggunakan *baseline correction* diperoleh nilai parameter statistiknya adalah $R^2 = 0,881$, nilai $r = 0,939$, nilai RPD = 2,149, nilai error (RMSEC) sebesar 0,782. model yang dihasilkan adalah model prediksi yang bagus (*good model performance*) karena nilai RPD berada pada kisaran 2 - 2,5.

Kata Kunci : Mangga, Kadar gula, Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FT-NIR)

Abstrack: Before the existence of non-destructive test on mango determine of sugar content in mango fruit always destructively by way of mango squeezed juice and seen °Brix by using tool of refractometer. This research aims to develop instrument based on FT-NIR sensor technology through wavelet transformation (*wavelet segmentation*) so it is expected to help detect the quality of mango fruit fast. This research uses FT-NIR tool with photodiode sensor. This research uses prediction model which established by using Partial least square method with correction method of baseline correction. Then proceed with laboratory analysis to obtain the reference value in building predictive model. In constructing the prediction model the usual statistical parameters used to evaluate the resulting model are Error Value (RMSEC), Correlation Coefficient (r), Coefficient of Determination (R^2), and RPD. The results showed that self developed FT-NIR was able to detect organic substance of sugar content with wave range 2137 nm -2333 nm, the corrected spectra using baseline correction obtained statistic parameter value is $R^2 = 0,881$, $r = 0,939$, value RPD = 2,149, error value (RMSEC) to 0,782. The model produced is a good model of performance (*good model performance*) because the value of RPD is in the range between 2 and 2.5.

Keywords : Mango, Sugar, Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FT-NIR)

PENDAHULUAN

Dewasa ini, FT-NIR banyak sekali digunakan untuk berbagai aplikasi diantaranya ialah pada bidang kedokteran, farmasi, kimia, optik dan berbagai aplikasi interaksi FT-NIR dengan material. FT-NIR ideal untuk identifikasi bahan baku yang cepat dan juga merupakan alat analisis yang kuat mampu analisis kuantitatif multi-komponen yang akurat FT-NIR adalah sebuah alat sensor non-destruktif, tidak

memerlukan persiapan sampel atau bahan kimia berbahaya, sehingga cepat dan handal untuk analisis kuantitatif dan kualitatif. Spektrometer FT-NIR untuk seluruh waktu (T). Hal ini karena *interferometer* dapat memodulasi pada frekuensi yang sebanding dengan panjang gelombang. Keuntungan waktu lebih besar, karena berbanding lurus dengan m. Sebuah spektrum lengkap dapat dikumpulkan sangat cepat dan banyak scan dapat dirata-ratakan dalam waktu yang dibutuhkan untuk satu scan dari spektrometer dispersive (Burns, 2007).

Tantangan teknologi masa kini dimana diperlukannya teknologi yang cepat, tepat dan akurat. Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FT-NIR) merupakan salah satu alternative untuk menjawab tantangan zaman. Pada penelitian ini akan dicoba mengembangkan sensor Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FT-NIR) yang sederhana untuk menganalisis cepat kandungan buah mangga.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan instrument berbasis teknologi sensor FT-NIR melalui transformasi *wavelet* (*wavelet segmentation*) sehingga diharapkan dapat membantu mendeteksi cepat kualitas buah mangga.

Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang ditemukan oleh peneliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah dengan mengembangkan transformasi *wavelet* pada sensor FT-NIR dapat meningkatkan prediksi pendugaan kualitas mangga gadung
2. Bagaimana pengaruh keakuratan prediksi *wavelet segmentation* serta panjang gelombang mana yang memiliki keakuratan mendekati hasil uji laboratorium.

Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Pengembangan *instrument* berbasis teknologi sensor FT-NIR melalui transformasi *wavelet* dengan metode *non-destructive*.
2. Sensor yang digunakan adalah *photodiode*.
3. Transformasi *wavelet* (*wavelet segmentation*).
4. Sample yang digunakan yaitu buah Mangga gadung.
5. Kajian parameter kualitas mangga yaitu kadar gula.
6. *Spectral pre-treatment* yang digunakan adalah *Baseline Correction*.
7. Metode regresi yang digunakan adalah *Partial Least Square Regresion*

Mangga yang digunakan pada penelitian ini adalah mangga gadung yang diperoleh dari gampong Doy, Banda Aceh.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu petani dan industri untuk dapat memprediksi kualitas buah Mangga Gadung dengan metode *non-destructive* melalui teknologi berbasis sensor FT-NIR serta menambah wawasan tentang teknologi berbasis sensor FT-NIR.

Hipotesis

Adapun hipotesis yang diperoleh nanti dalam penelitian ini adalah :

1. Kandungan mangga dapat diuji dengan alat *self developed* FT-NIR ini dan tidak adanya kerusakan bahan.
2. Terdapat kesamaan data pengukuran menggunakan *self developed* FT-NIR dengan uji laboratorium.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari sampai Maret 2017. Tempat pelaksanaan penelitian di Laboratorium Instrumentasi dan Energi, Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah komponen elektronika sebagai berikut : refraktometer (N-1 Atago corp.), resistor, transistor, kapasitor, diode LED, diode zener, IC (*Integrated Circuit*), mikrokontroler, sensor *photodiode*, perlengkapan uji kadar gula, dan *unscrambler software® X version 10.3*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah Mangga Gadung sebanyak 45 buah.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini akan terbagi atas dua tahap yaitu tahap awal yaitu mengembangkan *self developed fourier transform near infraRed spectroscopy* dan tahap pengujian rancangan *self developed fourier transform near infraRed spectroscopy*.

Pengembangan sensor berbasis FT-NIR

Pengembangan *self developed fourier transform near infraRed spectroscopy* ini hal pertama yang dilakukan adalah persiapan *power supply*, kedua persiapan ADC converter, ketiga pengembangan sensor *fourier transform infrared spectroscopy* dengan menggunakan sensor *photodiode*, keempat persiapan mikroprosesor/mikrokontroler, dan membuat program *interface*.

Uji Rancangan *Fourier Transform Near InfraRed Spectroscopy*

Pengujian rancangan sensor *fourier transform near infrared* dilakukan dengan cara meletakkan sample lalu diberikan cahaya, apabila hasil keluar dalam bentuk spectrum dilayar computer maka rancangan sensor berhasil.

Pengambilan Spektrum Buah Mangga

Spektrum FT-NIR untuk mangga didapatkan dengan menggunakan instrumen self developed FT-NIR dengan konfigurasi alur kerja alat (*workflow*) dibangun dengan menggunakan *self modified Thermo Integration*[®]. Spektrum transmisi FT-NIR diakuisisi dengan metode *pulsed excitation* pada wavelength 1.000 – 2500 nm. File spektrum transmisi akan disimpan dalam bentuk file *.jdx dan *.csv untuk dianalisa lebih lanjut.

Pengukuran Kadar SSC Pada Mangga

Setelah proses akuisisi spektrum FT-NIR mangga, kadar kualitas mangga secara aktual ditentukan dengan metode analisa kimia di laboratorium sebagai berikut: kadar total padatan terlarut (SSC) ditentukan dengan metode refraksi index menggunakan alat digital refraktometer (N-1 Atago corp.). Satu tetes sampel mangga ditempatkan/diteteskan pada *sample holder* instrument berbentuk lingkaran dengan diameter 1 cm. Alat ini kemudian menentukan kadar SSC berdasarkan total padatan terlarut yang direfraksikan. Nilai kadar gula ditampilkan dalam satuan °Brix.

Analisa Data Spektrum FT-NIR Mangga

Data spektrum yang telah didapatkan dari hasil akuisisi kemudian dianalisa terlebih dahulu sebelum digunakan untuk mengkaji sifat karakteristik sifat intensitas elektromagnetik (IE) dan membangun model prediksi kualitas mangga. Analisa data spektrum yang akan dilakukan meliputi: *outlier removal*. Data spectrum awal diinspeksi dengan memproyeksikan data spectrum dengan metode *partial least square* (PLS). Metode *Hotelling T² ellipse* kemudian diterapkan pada data spectrum hasil proyeksi PCA. Jika ada data diluar *ellipse*, maka data tersebut ditandai sebagai *outlier* dan diremove (Cozolino et al., 2011). Koreksi dan perbaikan data spektrum. Analisa ini dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan *noise* pada spectrum akibat interferensi dan *scattering photon*, serta pengaruh *over-heat*. Metode yang akan digunakan dalam prosedur ini adalah *metode baseline correction* (Munawar et al., 2013).

Model Kalibrasi Kadar Gula pada Mangga.

Kadar utama nutrisi mangga diprediksi dengan cara membangun model persamaan matematik berdasarkan data *sifat elektro-optik mangga* (variabel X) dan data *kadar kualitas mangga* hasil pengukuran di laboratorium (variabel Y). Model prediksi dibangun dengan menggunakan metode: *partial least square* (PLS).

Validasi dan Evaluasi Model

Keakuratan model dalam memprediksi akan divalidasi dan dievaluasi dengan metode validasi silang (*cross validation*). Evaluasi keakuratan dan kehandalan model dievaluasi dengan melihat parameter statistik yang meliputi; koefisien korelasi (r), *root mean square error* (RMSE), *residual predictive deviation index* (RPD), dan jumlah *latent variable* (LV). Kadar nutrisi mangga hasil prediksi kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran *standard* di laboratorium dan model terbaik dipilih berdasarkan akurasi dan kehandalannya. Parameter statistika yang biasa digunakan untuk mengevaluasi model yang dihasilkan adalah Nilai Error (RMSEC), Nilai Koefisien Korelasi (r), Nilai Koefisien Determinasi (R^2), dan RPD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mangga

Penelitian ini menggunakan mangga varietas gadung yang merupakan hasil panen pada bulan Maret 2017 dari kebun yang terletak di gampong Doy Banda Aceh. Sebelum dilakukannya pengambilan spektrum mangga terlebih dahulu disimpan di dalam lemari pendingin dibawah suhu 20°C. Adapun jumlah sample yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah berjumlah 45 sampel. Setiap sample dalam pengambilan dilakukan tembakan laser ke bahan dengan tiga titik tembakan yaitu bagian pangkal, tengah, dan ujung sampel mangga untuk menjadi nilai X. Kemudian setelah dilakukan akuisisi spektrum mangga bagian titik mangga yang sudah diakuisisi spektrumnya diambil kemudian diuji laboratorium dengan menggunakan refraktometer (N-1 Atago corp.) untuk mengetahui °Brix dari sample mangga yang menjadi acuan nilai Y pada pengolahan data nanti menggunakan metode PLS (*Partial Least Square*). Gambar sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

(a)

(b)

Gambar 1. (a) Sample mangga (b) Sample uji laboratorium

Sampel yang bagiannya telah diakuisisi spektrumnya dipotong menggunakan pisau dan diberi label. lalu dilakukan pengukuran kadar gula dengan menggunakan refraktometer (N-1 Atago corp.). Bagian mangga yang telah ditembakkan cahaya infrared tidak terdapat kerusakan dan rasa pada mangga tidak mengalami perubahan, Kemudian data nilai rata – rata yang diperoleh dari alat refraktometer (N-1 Atago corp.)

Pengembangan rangkaian sensor FT-NIR

Pengembangan rangkaian sensor FT-NIR bertujuan untuk dapat meningkatkan keakuratan prediksi kadar gula buah mangga gadung dari rangkaian sebelumnya. Pada rangkaian NIR sebelum pengembangan tidak adanya signal filter, pengaturan *segmentation wavenumber* masih manual, tidak ada pengaturan panjang gelombang dan *optical gain*. Gambar rangkaian sensor NIR dapat dilihat pada gambar 3. Sehingga diperlukan pengembangan agar akurasi prediksi lebih baik dibandingkan dengan rangkaian NIR sebelum pengembangan. Rangkaian FT-NIR setelah pengembangan dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Rangkaian FT-NIR setelah pengembangan

Full Spektrum transmisi FT-NIR mangga (1000 – 2500 nm)

Deteksi kadar gula mangga dengan menggunakan alat FT-NIR pada panjang gelombang 1000 – 2500 nm menghasilkan spectra pantulan (reflektan) seperti pada Gambar 3. Dari spektrum ini terlihat bahwa spektrum mengindikasikan keberadaan bahan organik dan kandungan nutrisi dari mangga akibat interaksi antara cahaya infrared dan ikatan molekul O-H, C-H, C-O, dan N-H sehingga radiasi NIR yang dipancarkan ke bahan organik diserap oleh bahan sekitar 96% dan sisanya 4% dipantulkan, energi yang dipantulkan ini akan ditangkap oleh *detector* atau sensor pada alat NIR tersebut (Mohsenin, 1984). Dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Reflektan buah mangga gadung (*Full Spektrum*)

Berdasarkan spektrum buah mangga pada Gambar 3. serapan yang mengindikasikan adanya pengaruh antara radiasi infrared dengan berbagai zat organik, kadar gula terlihat pada wavelength di kisaran 2137 nm – 2333 nm, hal ini sesuai pernyataan dari Cen dan He (2007) yang menyatakan bahwa struktur C-H-O bervibrasi (*overtone* pertama – kedua) pada rentang panjang gelombang 2200 – 2300 nm. Unsur C-H-O berkenaan dengan kandungan nutrisi karbohidrat, kadar gula.

Segmentation Spektrum transmisi FT-NIR mangga (1000 – 1500 nm)

Segmentasi panjang gelombang pada kisaran 1000 – 1500 nm terdapat interaksi antara radiasi infrared dengan berbagai zat organik pada sample, interaksi tersebut dapat dilihat adanya puncak tertinggi pada reflektan spektrum, yaitu pada kisaran panjang gelombang 1417 nm - 1479 nm mengindikasikan adanya kandungan air. Hal ini sesuai dengan pernyataan Cen dan He (2007) dimana kisaran penyerapan pita 1400 nm terdapat ikatan molekul H₂O dan O-H. Dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Reflektan wavelength segmentation (1000-1500 nm)

Segmentation Spektrum transmisi FT-NIR mangga (1500 – 2000 nm)

Segmentasi panjang gelombang pada kisaran 1500 – 2000 nm terdapat interaksi antara radiasi infrared dengan berbagai zat organik pada sampel, interaksi tersebut dapat dilihat adanya puncak tertinggi pada reflektan spektrum, yaitu pada kisaran panjang gelombang 1936 nm – 1994 nm. Hal ini sesuai dengan pernyataan Cen dan He (2007) pada tabel distribusi pita penyerapan (Gambar 4) mengindikasikan adanya kandungan air (H_2O) pada panjang gelombang 1900. Dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Reflektan wavelength segmentation (1500-2000 nm)

Segmentation Spektrum transmisi FT-NIR mangga (2000 – 2500 nm)

Segmentasi panjang gelombang pada kisaran 2000 – 2500 nm terdapat interaksi antara radiasi infrared dengan berbagai zat organik pada sample, interaksi tersebut dapat dilihat adanya puncak pada reflektan spektrum, yaitu pada kisaran panjang gelombang

2286 nm – 2333 nm. Hal ini sesuai dengan pernyataan Cen dan He (2007) dimana kisaran penyerapan pita 2200 - 2500 nm disarankan untuk dihubungkan Struktur C-H-O seperti glukosa, fruktosa, vitamin A dan C. Dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Reflektan wavelength segmentation (2000-2500 nm)

Metode Analisis PCA (*Principal Component Analysis*)

Metode analisa PCA digunakan untuk mengklasifikasi sampel mangga menggunakan PCA Hotelling T^2 ellipse, dengan harapan kadar gula mangga dapat terklasifikasi dengan jelas menggunakan spektrum NIR yang sudah dihasilkan. Analisa PCA dilakukan dengan melibatkan maksimum 7 komponen PC (*Principal Component*), fungsi daripada analisis PCA ini adalah untuk menghilangkan data data pencilon yang dapat merusak data pendugaan pada saat validasi spektrum nanti, setelah dilakukan analisa PCA untuk analisa kadar gula mangga didapat *principal component* yang mampu menjelaskan total data sebesar 99%. Hal ini terlihat dari hasil klasifikasi PCA pada Gambar 8.

Gambar 8. Klasifikasi mangga berdasarkan spektrum FT-NIR metode PCA

Berdasarkan hasil grafik pada Gambar 8. diperoleh data yang termasuk dalam *ellipse* sebanyak 45 data sampel dari 45 total sampel dan tidak ada data *noise* yang harus dilakukan metode *outlier*. kemudian dilakukan metode koreksi *Baseline correction* untuk memperoleh data yang lebih baik.

Panjang Gelombang Relevan Untuk Klasifikasi Kadar Gula Sample mangga

Berdasarkan hasil klasifikasi PCA pada Gambar 8. Tahap selanjutnya adalah dilakukan analisa loading plot untuk melihat gelombang relevan yang optimum. Loading plot yang dihasilkan seperti pada Gambar 9.

Gambar 9. *Loading Plot* Deteksi Kadar Gula Mangga

Menurut Zulfahrizal (2014) dan Munawar et al (2016) menyatakan bahwa pada *loading plot* adanya puncak-puncak gelombang akan mewakili keberadaan ikatan kimia tertentu. Puncak-puncak itu muncul akibat vibrasi (getaran) yang terjadi ketika ikatan kimia itu berinteraksi dengan suatu sinar. Pada *Loading Plot* terdapat tiga puncak tertinggi yang menandakan panjang gelombang dominan. Dua puncak mewakili keberadaan kadar air sementara satu puncak mewakili kadar gula. Dari ini semua dapat disimpulkan bahwa kadar air dan kadar gula merupakan zat organik yang menandai kualitas mangga. Untuk kadar gula panjang gelombang yang terdeteksi adalah pada kisaran panjang gelombang 2137 nm – 2333 nm.

Prediksi Kadar Gula Mangga dengan Full Spektrum raw FT-NIR (1000-2500 nm)

Data spektrum yang dihasilkan dari spektrum original yang belum diperbaiki menghasilkan nilai (R^2) 0,846 , Hasil dari spektrum yang belum diperbaiki ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10. Data raw spektrum

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, dapat dilihat bahwa data prediksi dari hasil pengujian diperoleh data raw yang memiliki koefisien korelasi (r) = 0.920 dan nilai R^2 = 0.846 menurut Karoui et al (2006) nilai R^2 antara 0.82 – 0.90 merupakan prediksi yang baik. Selanjutnya didapat nilai standard deviasi (SD) = 1.680 dan RMSECV = 0.846 ini artinya bahwa nilai error lebih kecil dibandingkan SD menandakan data raw sedikit terjadi noise walaupun belum dilakukan *baseline correction*. Nilai RPD didapat 1.986. Menurut Nicolai et al (2007) nilai RPD yang berada pada selang 1,5- 1,9 merupakan bahwa model tersebut prediksinya masih kasar (*sufficient*). Selanjutnya nilai LV didapat yaitu 7, menurut Florez et al (2009) nilai $LV < 9$ maka model prediksi bagus.

Prediksi Kadar Gula Mangga dengan Full Spektrum *Baseline Correction* (1000-2500 nm)

Data spektrum yang dihasilkan dari spektrum yang telah diperbaiki dengan metode *Baseline Correction* menghasilkan nilai R^2 = 0,881 , Hasil data spektrum yang sudah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 11.

Gambar 11. Data Spektrum *Baseline Correction*

Berdasarkan grafik pada Gambar 11. Dapat dilihat bahwa dengan memperbaiki spektrum menggunakan metode *baseline correction* didapat nilai $R^2 = 0,881$ dan nilai $r = 0,939$ artinya nilai spektrum yang dihasilkan lebih baik dari nilai spektrum sebelumnya. Perolehan nilai tersebut merupakan prediksi yang baik karena menurut Karoui et al (2006) nilai R^2 antara 0,82 – 0,90 merupakan prediksi yang baik. Selanjutnya dengan menggunakan metode *baseline correction* ini telah menurunkan nilai error (RMSECV) menjadi 0,782 dan nilai standard deviasi (SD) = 1,680 sehingga dapat diartikan bahwa nilai error lebih kecil dibandingkan dengan nilai SD maka model prediksi dianggap baik. Selanjutnya terjadi kenaikan signifikan pada nilai RPD menjadi 2,149. Menurut Nicolai et al (2007) nilai RPD yang berada pada selang 2 – 2,5 merupakan *good model performance*. Berikut data tabel hasil validasi model yang diperoleh pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbedaan hasil validasi dan evaluasi setiap spektrum

Spektrum	SD	R^2	r	RMSECV	RPD	LV
Raw	1,680	0,846	0,920	0,846	1,986	7
Baseline Correction	1,680	0,881	0,939	0,782	2,149	4

Dari hasil analisis evaluasi yang telah dilakukan terlihat jelas bahwa setelah dilakukannya metode *baseline correction* spektrum yang diperoleh menjadi lebih baik hal ini terlihat pada nilai R^2 , r , RMSECV, RPD yang naik dan nilai LV yang menurun.

Prediksi Kadar Gula Mangga dengan Spektrum *Baseline Correction* (1000-1500 nm)

Data spektrum yang dihasilkan dari segmentasi panjang gelombang (1000 – 1500 nm) hanya berupa spektrum *Baseline Correction*. Hasil data spektrum yang sudah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 12.

Gambar 12. Data Spektrum *Baseline Correction* (1000-1500 nm)

Berdasarkan grafik pada Gambar 12. Dapat dilihat bahwa nilai R^2 yang didapat sebesar 0,7345, perolehan nilai tersebut mendekati prediksi kuantitatif karena menurut Karoui et al (2006) nilai R^2 antara 0,66 – 0,81 mendekati prediksi kuantitatif dan 0,82 – 0,90 merupakan prediksi baik.

Prediksi Kadar Gula Mangga dengan Spektrum *Baseline Correction* (1500-2000 nm)

Data spektrum yang dihasilkan dari segmentasi panjang gelombang (1500 – 2000 nm) hanya berupa spektrum *Baseline Correction*. Hasil data spektrum yang sudah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 13. Data Spektrum *Baseline Correction* (1500-2000 nm)

Berdasarkan grafik pada Gambar 13. Dapat dilihat bahwa nilai R^2 yang didapat sebesar 0,6734, perolehan nilai tersebut mendekati prediksi kuantitatif karena menurut Karoui et al (2006) nilai R^2 antara 0,66 – 0,81 mendekati prediksi kuantitatif dan 0,82 – 0,90 merupakan prediksi baik.

Prediksi Kadar Gula Mangga dengan Spektrum *Baseline Correction* (2000-2500 nm)

Data spektrum yang dihasilkan dari segmentasi panjang gelombang (2000 – 2500 nm) hanya berupa spektrum *Baseline Correction*. Hasil data spektrum yang sudah diperbaiki dapat dilihat pada gambar 14.

Gambar 14. Data Spektrum *Baseline Correction* (2000-2500 nm)

Berdasarkan grafik pada Gambar 14. Dapat dilihat bahwa nilai R^2 yang didapat sebesar 0,8757, perolehan nilai tersebut mendekati prediksi kuantitatif karena menurut Karoui et al (2006) nilai R^2 antara 0,82 – 0,90 merupakan prediksi baik. Dari ketiga segmentasi panjang gelombang yang berbeda dapat disimpulkan bahwa model prediksi yang baik adalah pada segmentasi panjang gelombang kisaran 2000 nm – 2500 nm. Berikut tabel perbedaan validasi dan evaluasi dari setiap wavelet segmentasi:

Tabel 6. Perbedaan hasil validasi dan evaluasi setiap wavelet segmentation

Spektrum	SD	R^2	r	RMSECV	RPD	LV
1000 - 1500 nm	1,68	0,7345	0,8570	0,908	1,8502	6
1500 - 2000 nm	1,68	0,6734	0,8206	1,216	1,381	7
2000 - 2500 nm	1,68	0,8757	0,9357	0,791	2,124	6

Berdasarkan Tabel 6, diatas dapat kita lihat bahwa panjang gelombang yang mendekati hasil uji laboratorium adalah pada selang gelombang 2000 - 2500 nm, ini

dikarenakan nilai R^2 yang mendekati 1 serta pada nilai RPD didapat 2,124 hal ini sesuai dengan pernyataan Nicolai (2007) bahwa untuk nilai RPD pada selang 2 – 2,5 itu merupakan *good model performance* (performa model baik). Pada nilai LV (*Latent Variabel*) didapat 6 ini merupakan faktor ke-6 pada prediksi tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti dapat memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengembangan rangkaian sensor FT-NIR memiliki akurasi yang lebih tinggi untuk mendeteksi cepat kadar gula mangga karena adanya signal filter, pengaturan *segmentation wavenumber* otomatis, serta adanya pengaturan panjang gelombang dan *optical gain*.
2. Teknologi *fourier transform near infrared* dapat mendeteksi kadar gula mangga dengan panjang gelombang yang relevan berada pada kisaran 2137 nm – 2333 nm.
3. Terjadi peningkatan nilai pada metode perbaikan dengan metode *baseline correction* menghasilkan nilai $R^2 = 0,881$, nilai $r = 0,939$, nilai RPD = 2,149, yang tergolong dalam *good model performance*. Serta terjadi penurunan nilai error sebesar 0,782 dan LV = 4.
4. Prediksi wavelet segmentation pada panjang gelombang 2000 – 2500 nm adalah model prediksi yang baik karena nilai R^2 lebih tinggi dibandingkan dengan segmentasi panjang gelombang lainnya.

Saran

Untuk meningkatkan akurasi FT-NIR dalam penentuan kualitas kadar gula pada buah mangga perlu dilakukan dengan metode *non-linear* serta penambahan metode-metode baseline lainnya agar model prediksi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1991. Budidaya Tanaman Mangga. Kanisius, Yogyakarta.
- BPS Provinsi Aceh [Badan Pusat Statistik Aceh]. 2016. Produksi Buahan-buahan Menurut Provinsi di Aceh. Jakarta.
- Burns, D.A. and Ciurezak, E.W. 2008. Handbook of Near-Infrared Analysis, 3rd Ed. CRC Press, New York.

- CAMO, 2012. Method Reference the Unscrambler x 10.2. CRC Press, New york.
- Cen, H., He, Y, 2007. Theory and Aplication of Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Determination of Food Quality. J. Trends In food Science & Technol 18: 72-83.
- Clark, RN. 1999. Spectroscopy of Rocks and Mineral and Principal of Spectroscopy.In: ed. Rencz. AN. Manual of Remote Sensing. Volume 3: Remote Sensing for the Earth Science. Ch. 1. New York (USA). John Wiley and Sons. P 3-58.
- Donald, A. Burns, Emil W. Ciurzak. 2007. Handbook of Near-Infrared Analysis. Third Edition, CRC Press.
- Florez, K. Sanchez, M. T., Perez-Marin, D. Guerrero, J. E. Garrido-Varo, A. 2009. Feasibility in NIRS Intrument for Predicting Internal Quality in Intact Tomato. J. Food Engineering. 91: 311-318.
- Gandjar, Ibnu G. dan Abdul Rohman. 2007. Kimia Farmasi Analisis. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Hastie, T. J. dan Tibshirani. 1990, Generalized Additive Model 4th ed. Chapman dan Hall, London.
- Ilham, 2009. ADC. Kanisius. Yogyakarta.
- Jha, S. N., Kingsly, A. R.P, Chopra, S. 2006. Non-Destructive Determination of Firmness and Yellowness of Mango During Growth and Storage Using Visual Spectroscopy. Biosystem Engineering. 94: 397-402.
- Kusumo, Surachmat. Dkk. 1989. Produksi Mangga di Indonesia. Pusat Pengembangan dan Penelitian Hortikultura, Jakarta.
- L.Shrader Robert .1991. Komunikasi Elektronika. Erlangga, Jakarta .

- Munawar, A.A. 2016. Rapid and Non-Destructive Prediction Of Mango Quality Attributes Using Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy and Chemometrics. Engineering in Agriculture Environment and Food University of Gottingen, Germany.
- Mohsenin NM. 1984. Electromagnetic Radiation Properties of Food and Agriculture Products. Gordon and Breach Science Publisher, New York.
- Montgomery, D.C. 1990. Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik. Alih bahasa : Zanzawi Soejoeti. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nicolai, B. M., Beullens, K. Bobelyn, E. Peirs, A. Saeys, W. Theron, K. I, Lamertyn, J, 2007. Non-Destructive Measurement of Fruit and Vegetable Quality by Means of NIR Spectroscopy. Postharvest Biology and Technology. 46: 99-118.
- Osborne BG, TF Earn, dan PH Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy, with application in food and beverage analysis. 2nd Ed. Longman Scientific and Technical, United Kingdom.
- Pandey, M. M, 2010. Non-Destructive Evaluation of Food Quality. Theory and Practice, New York (USA) .Springer Heidelberg Dordrecht.
- Pracaya, 2011. Bertanam Mangga. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Prima. 2006. Analog to Digital Converter. Erlangga, Jakarta.
- Rajesh, M dan N.R.V. Ramana Reddy. 2011. Impact of Working Capital Management on Firm's Profitability. Global Journal of Finance and Management.
- Richard G. Lyons. 2001. Signal Processing. Prentice Hall.
- Sudarmadji, S. B. Haryono dan Suhardi, 1989. Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan. Liberty, Yogyakarta.
- Sunarjono, H. 1990. Ilmu Produksi Tanaman Buah-Buahan. Penebar Sinar Baru, Bandung.

- Tafajani, D. S, 2011. Panduan Komplit Bertanam Sayur dan Buah-Buahan. Cahaya Atma, Yogyakarta.
- Widodo, B. 2004. Interfacing Komputer dan Mikrokontroler. PT Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- Winarno, F.G . 1997. Kimia Pangan dan Gizi. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Workman, J. Weyer, L. 2008. Practical Guide to Interpretative Near Infrared Spectroscopy. CRC Press, Taylor and Francis. Boca Raton.
- Young, Timothy. 1999. Multivariate Control Charts of MDF and OSB Vertical Density Profile Attributes. Forest Products Journal.Vol 49 : 79 – 86.
- Zulfahrizal, 2014. Pengembangan Metode Pengukuran Non-Destructive Untuk Menentukan Mutu dan Fermentasi Biji Kakao Utuh Menggunakan Nir Spectroscopy [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Zulfahrizal, A.A. Munawar, dan H. Meilina. 2015^a. Estimasi Kandungan Lemak pada Biji Kakao Utuh Secara Cepat dan Non-Destructive dengan Menggunakan Teknologi NIRS. Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomatis (SNIKO), Bandung Indonesia. 10-11 Desember.
- Zulfahrizal, A.A. Munawar, dan H. Meilina. 2015^b. Rancang bangun Alat Sensor Portable Berbasis Pengembangan Aplikasi Teknologi Near InfraRed Sebagai Metode Baru yang Rapid dan Non-Destructive untuk prediksi Kualitas Kakao. Laporan Penelitian, Universitas Syiah Kuala.