Desain dan Uji Performansi Instrument Berbasis Teknologi Laser *Photo-Acoustics* Untuk Uji Cepat Kualitas Mangga

Design and Performance Test of Laser *Photo-Acoustics* Based Instrument for Rapid Test of Mango Quality

Aulia Ifnu Akbar¹, Zulfahrizal², Agus Arip Munawar^{3*}

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

Abstrak: 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 merancang alat laser *Photo-Acoustics* (LPAS) untuk mendeteksi cepat kadar gula pada buah mangga. Penelitian ini menggunakan alat laser He-Ne dan *self developed* LPAS *single beam* dengan sensor *piezoelectric transducer* dan bahan penelitian ini adalah mangga jenis udang yang diperoleh dari sare Aceh Besar. Penelitian ini menggunakan model prediksi yang dibangun dengan menggunakan metode *Partial least square* dengan metode koreksi *baseline correction*. Sebelum dibangun model prediksi data pencilan dideteksi dengan metode PCA yang digandeng dengan metode *Hotelling T² ellipse*, kemudian dilanjutkan dengan analisis laboratorium untuk mendapatkan nilai acuan Y 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 (R²), dan RPD. Hasil penelitian menunjukan bahwa *self developed* laser *Photo-Acoustics* yang telah di desain oleh peneliti berjalan dengan optimal terlihat dari bentuk gelombang yang dihasilkan oleh *instrument* pengukur *osilloscope* pada analisis *transient* tanpa adanya *noise* dan terdistribusi merata. *Self developed* LPAS ini juga mampu mendeteksi zat organik kadar gula dengan kisaran gelombang wavenumber 5849 cm⁻¹ – 6210 cm⁻¹ dan 7195 cm⁻¹ – 7559 cm⁻¹, spektrum yang telah dikoreksi menggunakan *baseline correction* diperoleh nilai parameter statistiknya adalah nilai R² sebesar 0,7531, nilai r sebesar 0,8678, nilai error (RMSEC) sebesar 0,4018 dan nilai RPD sebesar 1,9159. model yang dihasilkan masih dalam prediksi kasar (*sufficient performance*).

Kata Kunci : Mangga, Kadar gula, Laser photo-acoustics (LPAS)

Abstrack: sugar content in mango fruit always done destructively by squeezed juice and seen °Brix by using refractometer. This study aims to design a laser *Photo-Acoustics* (LPAS) tool to detect rapid sugar levels in mangoes. This research uses He-Ne laser and *self developed* LPAS *single beam* with *piezoelectric transducer* sensor and the material of this research is shrimp mango type obtained from Aceh Besar sare. This research uses prediction model which is by using *Partial least square* method with *baseline correction*. Prior to prediction model of detected data was projected by PCA method coupled with *Hotelling T² ellipse* method, then continued with laboratory analysis to obtain reference Y in constructing prediction model. In constructing the prediction model the statistical parameters commonly used to evaluate the resulting model are Error Value (RMSEC), Correlation Coefficient (r), Coefficient of Determination (R²), and RPD. The results showed that the *self developed* laser *Photo-Acoustics* that has been designed by the researcher runs optimally visible from the waveform generated by the *oscilloscope* measuring instrument in *transient analysis* in the absence of *noise* and distributed evenly. Self developed LPAS is also able to detect organic substances sugar levels with wavenumber wave range 5849 cm⁻¹ - 6210 cm⁻¹ and 7195 cm⁻¹ - 7559 cm⁻¹, the spectrum has been corrected using *baseline correction* obtained statistical parameter value is the value of R² equal to 0.7531, r value of 0.8678, error value (RMSEC) of 0.4018 and RPD value of 1.9159. The resulting model is still in a sufficient prediction (*sufficient performance*).

Keywords : Mango, Sugar, Laser *photo-acoustics* (LPAS)

PENDAHULUAN

Mangga merupakan buah tropis yang masih tetap populer di Indonesia bahkan mendunia, bahkan saat ini pembudidayaannya sudah sangat meluas ke berbagai belahan dunia. Buah mangga sebagai bahan makanan terdiri dari 80% air dan 15-20% gula dan berbagai kandungan lainnya (Aak, 1991).

Dewasa ini, laser banyak sekali digunakan untuk berbagai aplikasi diantaranya ialah pada bidang industri, kedokteran, militer, optik dan berbagai aplikasi interaksi laser dengan material. Proses interaksi laser dengan material meliputi pemesian, pemotongan (cutting), penandaan (marking), pemanasan (heat treatment), pelelehan (melting), ablasi, dan lainnya. Selain proses-proses di atas, laser yang diinteraksikan dengan material kaitannya juga menuju ke dalam bidang spektroskopi. Spektroskopi ialah ilmu yang mempelajari materi dan atributnya berdasarkan cahaya, suara atau partikel yang dipancarkan, diserap atau dipantulkan oleh materi tersebut. Spektroskopi juga dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari interaksi antara cahaya dan materi. Keunggulan metode ini yang tidak merusak bahan, persiapan sampel yang relative mudah, tidak memerlukan bahan kimia serta dapat menduga beberapa kualitas bahan secara simultan, menjadikan metode ini banyak diteliti dan diterapkan di banyak bidang pertanian (Gomez et al, 2015).

Tantangan teknologi masa kini dimana diperlukannya teknologi yang cepat, tepat dan akurat. Laser *Photo-Acoustics* (LPAS) merupakan salah satu alternatif untuk menjawab tantangan zaman. Pada penelitian ini akan dicoba meneliti rancang bangun laser *Photo-Acoustics* (LPAS) yang sederhana untuk menganalisis cepat kandungan buah mangga.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk merancang alat laser *Photo-Acoustics* (LPAS) untuk mendeteksi cepat kadar gula pada buah mangga.

Perumusan Masalah

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

1. Apakah kandungan buah mangga dapat diukur menggunakan metode *non-destructive* dengan rancang bangun alat self developed laser *Photo-Acoustic* (LPAS) tanpa merusak bahan.
2. Apakah rancangan self developed laser *Photo-Acoustic* (LPAS) ini Dapat mendeteksi kadar gula pada mangga.
3. Apakah terdapat kesamaan hasil pengukuran antara spektroskopis yang dihasilkan pada uji *non-destructive* dengan uji *destructive* pada mangga.

Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Merancang alat laser *Photo-Acoustics* (LPAS) untuk uji cepat kualitas buah mangga dengan menggunakan laser He-Ne pada frekuensi 632 ± 15 Hz.
2. Sensor yang digunakan adalah *Piezoelectric*.
3. Spectral pre-treatment yang digunakan adalah *Base Line Correction*.
4. Metode regresi yang digunakan adalah *Partial Least Square Regresion*.
5. Rancang bangun alat LPAS ini digunakan untuk mendeteksi kadar gula pada mangga.
6. Mangga yang digunakan pada penelitian ini adalah mangga gadong yang diperoleh dari kebun Sare Aceh Besar.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat berguna untuk para petani dan industri untuk dapat meningkatkan nilai mutu suatu komoditi pertanian khususnya dalam bidang pengolahan pangan yaitu sortasi yang lebih baik serta menambah wawasan tentang teknologi laser *Photo-Acoustic* (LPAS).

Hipotesis

Adapun hipotesis yang diperoleh nanti dalam penelitian ini adalah :

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

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan 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 dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah alat laser He-Ne, Dioda, Kapasitor, Resistor, Sensor *Piezoelectric*, Mikrokontroller, dan unscrambler software® X version 10.1. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah mangga varietas udang.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini akan terbagi atas dua tahap yaitu tahap awal yaitu merangkai *self developed laser Photo-Acoustics* dan tahap pengujian rancangan *self developed laser Photo-Acoustics*.

Perancangan Laser *Photo-Acoustics*

Rancangan *self developed laser photo-Acoustics* ini hal pertama yang dilakukan adalah merangkaian *power supply*, kedua merangkaian ADC converter, ketiga merangkai sensor *laser Photo-Acoustics* dengan menggunakan sensor *Piezoelectric Transducer* (PZT), keempat merangkai rangkaian mikroprosesor/mikrokontroller, dan membuat program *interface*.

Uji Rancangan Laser *Photo-Acoustics*

Penelitian ini menggunakan mangga varietas udang yang berasal dari sare di wilayah Aceh Besar. Mangga disimpan di kulkas dibawah suhu 20°C agar respirasi bahan berhenti. Kemudian dilakukan proses pengambilan spektrum LPAS.

Akuisisi spektrum LPAS Untuk Mangga

Spektrum LPAS untuk mangga didapatkan dengan menggunakan instrumen self developed LPAS dengan konfigurasi alur kerja alat (*workflow*) dibangun dengan menggunakan *self modified Thermo Integration*®. Spektrum transmisi LPAS diakuisisi dengan metode *pulsed excitation* pada frekuensi 632 ± 15 Hz dan wavenumber $4.000 - 10.000 \text{ cm}^{-1}$. File spektrum transmisi akan disimpan dalam bentuk file *.jdx dan *.csv untuk dianalisa lebih lanjut.

Pengukuran Kadar SSC Pada Mangga

Setelah proses akuisisi spektrum LPAS 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 LPAS 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 dihapus (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 Prediksi Kadar Nutrisi 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. Secara lebih ringkas, prosedur penelitian dan metode yang digunakan disusun dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) seperti pada Gambar 8.

Parameter statistika yang biasa digunakan untuk mengevaluasi model yang dihasilkan adalah Nilai Error (RMSEC), Nilai Koefisien Korelasi (r), Nilai Koefisien Determinasi (R²), dan RPD dihitung dengan persamaan sesuai Table 3. Interpretasi nilai koefisien determinasi dapat dilihat pada Table 4 dan nilai RPD pada Table 5.

Tabel 1. Persamaan Statistika Untuk Evaluasi Model Kalibrasi

Persamaan	Rekomendasi
$RMSEC (\%) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X_n - Y_n)^2}$	Sekecil mungkin. Rasio antara SEC dan SEP mendekati 100.
$r = \frac{\sum (X_n - \bar{X}_n)(Y_n - \bar{Y}_n)}{\sqrt{(\sum (X_n - \bar{X}_n)^2)(\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2)}}$	Sebaiknya mendekati 1 diatas 0,90 sudah tinggi.
$R^2 = \left(\frac{\sum (X_n - \bar{X}_n)(Y_n - \bar{Y}_n)}{\sqrt{(\sum (X_n - \bar{X}_n)^2)(\sum (Y_n - \bar{Y}_n)^2)}} \right)^2$	Tabel 4.
$RPD = \frac{SD}{RMSECV}$	Tabel 5.

Sumber : Ulva, 2016

Tabel 2. Interpretasi Nilai Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai Koefisien Determinasi	Interpretasi
0.50 - 0.65	Lebih dari 50% variable Y dipengaruhi oleh variable X
0.66 - 0.81	Mendekati prediksi kuantitatif
0.82 - 0.90	Prediksi yang baik
> 0.91	Prediksi yang sangat baik

Sumber : Karoui et al.2006

Tabel 3. Interpretasi Nilai RPD

Nilai RPD	Interpretasi
1,5 – 1,9	Prediksi masih kasar (<i>sufficient</i>)
2 – 2,5	<i>Good model performance</i>
2,5 – 3	Akurasi model prediksi yang baik dan sangat baik (<i>very good</i>)

Sumber : Nicolai et al.2007

Evaluasi keakuratan dan kehandalan model dievaluasi dengan melihat parameter statistik yang meliputi: koefisien kolerasi (r), koefisien determinasi (R^2), *residual predictive deviation* (RPD) *index*, *root mean square error cross validation* (RMSECV), *root mean square error calibration* (RMSEC), *latent variable* (LV), dan RMSE . Model persamaan kalibrasi data serapan dibandingkan dengan data aktual dan dilihat nilai r , RMSEC, RMSECV, RPD, dan LV. Model yang bagus memiliki nilai r dan R^2 yang tinggi, RMSEC yang rendah, RPD > 1.5 jumlah *latent variable* <9 ; RMSEC, RPD, dan RMSE dicari dengan persamaan tertentu (Florez, 2009 ; Jha, 2006 ; Nicolai, 2007 ; Zulfahrizal, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mangga

Penelitian ini menggunakan mangga varietas udang yang merupakan hasil panen pada bulan Maret 2017 dari kebun yang terletak di sare Aceh Besar. Sebelum dilakukannya pengambilan spektrum mangga terlebih dahulu disimpan di dalam lemari pendingin dibawah suhu 20°C selama kurang dari 24 jam. Adapun jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah berjumlah 45 sampel.

Setiap sampel 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 sampel 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) Sampel mangga (b) Sampel 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.) proses pengambilan data kadar gula menggunakan refraktometer dapat dilihat pada Foto 7. Bagian mangga yang telah ditembakkan laser He-Ne tidak terdapat kerusakan dan rasa pada mangga tidak mengalami perubahan, Kemudian data nilai rata – rata yang diperoleh dari alat refraktometer (N-1 Atago corp.) digunakan untuk menjadi acuan nilai Y dan langsung diplot dengan nilai X menggunakan software unscambler nilai X dapat dilihat di Lampiran 3, dan nilai Y dapat dilihat pada Lampiran 4.

Desain sensor LPAS

Desain dan simulasi sensor laser photo-Acoustics ini dilakukan dengan menggunakan software electronic workbench 5.1.2 yang mana simulasi dari sensor LPAS ini menggunakan instrument pengukur yang sudah tersedia di software simulasi ini seperti osiloscope, dan multimeter. Hasil desain sensor LPAS ini dapat dilihat di Gambar 2.

Gambar 2. Hasil desain sensor LPAS

Osiloscope merupakan suatu instrument pengukur elektronika yang berfungsi untuk memproyeksikan sinyal listrik serta frekuensi listrik menjadi visual gambar grafik, sehingga dapat dinyatakan sebagai indikator kinerja dari sebuah rangkaian elektronika. Berikut merupakan hasil dari pengukuran dengan osiloscope dapat dilihat di Gambar 11.

Gambar 3. Hasil pengukuran dengan osiloscope

Pengukuran dengan menggunakan instrument osiloscope menghasilkan gelombang simulasi yang terdistribusi dengan baik tanpa adanya noise atau gangguan hal ini menunjukkan bahwa sensor LPAS ini berjalan dengan baik tanpa ada error pada simulasi frekuensi 1 Hz. Kemudian, dilanjutkan dengan uji menggunakan instrument multimeter untuk mengetahui tegangan output dari sensor LPAS ini. Nilai tegangan output sensor ini serta hasil analisis Trancient rangkaian sensor dapat dilihat di Lampiran 4.

Spektrum raw transmisi LPAS mangga

Deteksi kadar gula mangga dengan menggunakan laser He-Ne pada frekuensi pulse 632 ± 15 Hz dengan wavenumber $4000 - 10.000$ cm^{-1} pada penelitian ini terlihat seperti gambar 9. Dari spektrum ini terlihat bahwa spektrum mengindikasikan keberadaan bahan organik dan kandungan nutrisi dari mangga akibat interaksi antara cahaya laser He-Ne dengan ikatan molekul O-H, C-H, C-O, dan N-H. Dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Raw spektrum LPAS mangga

Berdasarkan spektrum raw ini, serapan yang mengindikasikan adanya pengaruh antara laser He-Ne dengan berbagai zat organik, kandungan air terlihat pada wavenumber di kisaran 5849 $\text{cm}^{-1} - 6210$ cm^{-1} dan 7195 $\text{cm}^{-1} - 7559$ cm^{-1} . *Overtone* pertama molekul O-H terlihat jelas pada rentang panjang gelombang ini sehingga dapat dikatakan bahwa band untuk serapan air terjadi pada kisaran panjang gelombang 7200 cm^{-1} dan 5800 cm^{-1} . Sesuai dengan pernyataan dari Workman dan Weyer (2008) menyatakan bahwa serapan air terjadi pada gelombang $6915 - 7042$ cm^{-1} dan $5850 - 6210$ cm^{-1} .

Setelah dilakukan akuisisi spektrum pada sampel mangga, langkah selanjutnya adalah mendeteksi keberadaan data penciran dengan metode PCA yang dikombinasikan dengan *Hotelling T² ellipse* dengan harapan data yang dihasilkan akan lebih sempurna.

Analisa PCA dilakukan dengan melibatkan maksimum 7 komponen PC (*Principial Component*), fungsi daripada analisis PCA ini adalah untuk menghilangkan data data penciran yang dapat merusak data pendugaan pada saat validasi spektrum nanti, setelah dilakukan analisa PCA untuk analisa kadar gula mangga didapat *pricipal component* yang mampu menjelaskan total data sebesar 100%. Hal ini terlihat dari hasil klasifikasi PCA pada Gambar 5.

Gambar 5. Klasifikasi mangga berdasarkan spektrum transmisi LPAS metode PCA

Hasil dari Principal Component Analysis diperoleh data yang termasuk dalam elipse sebanyak 44 data sampel. Dan terdapat data noise yang harus dilakukan metode outlier removal sebanyak 1 data sampel. kemudian dilakukan metode koreksi *Baseline correction* untuk memperoleh data yang lebih baik.

Spektrum Baseline Correction LPAS

Berdasarkan spektrum raw untuk menghasilkan spektrum yang lebih baik maka dilakukan metode koreksi yaitu *Baseline correction*, setelah dilakukan metode koreksi *Baseline Correction* spektrum LPAS yang dihasilkan menjadi lebih baik dan noise yang dihasilkan pada raw spektrum awal berkurang serta akurasi spektrum semakin baik adapun spektrum LPAS yang dihasilkan seperti Gambar 6.

Gambar 6. Spektrum baseline LPAS kadar gula mangga

Hasil dari pada koreksi spektrum menggunakan metode *baseline correction* diperoleh spektrum yang lebih rapat hal ini disebabkan karena data noise pada spektrum raw pada telah dihilangkan, hal yang membedakan antara spektrum raw dan baseline adalah kerapatan spektrum, semakin rapat spektrum yang diperoleh maka data spektrum yang dihasilkan akan lebih baik hal ini disebabkan karena dalam penentuan panjang gelombang yang relevan untuk menentukan panjang gelombang yang relevan dalam menganalisis kadar gula akan semakin mudah.

Panjang Gelombang Relevan Untuk Klasifikasi Kadar Gula Sampel mangga

Berdasarkan hasil klasifikasi PCA pada Gambar 5. Tahap selanjutnya adalah dilakukan loading plot untuk melihat gelombang relevan yang optimum. Selain itu Loading plot juga berfungsi untuk melihat apakah tembakan laser He-Ne pada frekuensi pulse 632 ± 15 Hz zat organik kadar gula menjadi menjadi yang dominan diantara zat organik lainnya. Loading plot yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. 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 cahaya. Dalam loading plot terlihat jelas bahwa terdapat dua puncak data yang dominan yaitu pada puncak kisaran 5849 cm⁻¹ – 6210 cm⁻¹ dan 7195 cm⁻¹ – 7559 cm⁻¹, Kemudian sesuai dengan pernyataan dari Workman dan Weyer (2008) menyatakan bahwa serapan air terjadi pada gelombang kisaran 6915 – 7042 cm⁻¹ dan 5850 – 6210 cm⁻¹. Pada Loading Plot yang dihasilkan panjang gelombang yang relevan untuk mendeteksi kadar gula mangga adalah di kisaran antara wavenumber 5849 cm⁻¹ – 6210 cm⁻¹ dan 7195 cm⁻¹ – 7559 cm⁻¹.

Prediksi Kadar Gula Mangga Berbasis Spektrum raw LPAS

Data spektrum yang dihasilkan dari spektrum original yang belum diperbaiki menghasilkan nilai (R²) 0,7266, Hasil dari spektrum yang belum diperbaiki ini dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8. Data Raw Spektrum

Data dari Gambar 8 menunjukkan bahwa data prediksi dari hasil pengujian diperoleh data raw yang memiliki nilai koefisien korelasi (r) 0,8524 dan nilai koefisien determinasi (R²) 0,7266 sesuai dengan pernyataan Karoui et al (2006) bahwa prediksi yang dilakukan oleh peneliti mendekati prediksi kuantitatif. Selanjutnya nilai RPD yang dihasilkan dari nilai spektrum raw adalah 1,8294 sesuai dengan pernyataan Nicolai et al (2007) bahwa nilai RPD yang diperoleh peneliti masih tergolong prediksi kasar, selain itu nilai error (RMSEC) adalah 0,4208, serta diperoleh nilai latent variabelnya (LV) 6. Kemudian nilai yang merupakan data awal sebelum dilakukannya perbaikan atau data asli yang muncul sebelum diperbaiki dengan metode baseline correction untuk memperoleh data aktual. Data ini selanjutnya dilakukan perbaikan dengan metode baseline correction untuk memperoleh data yang sesuai data aktual yang lebih mudah dimengerti dan dipahami jika kita melihat spektrum yang muncul pada saat laser ditembakkan ke bahan. Data spektrum yang telah diperbaiki dapat terlihat pada grafik selanjutnya yang mana memperoleh nilai parameter statistik yang berbeda dan lebih baik dari data grafik sebelumnya.

Prediksi Kadar Gula Mangga Berbasis Spektrum Baseline Correction

Data spektrum yang dihasilkan dari spektrum yang telah diperbaiki dengan metode Baseline Correction menghasilkan nilai (R²) 0,7531, Hasil data spektrum yang sudah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. Data Spektrum Baseline Correction

Lebih lanjut pada grafik ini dapat dilihat bahwa dengan memperbaiki spektrum menggunakan metode baseline correction didapat nilai (R^2) 0,7531 sesuai dengan pernyataan Karoui et al (2006) prediksi yang dilakukan masih mendekati prediksi kuantitatif dan nilai koefisien korelasi (r) 0,8678 semakin mendekati satu artinya nilai spektrum yang dihasilkan lebih baik dari nilai spektrum sebelumnya. Dan dengan metode baseline correction ini telah menurunkan nilai error (RMSEC) menjadi 0,4018 dan nilai RPD sebesar 1,9159. Menurut Nicolai et al (2007) nilai RPD yang berada pada selang 1,5 – 1,9 merupakan bahwa model itu termasuk dalam sufficient performance yang dapat dilakukan mendekati prediksi kuantitatif kasar yang dianggap mungkin. Berikut tabel perbedaan data hasil validasi model yang diperoleh pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbedaan hasil validasi dan evaluasi setiap spektrum

Spektrum	SD	R^2	r	RMSECV	RPD	LV
Raw	0.7698	0.7266	0.8524	0.4208	1.8294	6
Baseline Correction	0.7698	0.7531	0.8678	0.4018	1.9159	5

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 masih dalam kategori mendekati prediksi kuantitatif, nilai koefisien korelasi (r) semakin mendekati angka satu, lalu nilai error (RMSEC) yang diperoleh semakin menurun dan tetap dibawah nilai Standar deviasi (SD), kemudian nilai RPD yang naik yang mendekati good model performance dan nilai LV yang menurun yang menandakan bahwa prediksi semakin efisien.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

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

1. Hasil desain sensor LPAS berjalan optimal hal ini diperoleh dari bentuk gelombang yang dihasilkan oleh instrument osiloscope pada analisis *transient* tanpa adanya *noise* dan terdistribusi merata.
2. Aplikasi teknologi laser *photo-acoustic* dapat mendeteksi kadar gula mangga dengan panjang gelombang yang relevan berada dikisaran 5849 cm^{-1} – 6210 cm^{-1} dan 7195 cm^{-1} – 7559 cm^{-1} .
3. Data pencilaan yang dideteksi dengan menggunakan metode *Hotelling T^2 ellipse* dari jumlah 45 sampel sebesar 21 sampel dan data yang masuk dalam *ellipse* sebesar 24 sampel.

4. Pada data raw spektrum diperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,8524 dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7266 yang mana mendekati prediksi kuantitatif. Selanjutnya nilai RPD yang dihasilkan dari nilai spektrum raw sebesar 1,8294 RPD tergolong prediksi kasar (*sufficient performance*), selain itu nilai error (RMSEC) adalah 0,4208, serta diperoleh nilai latent variabelnya (LV) = 6.
5. Peningkatan pada metode perbaikan spektrum dengan metode *baseline correction* menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7531, nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,8678, nilai error (RMSEC) sebesar 0,4018, dan nilai RPD sebesar 1,9159 yang tergolong dalam *sufficient performance*.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan oleh peneliti dalam penelitian ini adalah sebaiknya pada desain sensor diberi dukungan yang kuat agar distrak getaran yang terjadi selama input data dapat diminimalisir dan dilakukan deteksi data pencilaan dengan metode yang lain agar memperoleh data yang lebih sempurna serta dilakukan metode koreksi spektrum yang lain seperti metode koreksi *non-linear* untuk mengetahui apakah nilai R^2 yang diperoleh lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1991. Mangga. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Andarwulan, N., dan Koswara, S. 1992. Kimia Vitamin. Rajawali Press. Jakarta.
- Anton, S.R. and Sodano, H.A. 2007. A review of power harvesting using piezoelectric materials 2003 - 2006, Smart Materials and Structures. Vol 16: 3. (pp. doi: 10.1088/0964-1726/16/3/R01)
- Assa'idah dan Adnan, Y. 2009. Investigasi Terhadap Kemampuan 2 Tipe ADC. Skripsi. Jurusan Fisika. Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia.
- Crisoto, C.H. 1994. Stone fruit maturity indices: A descriptive review. Postharvest news Inf. Vol: 5. 65-68.
- Crisoto, C.H., D.Garner., G.M Crisoto., E.Bowerman. 2004. Increasing 'Blackamber' plum *Prunus salicina* Lindell consumer acceptance. Postharvest Biol.Technol. 34. 237-244.
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Shah, N., & Smith, P. 2011. Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. Food Research International. 44. 1888-1896.
- De Ketelaere, B., M.S Howarth., L. Crezee., J. Lammertyn., K. Viaene., I. Bullens., J. De Baermaeker. 2006. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low mass impact devices: A comparison of techniques. Postharvest Biol.Technol. 41. 275-284.
- Florez, K., Sanchez, M. T., Perez-Marin, D., Guerrero, J. E., Garrido-Varo, A. 2009. Feasibility in NIRS Instrument for Predicting Internal Quality in Intact Tomato. J. Food Engineering. 91. 311-318.

- Goodman, S. 1991. Vitamin C: The Master Nutrient. Penerjemah: Muhilal dan Komari. (2000). Ester-C Vitamin C Generasi III. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Gomez, A. H., He, Y., Pereira, A. G. 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*. 77. 313–319.
- Hapsari, M. D. Y, Estiasih, T, 2015. Processing and Grade Variation Apple (*Malus Sylvestris* mill) in Apple Extract Drink Processing: A Review. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol 3: 939-94.
- 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.
- Karoui R., A, M. Mouazena, E. Dufourb, L. Pillonelc, E. Schallerd, J. De Baerdamaackera, Dan J. O. Bossetc. 2006. Chemical Characterisation Of European Emmental Cheese By Near Infrared Spectroscopy Using Chemometric Tools. *International Dairy Journal*. 16: 1211-1217.
- Kavdir, I., Lu, R., Ariana, D., Ngouajio, M. 2007. Visible and near-infrared spectroscopy for nondestructive quality assessment of pickling cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*. 44, 165–174.
- Khomsan, A. 2003. *Pangan Dan Gizi Untuk Kesehatan*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Liu, Y. D., Ying, Y. B., Fu, X. P., & Lu, H. S. (2007). Experiments on predicting sugar content in apples by FT-NIR Technique. *Journal of Food Engineering*. 83: 986–989.
- Liu, Y., Ying, Y., Fu, X. 2005. Study on predicting sugar content and valid acidity of apples by near infrared diffuse reflectance technique. *Spectrosc. Anal.* 25 (11). 1793–1796.
- Mai, C. 2002. Non-Destructive Determination of Fruit Maturity of Thai Mango Cultivars by Near Infrared Spectroscopy. Thailand.
- Munawar, A. A., Horsten, D. V., Wegener, J. K., Pawelzik, E., Morlein, D. 2016. Rapid and non-destructive prediction of mango quality attributes using Fourier transform near infrared spectroscopy and chemometrics. 9: 208-215.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lamertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy : A review. *Postharvest Biology and Technology*. 46: 99-118.
- Paz, P., M.T Sanchez,. D.P Marin,. J.E Guerrero,. A.G Varo. 2008. Non destructive determination of total soluble solids content and firmness in plums using NIRS. *J.Agric. food chem.* 56: 2565-2570.
- Pereyma, M. 2007. Overview of the modern state of the vibration energy harvesting devices. In *International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH 2007)*. 10.1109/MEMSTECH.2007.4283437. 107-112.

- Pracaya. 2008. Bertanam Mangga. PT Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sampurno. 2000. Paramaeter Standar Mutu Ekstrak Tumbuhan Obat. Departemen Kesehatan. Jakarta.
- Sari, Elok Kurnia N, Bambang Susilo, Sumardi Hadi M. 2012. Proses Pengawetan Sari Buah Mangga (*Mallus sylvestris Mill*) secara Non-Termal Berbasis Teknologi Oscillating Magneting Field (OMF).Vol 13: 78-87.
- Sodano, H. A., Inman, D.J. and Park, G., 2004. Estimation of electric charge output for piezoelectric energy harvesting. Strain. Vol 40: 49-58.
- Sodano, H. A., Park, G. and Inman, D.J., 2004. A review of power harvesting using piezoelectric materials. The Shock and Vibration Digest, Vol 36: 3. 197-205.
- Tjokronegoro, A. 1985. Vitamin C dan Penggunaannya Dewasa Ini. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Jakarta.
- Thomson, A. K. 1996. Postharvest technology of fruit and vegetables. Hamolls Limited. Bodmin. Cornwall. Great Britain.
- Ulva, M. C. 2016. Prediksi kadar air bubuk biji kakao menggunakan nirs dengan metode pls (dengan pre-treatment derivative ke-1 dan mean centering). Skripsi Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh. Indonesia.
- Valero, C., C.H Crisoto, D.Slaughter. 2007. Relationship between non-destructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, plums and nectarines. Postharvest Biol.Technol. 44: 248- 253.
- Vives, A. A. 2008. Piezoelectric Transducers and aplications. Springer Science & Business Media.
- William, T. S. 2004. Laser Fundamentals. Cambrige University Press. England.
- Workman, J., Weyer, L.2008. Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy. CRC Press. London.
- Xudong, S., Hailiang, Z., Yande, L., 2009. Nondestructive assessment of quality of Nanfeng mandarin fruit by a portable near infrared spectroscopy. Int. J. Agric. Biol. Eng. 2: 65e71.
- Zulfahrizal, A. A. Munawar, dan H. Meilina. 2015. 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.
- Zulfahrizal. 2014. Pengembangan Metode Pengukuran Nondestruktif Untuk Menentukan Mutu dan Fermentasi Biji Kakao Utuh Menggunakan NIR Spectroscopy. Institut Pertanian Bogor. Bogor.