

Technical Paper

Deteksi *Chilling Injury* pada Buah Mangga Gedong Gincu dengan Menggunakan Near Infrared Spectroscopy*Detection of Chilling Injury in Mango Fruits cv. Gedong Gincu by Using Near Infrared Spectroscopy*Putri Wulandari Zainal¹, Usman Ahmad² dan Y. Aris Purwanto³**Abstract**

Chilling Injury is a major problem in storing mango fruit in low temperature which is unavoidable in order to extend the shelf life of fruit. symptoms of chilling injury during storage associated with the change in pH due to ion leakage. Chilling injury can be detected during storage destructively, but it will require time and a lot of samples. Alternatively, the detection can be performed non-destructively by using near infrared (NIR). The purpose of this research is to build the NIR calibration models for predicting ion leakage relating with change in pH and the detection of chilling injury symptoms can be done through ion leakage storage. Reflectant NIR measurements conducted on mango fruit stored at a temperature of 8°C and 13°C. Determination of chilling injury symptoms was predicted based on change in pH and the rate of ion leakage. The analysis showed that NIR spectroscopy was able to predict the change in pH during storage of mango fruit at a temperature of 8°C based on reflectance and PLS method. Moreover ion leakage could also be predicted properly through the pH of the NIR predictions. The developed method could detect the chilling injury on mangoes after three days storage at a temperature of 8°C.

Key words: NIR, Mangoes fruit, chilling injury, ion leakage, pH.

Abstrak

Chilling injury merupakan salah satu masalah utama didalam penyimpanan dingin buah mangga, dimana penyimpanan dingin ini berfungsi untuk memperpanjang umur simpan buah. Gejala *chilling injury* selama penyimpanan berhubungan dengan perubahan pH yang disebabkan oleh *ion leakage*. *Chilling injury* selama penyimpanan dapat dideteksi secara destruktif, tetapi deteksi secara destruktif membutuhkan waktu yang lama dan sampel yang banyak. Oleh karena itu, deteksi secara non-destruktif dapat dilakukan dengan menggunakan NIR. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model kalibrasi NIR untuk dapat memprediksi *ion leakage* yang berhubungan dengan perubahan pH dan deteksi gejala *chilling injury* yang berhubungan dengan *ion leakage* selama penyimpanan. Pengukuran reflektan NIR dilakukan pada buah mangga yang disimpan pada suhu 8°C and 13°C. Pengukuran gejala *chilling injury* diprediksi berdasarkan pH dan rata-rata perubahan *ion leakage*. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa NIR-spectroscopy mampu untuk memprediksi perubahan pH selama penyimpanan dingin buah mangga suhu 8°C berdasarkan data reflektan dan metode PLS. Selain itu, *ion leakage* dapat diprediksi dengan menggunakan pH prediksi NIR. Pengembangan metode ini, dapat mendeteksi *chilling injury* pada buah mangga dimana pada pendeteksian *chilling injury* terjadi pada hari ketiga penyimpanan suhu 8°C.

Kata Kunci: NIR, Buah mangga, *chilling injury*, *ion leakage*, pH.

Diterima: 09 Nopember 2011; Disetujui: 13 Maret 2012

Pendahuluan

Mangga merupakan buah eksotik tropis yang dimpor oleh semua pasar utama dunia. Penyimpanan dingin dibutuhkan untuk dapat memperpanjang umur simpan, akan tetapi penyimpanan dingin ini memiliki

resiko. Resiko kerusakan dingin ini sering disebut sebagai *chilling injury* yang dapat menurunkan mutu buah mangga. Menurut Skog (1998), *chilling injury* (CI) merupakan gangguan utama pada tanaman tropis dan subtropis, gangguan fisiologi ini akan muncul pada saat produk disimpan pada suhu

¹ Mahasiswa S2 Program Mayor Teknologi Pascapanen (TPP), Sekolah Pascasarjana IPB, Email: ovale_molee@yahoo.com,

² Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Email: usmanahmad@ipb.ac.id

³ Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Email: y_aris_purwanto@yahoo.com

rendah. Temperature kritis untuk kerusakan suhu rendah berbeda-beda tergantung pada komoditas. Deteksi *chilling injury* (CI) ini sering sulit karena membutuhkan waktu yang cukup lama untuk gejala CI muncul pada permukaan. Menurut Winarno (2002), gejala *chilling* sering muncul beberapa hari setelah berada di suhu yang lebih hangat dalam bentuk legokan (*pitting*) atau kulit produk memar, terjadi internal discoloration atau gagal matang. Menurut Salveit (2000), peningkatan permeabilitas membran dan kenaikan rata-rata kebocoran ion berhubungan dengan jaringan yang sensitif terhadap suhu dingin. Menurut Purwanto *et al.* (2005), pedeteksian bagian internal buah seperti laju respirasi, perubahan pH, persentase kebocoran ion dapat dilakukan untuk mendeteksi gejala CI. Salveit (2005) menyatakan bahwa kebocoran ion (*ion leakage*) meningkat setelah 4 hari penyimpanan buah tomat pada suhu 12.5°C. Terjadinya IL juga mempengaruhi perubahan pH yang tidak normal. Secara normal konsentrasi H⁺ didalam matriks rendah sehingga pH tinggi dan diluar matriks konsentrasi H⁺ tinggi sehingga pH rendah. Dengan adanya CI maka terjadi kerusakan membran sehingga proses difusi dan keluar masuknya ion berlangsung secara tidak normal. Hal inilah yang menyebabkan pH buah mangga tetap rendah (asam) selama penyimpanan atau terjadi gagal matang.

Mutu buah di Indonesia biasanya masih dideteksi/didiagnosis secara manual dengan menggunakan tanda-tanda visual sehingga mutu bagian dalam dari buah tidak terdeteksi dengan baik. Metode yang digunakan untuk mendeteksi bagian dalam, biasanya dengan menggunakan metode destruktif yang dapat merusak buah-buahan secara keseluruhan. NIR (*Near Infrared*) merupakan salah satu metode deteksi kerusakan secara non-destruktif yang pada saat ini mulai berkembang. Spektrum NIR pada makanan terdiri atas luasan gelombang yang timbul dari tumpang tindih penyerapan yang sesuai dengan kombinasi getaran yang melibatkan C-H, O-H dan N-H yang merupakan struktur kimia. Konsentrasi unsur seperti air, protein, lemak, dan karbohidrat secara prinsip dapat ditentukan dengan menggunakan penyerapan spektroskopi (Osborne, 1993). Dengan adanya gejala kerusakan yang membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat terlihat secara eksternal maka diperlukan salah satu teknologi untuk deteksi dan diagnosa kerusakan dingin bagian internal secara tidak merusak (*non-destructive*). Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai pengembangan sistem pengukuran NIR *spectroscopy* untuk deteksi kerusakan dingin (*chilling injury*) buah mangga secara non-destruktif. Pada pengembangan sistem ini diperlukan pembelajaran tentang spektrum reflektan dan absorban NIR *spectroscopy* dalam hubungannya dengan *ion leakage* melalui perubahan pH untuk mendeteksi gejala *chilling injury* pada buah mangga gedong gincu selama penyimpanan dingin. Selain

itu juga, mengembangkan model kalibrasi NIR untuk memprediksi *ion leakage* berdasarkan pH dengan metode PLS.

Metodologi Penelitian

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan adalah mangga gedong gincu dengan umur panen 90 hari setelah bunga mekar (HSBM) dan indeks kematangan 60 %. Mangga gedong gincu yang digunakan adalah tingkat ukuran sedang dengan berat 200-250 gram, berasal dari Indramayu yang dipetik langsung dari petani mangga di Indramayu. Bahan lain yang digunakan adalah teobendazol, aquadest, dan aquabidest. Peralatan yang digunakan dalam deteksi *chilling injury* ini adalah spektrometer NIRFlex N-500 *fiber optic solid* dari Buchi Switzerland dengan panjang gelombang 800-2500 nm. Selain itu peralatan yang digunakan adalah *cold storage* 8°C dan 13°C, *color reader* minolta CR-10 untuk mengukur warna buah mangga sehingga dengan menggunakan alat ukur ini maka dapat diketahui nilai L*a*b*. *Rheometer* model CR 300 DX-L untuk mengukur kekerasan. Kandungan padatan terlarut diukur dengan portable digital *refractometer atago* PR-201 pada suhu ruang. Pengukuran pH dengan menggunakan pH meter. Pengukuran *ion leakage* menggunakan *electrical conductivity* (Horiba D-24).

Penelitian Tahap Peratama

Penelitian tahap pertama bertujuan untuk mengembangkan model kalibrasi NIR. Model kalibrasi NIR bertujuan untuk memprediksi pH serta menentukan persamaan regresi antara pH pengukuran dan *slope ion leakage* pengukuran. Buah mangga yang digunakan sebanyak 126 buah dengan umur panen 90 hari setelah bunga mekar (HSBM). Bahan yang diuji terlebih dahulu disortasi, di cuci dan direndam dalam larutan TBZ 10 ppm selama 1 menit lalu ditiriskan dan dikering anginkan. Kemudian buah dikemas didalam kardus dan dimasukkan kedalam *cold storage* 8°C dan 13°C, jumlah mangga masing-masing 53 buah. Pengukuran spectra reflektan dilakukan sebanyak 16 kali selama 22 hari. Pengukuran spectra reflektan dilakukan dengan menggunakan NIRFlex N-500 *fiber optic solid* yang dilengkapi oleh software pendukung seperti *NIR Ware operator* dan *NIR Ware management console*.

Kalibrasi dan Validasi NIR menggunakan Metode PLS

Kalibrasi dan validasi NIR ini dilakukan terhadap pH dengan *ion leakage*. Model kalibrasi merupakan model yang menunjukkan tingkat korelasi antara pH dan *ion leakage* dengan reflektan NIR sedangkan validasi merupakan uji terhadap model kalibrasi. Kalibrasi dan validasi ini juga dilakukan pada data

absorban NIR. Olah data spectra NIR dengan metode PLS dilakukan dengan menggunakan program NIRCAl 5.2 yang terintegrasi dengan spectrometer. Menurut William and Norris (1990), jumlah data kalibrasi sekitar 2/3 dan validasi 1/3 dari total data pada setiap suhu penyimpanan. Jumlah data yang digunakan adalah 153 data untuk masing-masing tingkatan suhu. Pengolahan awal (*pretreatment*) berupa normalisasi 0-1. Perhitungan nilai normalisasi dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$\text{Nilai normalisasi} = \frac{\text{nilai aktual-nilai minimal}}{\text{nilai maksimal} - \text{nilai minimal}} \quad (1)$$

Evaluasi Hasil Kalibrasi dan Validasi

Menurut Liu *et al.* (2010), kinerja dari model kalibrasi dievaluasi dengan membandingkan pH hasil prediksi NIR dengan hasil pH yang diukur. Evaluasi dilakukan berdasarkan *root mean square error calibration* (RMSEC), *root mean square error prediction* (RMSEP), dan *correlation coefficient* (r). Pada penelitian ini evaluasi hasil kalibrasi dan validasi dapat dilihat pada Persamaan 2 dan 3.

$$RMSEP, RMSEC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (3)$$

Dimana \hat{y}_i adalah nilai prediksi setiap pengamatan, y_i adalah nilai ukur, n adalah jumlah data, i adalah urutan data dari ke-1 sampai ke- n dan y_m merupakan nilai rata-rata dari validasi atau prediksi. Menurut William and Norris (1990), model kalibrasi yang baik memiliki nilai RMSEP, RMSEC, dan *coefficient variance* (CV) yang kecil serta nilai r yang tinggi. Untuk mendapatkan nilai *coefficient variance* (CV) maka dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Dimana x adalah pH hasil pengukuran. Model kalibrasi yang terbaik dari hasil evaluasi akan digunakan untuk pendugaan *slope ion leakage* pada penelitian tahap dua.

$$CV = \frac{RMSEP}{X_{\text{rata-rata set validasi}}} \quad (4)$$

Penentuan Persamaan Regresi pH dengan Slope Ion Leakage

Penentuan persamaan regresi pH dengan slope ion leakage ini dilakukan dengan cara membandingkan pH hasil pengukuran dengan slope ion leakage hasil pengukuran selama penyimpanan. Analisis regresi dilakukan dengan menggunakan bantuan *microsoft office*. Persamaan regresi dapat digunakan sebagai persamaan untuk perhitungan slope ion leakage prediksi jika $p\text{-value} < 5\%$.

Penelitian Tahap Kedua

Pada penelitian tahap kedua ini dilakukan

pengukuran pH prediksi dari buah monitoring. Sampel yang digunakan sebanyak 10 buah untuk masing-masing tingkatan suhu. Setelah pH prediksi NIR didapatkan maka dilakukan normalisasi berdasarkan dari model kalibrasi terbaik yang dihasilkan pada tahap kedua. pH prediksi NIR yang telah dinormalisasikan, digunakan untuk memprediksi *slope ion leakage* yang terjadi selama penyimpanan. Prediksi *slope ion leakage* ini dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi, hasil dari penelitian tahap pertama dimana pada persamaan ini dimasukkan hasil pH prediksi NIR pada penelitian tahap kedua.

Hasil dan Pembahasan

Pola Gelombang Spektra NIR pada Buah Mangga Gedong Selama Penyimpanan

Kontribusi dari setiap fenomena tergantung pada konstitusi kimia dan parameter fisik dari sampel. Pola spektrum reflektan NIR secara umum terlihat hampir sama, perbedaannya yaitu spektrum reflektan NIR pada suhu 13°C lebih rapat dibandingkan dengan suhu 8°C. Data reflektan dapat diubah menjadi data absorban dengan cara mentransformasikan data reflektan NIR dalam log (1/R). Pada spektrum absorban kerapatan gelombang lebih merenggang dibanding pada spektrum reflektan.

Pretreatment data dilakukan dengan menggunakan normalisasi 0-1. Dari pola spektrum NIR terlihat bahwa umumnya terdapat spektrum yang kerapatannya masih merenggang karena terdapat noise atau guncangan pada saat pengukuran menggunakan NIR *spectroscopy*. Dalam analisis data menggunakan NIRCAl 5.2 menggunakan metode PLS dan *pretreatment* normalisasi, dapat terlihat pada Gambar 1 dan 2 bahwa spektrum NIR mulai berhimpitan dan noise ataupun error dapat direduksi.

Perubahan Parameter Chilling Injury Selama Penyimpanan

pH

Perubahan pH pada buah mangga yang terjadi selama penyimpanan untuk suhu 8°C tidak terlalu signifikan atau tidak terlalu banyak meningkat dari penyimpanan hari ke-0 sampai hari ke-22 yaitu 3.02 menjadi 3.37. Sedangkan untuk penyimpanan suhu 13°C mengalami peningkatan pH yang cukup besar yaitu 3.05 menjadi 4.69. Secara normal, perubahan pH buah mangga selama penyimpanan adalah dari 2 menjadi ±5.5. Pada penelitian ini terjadi perubahan pH yang tidak normal dimana menandakan telah terjadinya gejala CI. Hal ini terlihat bahwa pH, kegiatan enzim, suhu, dan lama penyimpanan saling berpengaruh dan keempat komponen ini akan berpengaruh terhadap terjadinya kebocoran ion.

Tabel 1. Laju perubahan ion leakage pada penyimpanan suhu 8°C

Hari penyimpanan	Laju perubahan <i>ion leakage</i>
1	0.182
2	0.204
3	0.236
4*	0.240
5	0.231

Kebocoran Ion (Ion Leakage)

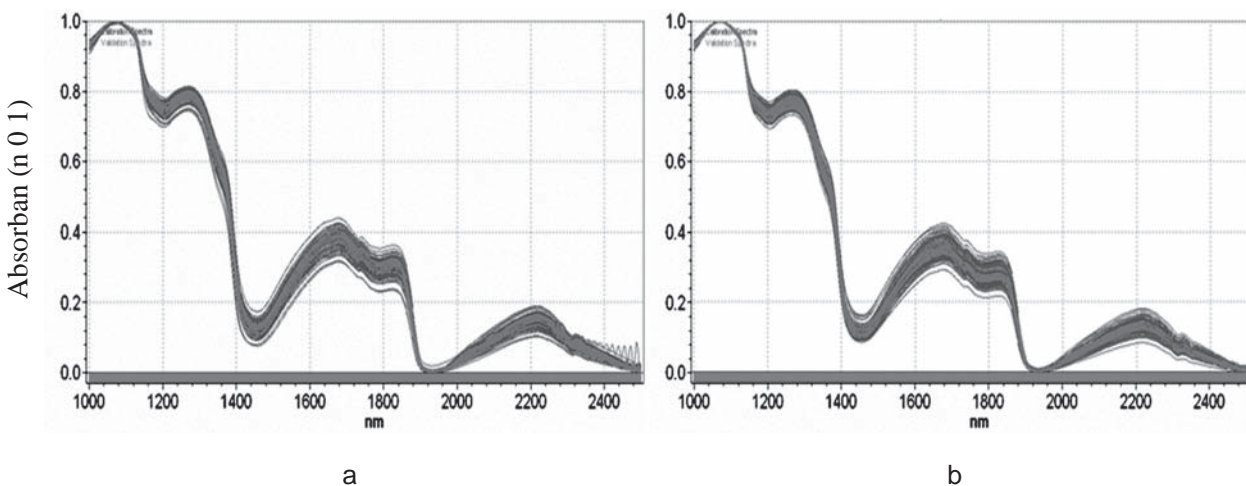
Laju perubahan *ion leakage* selama penyimpanan diamati dari perubahan nilai *b* (*gradien*) dari persamaan garis linier yang dibentuk terhadap perubahan persentase ion leakage dengan waktu pengamatan selama 240 menit. Semakin tinggi nilai laju perubahan *ion leakage* maka menunjukkan semakin besarnya terjadi kerusakan pada membran sel. Laju perubahan ion leakage ini bersifat fluaktif dimana untuk penyimpanan buah mangga suhu

8°C pada hari ke-4 slope ion meningkat dan turun pada hari ke-5 dan akhir penyimpanan (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa awal kebocoran ion terjadi pada hari ke-4 dan hari ke-6 dengans slope ion leakage sebesar 0.240 dan 0.257 di indikasikan sebagai awal terjadinya gejala CI

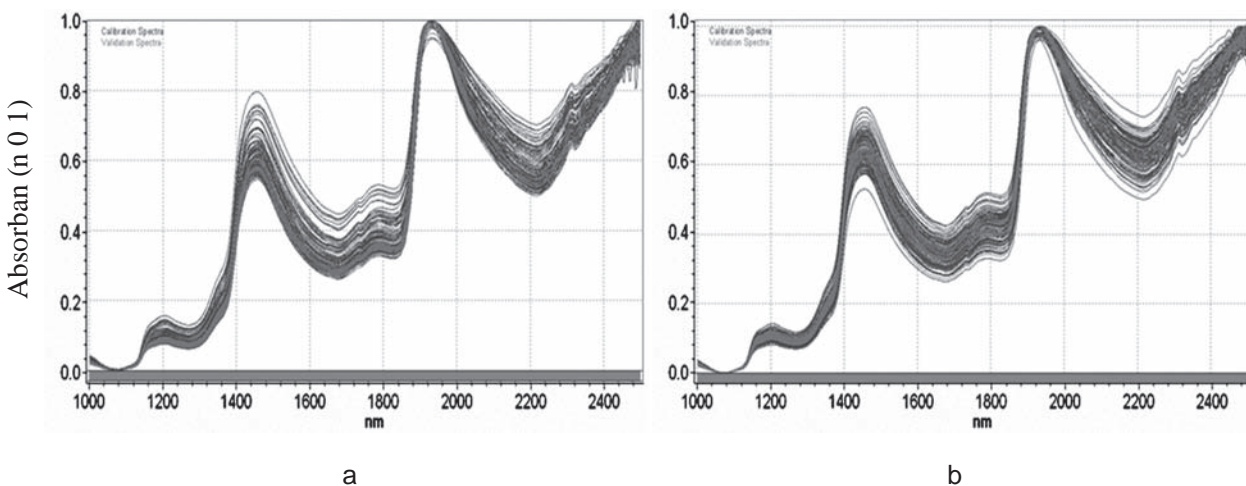
Hasil Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi dan validasi spektra NIR dilakukan untuk memprediksi pH buah mangga selama penyimpanan yang didapatkan berdasarkan pengembangan korelasi antara data reflektan spektra NIR dengan hasil pengukuran secara destruktif pH buah (Gambar 3 dan 4). Banyaknya data untuk kalibrasi dan validasi untuk masing-masing tingkatan suhu penyimpanan adalah 102 dan 51.

Hasil kalibrasi NIR terhadap pH buah mangga dengan menggunakan data reflektan NIR menunjukkan koefisien korelasi (*r*) sebesar 0.8176



Gambar 1. Pola spektrum reflektan NIR setelah normalisasi pada buah mangga penyimpanan (a) suhu 8°C, dan (b) suhu 13°C



Gambar 2. Pola spektrum absorban NIR setelah normalisasi pada buah mangga penyimpanan (a) suhu 8°C, dan (b) suhu 13°C

dan 0.7999 untuk data absorban. Hal ini menyatakan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara pH buah mangga baik dengan reflektan NIR ataupun dengan absorban NIR. Untuk nilai R² sebesar 0,6684 untuk data reflektan dan 0.6398 untuk data absorban. Hal ini menunjukkan bahwa konstribusi pH hasil pengukuran sebesar 66.84 % dan 63.98 % terhadap variasi pH prediksi NIR.

Evaluasi Kalibrasi dan Validasi

Evaluasi dilakukan terhadap hasil kalibrasi dan validasi NIR terhadap pH buah mangga penyimpanan suhu 8°C yang menggunakan metode PLS. Hasil evaluasi (Tabel 2) menunjukkan bahwa model kalibrasi memiliki korelasi yang baik. Hal ini terlihat dari nilai korelasi yang mendekati 1, baik pada model kalibrasi menggunakan data reflektan ataupun menggunakan data absorban. Nilai korelasi (r) untuk data reflektan yaitu 0.8176 dan 0.7999 nilai korelasi (r) untuk data absorban. Selisih nilai RMSEC dan RMSEP, serta CV yang kecil untuk masing-masing data reflektan dan absorban yaitu 6.4160 % dan 7.0623 % dan nilai CV 2.1616% dan 2,5176%. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi dan kestabilan model baik. Menurut Novita (2011), nilai CV < 5% kestabilan model yang baik.

Hubungan pH terhadap Slope Ion Leakage

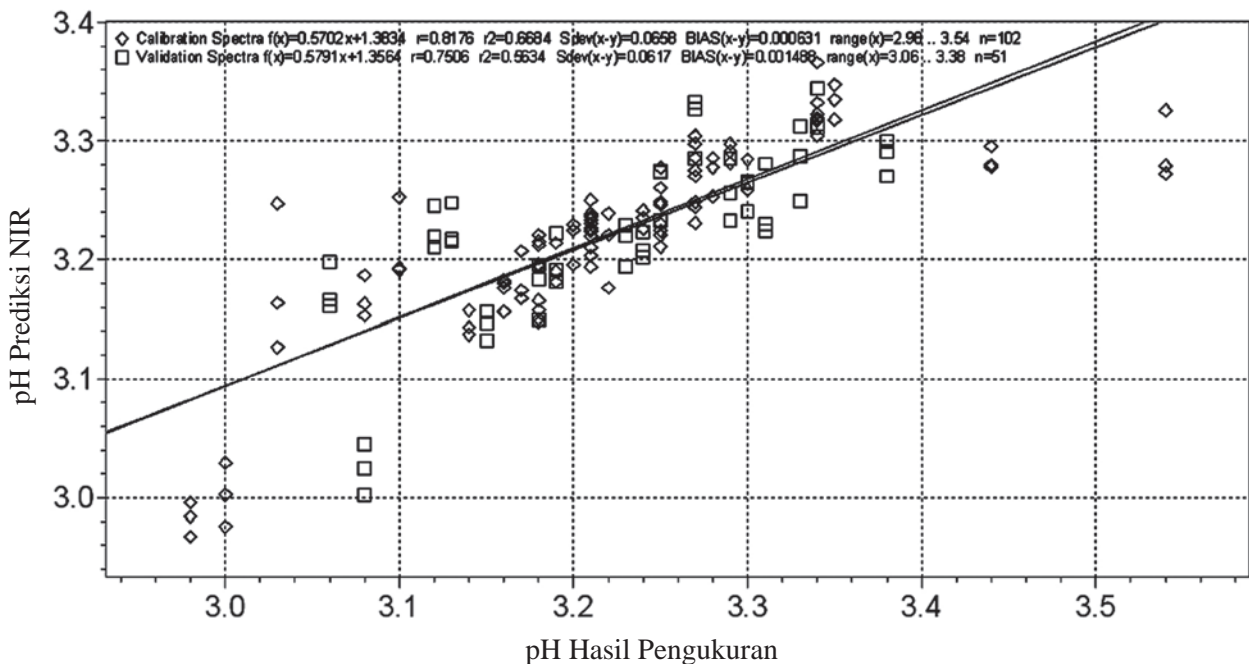
Slope *ion leakage* adalah laju perubahan kebocoran ion yang dihitung dari menit ke-20 sampai menit ke-240. Pengamatan untuk laju kebocoran ion (*slope ion leakage*) ini dilakukan setiap hari, selain itu juga dilakukan pengukuran pH untuk sampel buah pada kondisi yang sama. Pada penelitian ini, pH dijadikan sebagai parameter

Tabel 2. Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi NIR

Komponen evaluasi	Data reflektan	Data absorban
Nilai r	0.8176	0.7999
RMSEC (%)	2.3836	3.2705
RMSEP (%)	6.9870	8.1378
CV (%)	2.1616	2.5176
Selisih RMSE (%)	4.6035	4.8673

untuk menduga kebocoran ion akibat CI pada buah mangga. Hal ini karena, pH memiliki ikatan H sehingga dapat berinteraksi dengan gelombang NIR sedangkan *ion leakage* susah untuk dapat berinteraksi dengan gelombang NIR. Oleh karena itu, untuk membuktikan hubungan antara pH dengan ion leakage maka digunakan persamaan regresi berdasarkan data pH setiap hari dengan data *slope ion leakage* dari pengukuran destruktif. Dalam penelitian ini slope ion leakage dinilai dapat mewakili sebagai kondisi terjadinya chilling injury pada buah. Berdasarkan hubungan parameter pH hasil pengukuran dan slope *ion leakage* maka diperoleh Persamaan 5, yang akan digunakan untuk mendapatkan slope ion leakage prediksi dari pH prediksi NIR. Nilai y merupakan slope ion leakage prediksi dan nilai x adalah pH prediksi NIR. Persaman 5 ini dapat digunakan karena dari hasil analisis regresi diperoleh nilai p-value < 5%.

$$y = 0.148x - 0,243 \tag{5}$$



Gambar 3. Hasil kalibrasi dan validasi metoda PLS menggunakan data reflektan

Tabel 3. Prediksi ion leakage berdasarkan reflektan NIR

Hari ke-	Reflektan	
	pH prediksi	Prediksi <i>ion leakage</i>
0	2.9826	0.1984
1	3.2203	0.2336
2	3.1979	0.2303
3*	3.2324	0.2354
4	3.2225	0.2339

pH Prediksi NIR Spectroscopy

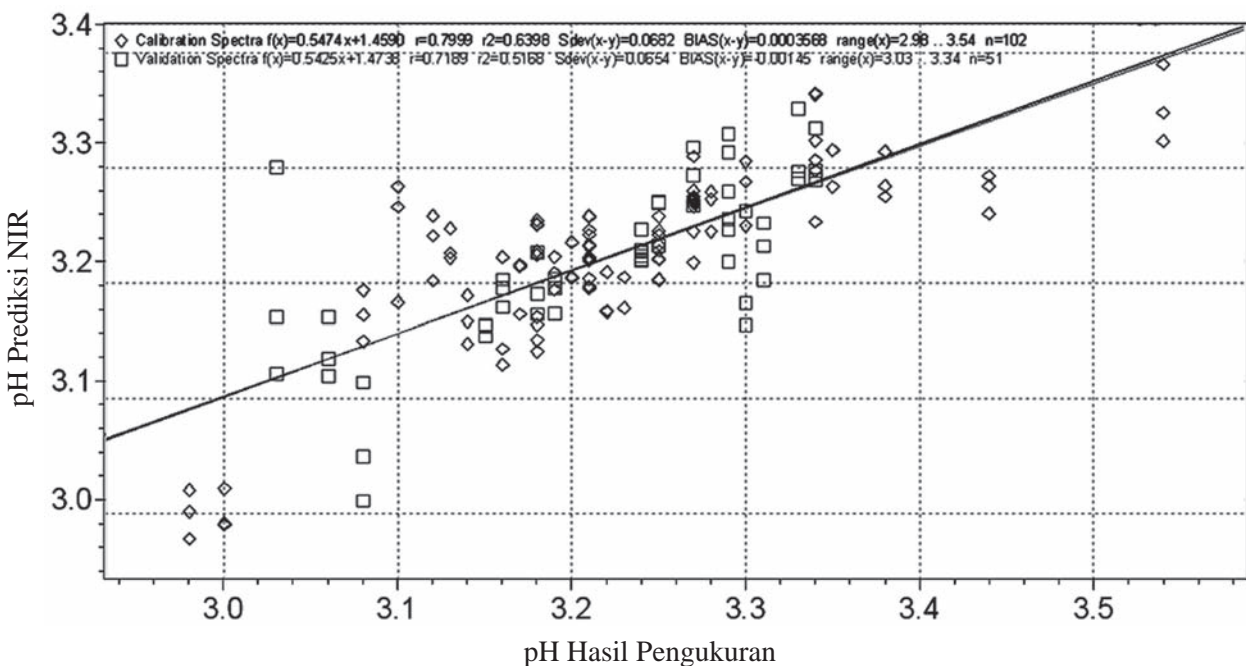
pH prediksi NIR spectroscopy merupakan pH hasil prediksi dari gelombang NIR spectroscopy. Perubahan pH prediksi ini selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 5. pH prediksi NIR spectroscopy ini merupakan pengukuran pH secara nondestruktif menggunakan NIRcall 5.2 yang langsung berhubungan dengan spektrometer NIRFlex N-500. pH yang diukur secara nondestruktif menghasilkan data perubahan pH yang tidak terlalu banyak meningkat selama penyimpanan suhu 8°C dimana pH berkisar 2.9-3.28. Untuk pH prediksi menggunakan absorban NIR spectroscopy memiliki hasil yang hampir sama dengan menggunakan reflektan NIR. Hasil dari pH dari pengukuran menggunakan NIR spectroscopy dengan pengukuran secara destruktif memiliki kecenderungan yang sama dimana pada suhu penyimpanan 8°C memiliki pH yang tetap rendah sampai akhir penyimpanan. Hal ini bisa dikatakan bahwa pada penyimpanan suhu 8°C buah

mengalami ciri-ciri gagal matang diman pH tetap rendah sampai akhir penyimpanan.

Deteksi *Chilling Injury* pada Buah Mangga Menggunakan NIR Spectroscopy

Deteksi *chilling injury* menggunakan NIR spectroscopy didasarkan pada gejala internal seperti perubahan pH yang tidak normal selama penyimpanan, terjadinya kebocoran ion pada membran sel sedangkan parameter eksternal adalah terjadinya kehilangan berat, kegagalan matang yang ditandai oleh tidak berubahnya warna buah selama penyimpanan, buah yang tetap asam, dan kekerasan yang tetap keras. Deteksi *chilling injury* pada penelitian ini didasarkan prediksi slope *ion leakage* dimana prediksi dari kebocoran ion berdasarkan perubahan pH yang dideteksi menggunakan NIR spectroscopy. Prediksi *ion leakage* yang dihasilkan menunjukkan bahwa pengukuran pH menggunakan NIR spectroscopy mampu dengan baik memprediksi terjadinya kebocoran ion (*ion leakage*) pada suhu penyimpanan 8°C (Tabel 3).

Hal ini terbukti dari prediksi slope *ion leakage* tertinggi atau terjadinya gejala CI pada hari ke-3 dengan menggunakan pH prediksi hasil dari reflektan NIR sedangkan hasil slope *ion leakage* tertinggi secara non-destruktif terjadi pada hari ke-4 (Tabel 4) serta penampakan gejala CI secara visual mulai tampak pada hari ke-10. Oleh karena itu, pendeteksian *chilling injury* menggunakan NIR spectroscopy dapat menduga terjadinya gejala *chilling injury* lebih awal atau dengan kata lain dapat dijadikan sebagai *early detection*. Dengan adanya *early detection* maka *chilling injury* dapat dicegah sebelum gejala dapat merusak jaringan



Gambar 4. Hasil kalibrasi dan validasi metoda PLS menggunakan data absorban

Tabel 4. Kondisi buah mangga pada hari ke-4 yang disimpan pada suhu 8°C

Parameter <i>chilling injury</i>	Nilai	Parameter mutu	Nilai	Satuan
pH	3.157	Warna	Hijau	
Ion leakage	0.240	Susut Bobot	0.471	%
		Kekerasan	3.249	kgf
		TPT	12.056	°Brix

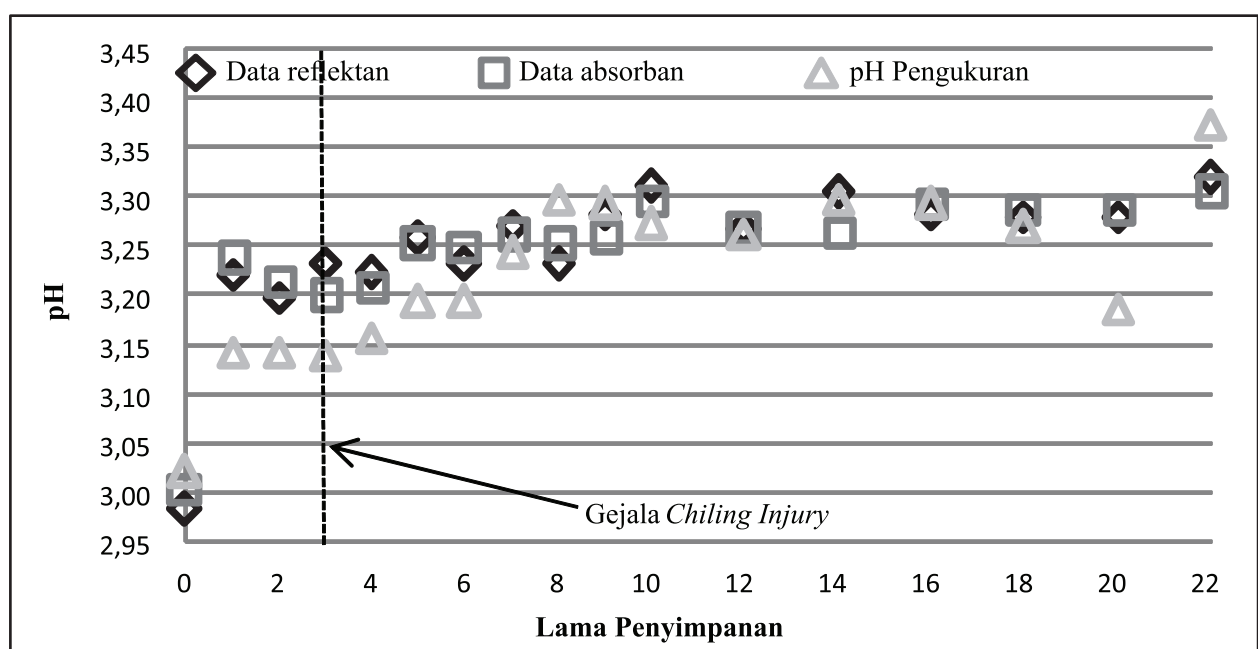
secara permanen dan gejala keluar ke permukaan. Sedangkan pH prediksi NIR berdasarkan data absorban, tidak mampu dengan baik memprediksi terjadinya *ion leakage* pada buah mangga. Hal ini dapat dilihat dari hasil prediksi *slope ion leakage* menggunakan pH prediksi NIR yaitu prediksi terjadinya *ion leakage* pada hari ke-5.

Kesimpulan

1. Reflektan dan absorban NIR mampu dengan baik menduga terjadinya perubahan pH selama penyimpanan buah mangga suhu 8°C, akan tetapi untuk prediksi *ion leakage*, hasil prediksi menggunakan reflektan NIR lebih baik dibandingkan absorban NIR.
2. Model kalibrasi pH yang dibangun menggunakan metode PLS, memiliki akurasi dan kestabilan model yang baik untuk penyimpanan suhu 8°C dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0.8176, selisih RMSE 4.6035%, dan CV 2.1616%, sedangkan pada suhu 13°C mendapatkan model yang kurang stabil dengan r sebesar 0.9710, selisih RMSE 17.6903%, dan CV 7.4749%.
3. Dalam prediksi pH NIR menggunakan

persamaan: $f(x) = 0.5702x + 1.3834$ untuk data reflektan dan $f(x) = 0.5474x + 1.4590$ untuk data absorban.

4. Laju perubahan *ion leakage* selama penyimpanan dapat diprediksi oleh perubahan pH dengan menggunakan NIR reflektan berdasarkan persamaan: $y = 0.148x - 0.243$ untuk suhu penyimpanan 8°C dan NIR reflektan menduga terjadinya gejala *chilling injury* berdasarkan prediksi *ion leakage* pada hari ke-3 yaitu 0.235. Pada penyimpanan suhu 13°C, persamaan yang dihasilkan mempunyai nilai korelasi yang kecil dan p-value yang > 0.05, yang menunjukkan tidak adanya gejala *chilling injury* dalam penyimpanan tersebut.
5. Gejala *chilling injury* secara destruktif pada buah mangga yang disimpan suhu 8°C terjadi di hari ke-4 dengan ciri terjadinya kebocoran ion tertinggi. Parameter lain yang dapat dilihat dari terjadinya gejala *chilling injury* ini adalah pH yang tetap rendah, warna yang tetap hijau. Hal ini menunjukkan metabolisme tidak berjalan dengan semestinya dalam jangka waktu 22 hari sehingga terjadi kegagalan matang.



Gambar 5 Perubahan pH Prediksi berdasarkan data reflektan, absorban dan data destruktif.

Daftar Pustaka

- Liu Y, Sun X, Sun X, dan Ouyang A. 2010. Nondestructive measurement of soluble solid content of navel orange fruit by visible-NIR spectrometric technique with PLSR and PCA-BPNN. Vol 43: 602-607. <http://www.sciencedirect.com/science>. [17 Juli 2011].
- Osborne, BG. 1993. Near-infrared spectroscopy in food analysis.. Encyclopedia of Analytical chemistry. Edited by Rober A. Meyers. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. <http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/phyenphuong/Near%20Infrared%20Spectroscopy%20in%20Food%20Analysis.pdf>. [16 Juli 2011].
- Purwanto, Y. A., S. Oshita, Y. Kawagoe and Y. Makino. 2005. Determination of chilling injury in cucumber fruits through proton NMR analysis. Proceedings reviewed paper *International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural System*, September 12-15, 2005, Kanazawa, Japan.
- Salveit, M.E. 2000. Discovery of chilling injury. In: Discoveriees in plant biology vol III (edit. Kung, SD and Yang SF). Singapore: World Scientific Publishing.
- Salveit ME. 2005. Influence of heat shocks on the kinetiks of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs. Vol 36: 87-92. <http://www.sciencedirect.com/science>. [16 Juli 2011].
- Skog, L. J. 1998. Chilling injury of horticultural crops. Agdex : 736/202, Order : 98-021. Ministry of Agriculture, Food and rural Affairs. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/98-021.htm>. [29 Mei 2011].
- William P dan Norris K. 1990. Near-Infrared technology in the agricultural and food industries. USA: American Association of Cereal Chemist, Inc.
- Winarno, F. G. 2002. Fisiologi lepas panen produk hortikultura. M-Brios Press. Bogor.