

IDENTIFIKASI TINGKAT KETUAAN DAN KEMATANGAN PEPAYA (*Carica papaya* L.) IPB 1 DENGAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Identification Of Maturity And Ripeness Of The Papaya (*Carica papaya* L.)
IPB 1 Using Image Processing And Artificial Neural Network

1

Enrico Syaefullah¹, Hadi K. Purwadaria², Sutrisno², Suroso²

2

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi ketuaan dan kematangan buah pepaya dengan menggunakan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan. Citra pepaya diambil menggunakan kamera digital. Citra diproses menggunakan algoritma pengolahan citra. Algoritma pengolahan citra dibangun untuk 150 contoh pepaya dari tiga tingkat kematangan yaitu muda, tua dan matang dan 150 contoh pepaya dari tiga tingkat ketuaan berdasar pada umur petiknya. Indeks warna dan tekstur didapat dari contoh citra menggunakan algoritma pengolahan citra yang dibangun. Hasil pengolahan citra digunakan sebagai input untuk membangun jaringan syaraf tiruan yang dimodelkan dengan 7 input dengan tingkat ketuaan dan kematangan sebagai output. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan konstanta laju pembelajaran 0.6, konstanta momentum sebesar 0.5, nilai fungsi aktivasi 1 dan dilatih sampai 10000 iterasi serta 3 lapisan tersembunyi pada jaringan syaraf tiruan yang digunakan diperoleh tingkat keakuratan yang tinggi mencapai 97.89% dan 100% pada klasifikasi pepaya berdasarkan ketuaan dan kematangan.

Kata kunci : pepaya, pengolahan citra digital, jaringan syaraf tiruan, ketuaan, kematangan

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the maturity and ripeness of papaya using image processing and artificial neural network. The images of papaya IPB 1 were captured using digital camera. And then processed using image processing algorithm. The image processing algorithm was developed and applied to 150 samples of papaya from three level of ripeness; growth, mature and ripe and 150 samples of papaya from three level of maturity based on their harvest time. The color indexes and shape factors were extracted from sample images using the developed image processing algorithm. The features extracted from the image processing were used as input to develop artificial neural network that modelled into 7 inputs with the level of maturity and ripeness as output. Neural network program used the value of momentum constant 0.5, learning rate value constant 0.6, sigmoid function value 1 and 10000 iteration. The result showed that the use of 7 image processing features as input on 3 hidden layers provided the highest accuracy of validation of 97.8% in validation process, and 100% accuracy in classifying the papaya based on its maturity and ripeness.

Keywords: papaya IPB 1, image processing, artificial neural network, maturity, ripeness

¹ Mahasiswa Sekolah Pascasarjana Program Studi Keteknik Pertanian SPs-IPB, Fateta IPB, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor 16002

² Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220 Bogor 16002

PENDAHULUAN

Pepaya merupakan salah satu buah tropis yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi dan berpotensi sebagai sumber pendapatan serta mempunyai peran penting dalam ketersediaan gizi. Sebagai buah yang tidak mengenal musim, produksi pepaya di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2000 sampai 2004 sebagai buah segar sebesar 429.207 ton, 500.571 ton, 605.194 ton, 626.745 ton, 732.611 ton, dengan total ekspor pada tahun 2004 sebesar 524.686 kg yang bernilai USD 1.301.371 (Departemen Pertanian, 2005). Pemanfaatan buah pepaya sudah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia, buahnya dapat dikonsumsi dalam keadaan segar dan bentuk olahan (campuran saos, manisan dan asinan).

Selama ini petani dan pedagang pengumpul buah pepaya mengidentifikasi tingkat ketuaan dan kematangan menggunakan prosedur analisis warna kulit secara visual mata manusia dengan segala keterbatasannya. Proses identifikasi ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya kelelahan, perbedaan persepsi, waktu yang dibutuhkan relatif lama serta menghasilkan buah pepaya yang beragam dan tidak konsisten. Selain itu menurut Pantastico (1989) batas antara stadium kematangan buah sukar ditentukan dengan mata telanjang, sehingga seringkali penentuan kematangan bersifat subjektif.

Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu metode yang dapat menjamin tingkat ketuaan dan kematangan buah pepaya. Metode non konvensional yaitu menggunakan pengolahan citra digital (*image processing*) menghasilkan data yang akan diproses secara pembelajaran dengan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) sehingga dapat digunakan untuk menentukan tingkat ketuaan dan kematangan buah pepaya.

Aplikasi pengolahan citra di bidang pertanian telah banyak dilakukan antara lain oleh Chaerle dan Straeten (2001) menggunakan citra digital untuk memonitor tumbuhan sehat, Quevedo dkk., (2002) menganalisa tekstur citra digital untuk melihat keadaan permukaan dan struktur mikro dari sel kentang. Gay dkk., (2002) menggunakan citra untuk pemutuan buah, Jahns dkk., (2001) menganalisis atribut citra untuk pemutuan tomat. Yam dan Papadakis (2004) menggunakan citra digital untuk melihat distribusi rata-rata warna pada permukaan makanan (kaitan dengan L^* , a^* dan b^*), sedangkan Ni dan Guansekaran., (2003) menggunakan citra digital untuk mengukur panjang irisan keju dan membedakan objek yang berhimpit ketika potongan keju dituangkan dari kemasan dengan akurasi 95% dan 99%.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menentukan tingkat ketuaan dan kematangan buah pepaya secara non konvensional dengan pengembangan algoritma pengolahan citra digital dan jaringan syaraf tiruan. Sedangkan tujuan khusus adalah 1) mengembangkan algoritma pengolahan citra

digital untuk menganalisis parameter tingkat ketuaan dan kematangan pepaya, 2) membangun model jaringan syaraf tiruan untuk menentukan tingkat ketuaan dan kematangan pepaya berdasarkan analisis citra digital dan 3) menguji perangkat lunak yang dibangun dalam mengelompokkan buah pepaya sesuai dengan tingkat ketuaan dan kematangannya.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

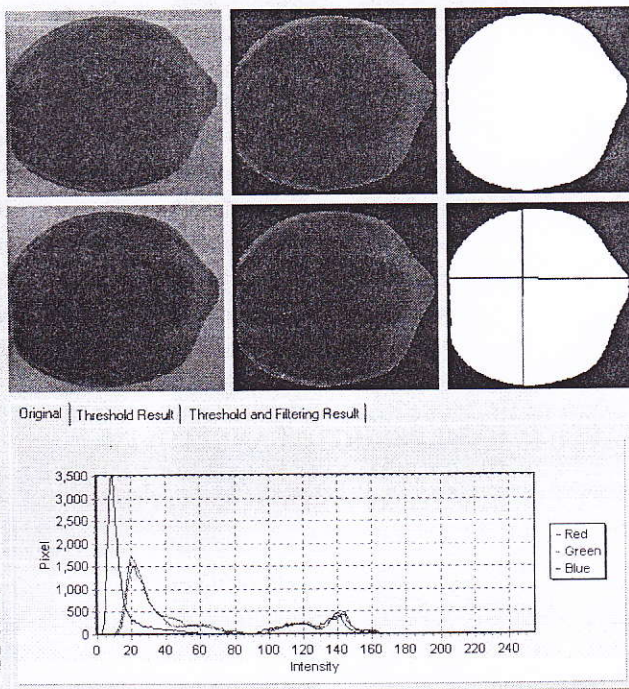
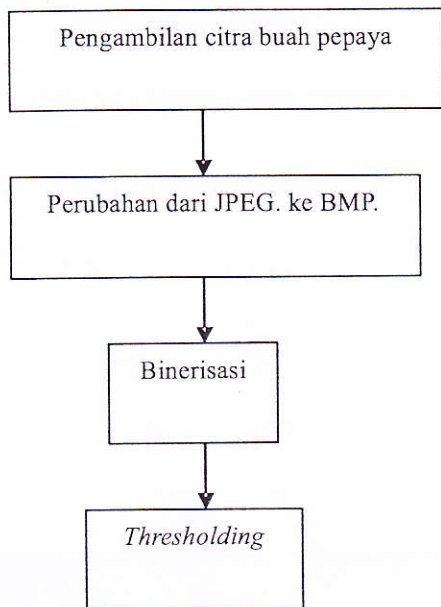
Bahan utama yang digunakan adalah 1) pepaya IPB 1 dengan tiga tingkat kematangan yaitu muda, tua dan matang sebanyak masing-masing 50 buah; 2) Pepaya IPB 1 yang dipanen pada umur petik 115, 120, dan 125 hari setelah antesis (hsa) masing masing 50 buah. Buah Pepaya IPB 1 dipetik pada pagi hari dari kebun percobaan Pusat Kajian Buah-buahan Tropika (PKBT) di Tajur Bogor, segera setelah dibersihkan dari getah dan kotoran kemudian dibungkus kertas koran dan dimasukkan dalam kardus selanjutnya diangkut ke laboratorium. Buah pepaya dicuci dengan air mengalir dan dikering-anginkan.

Peralatan yang digunakan untuk pengolahan citra adalah kamera digital Pentax Optio A10, penyangga kamera, 4 buah lampu neon (100 W/220 V/ 50 Hz), luxmeter, kain putih, seperangkat komputer, perangkat lunak dalam bahasa Delphi under windows XP.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Citra Pepaya IPB 1. Adapun prosedur pengambilan citra adalah sebagai berikut:

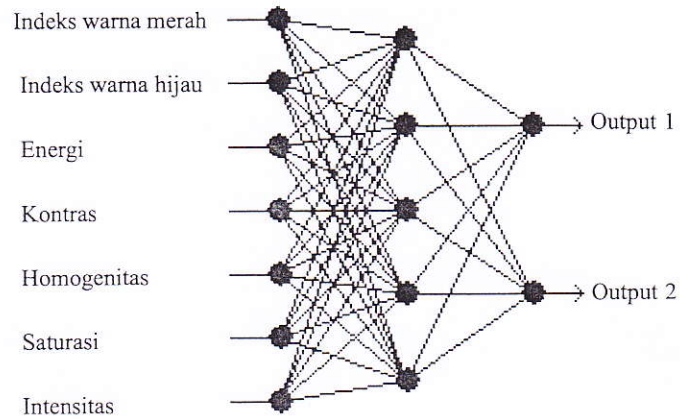
- Pepaya IPB 1 diletakkan di atas kain putih sebagai latar belakang dan terfokus oleh kamera dengan jarak 34 cm dengan cahaya lampu 168 lux.
- Citra pepaya IPB 1 direkam dengan ukuran: 2592 x 1944 piksel.
- Citra pepaya IPB 1 direkam dalam file berekstensi bmp dengan 110 KB.
- Binerisasi citra pepaya IPB luntuk memisahkan latar belakang dan objek.
- Proses *thresholding* yang akan didapat hasil pengolahan citra digital, yaitu: indeks warna merah (r), hijau (g), biru (b), H (hue), S(saturasi) dan I (intensitas) (Jain dkk., 1995) serta 4 komponen tekstur energi, entropy, kontras dan homogenitas (Haralick dkk., 1973).



Gambar 1. Diagram alir pengolahan citra, proses binerisasi dan thresholding citra buah pepaya

Pendugaan Tingkat Kematangan Pepaya IPB 1. Setelah parameter hasil pengolahan citra didapat, data tersebut digunakan sebagai masukan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk menentukan tingkat kematangan dengan menggunakan masukan indeks warna merah, indeks warna hijau, energi, kontras, homogenitas, saturasi dan intensitas (Gambar 2). Sedangkan keluaran dari JST adalah dua buah angka biner

(0,1). Kombinasi dari dua angka biner ini melambangkan tingkat kematangan pepaya IPB 1 (Tabel 1).

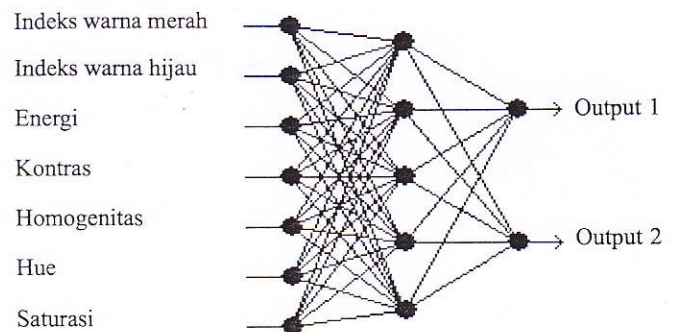


Gambar 2. Model jaringan syaraf tiruan kematangan buah pepaya

TABEL 1. TABEL KELUARAN JST PEPAAYA IPB 1

Tingkat kematangan	Output 1	Output 2	Keterangan
Muda	1	0	Warna hijau
Tua	0	1	Warna hijau dengan semburat kuning
Matang	1	1	Warna kuning

Pendugaan Tingkat Ketuaan Pepaya IPB 1. Tingkat ketuaan pepaya IPB 1 dibagi berdasar umur petik menjadi 115, 120 dan 125 hari setelah antesis. Tingkat ketuaan ini akan diduga dengan menggunakan JST berdasarkan hasil pengolahan citranya. Model JST yang digunakan untuk pendugaan tingkat ketuaan pepaya IPB 1 dapat dilihat pada Gambar 3. Masukan JST adalah indeks warna merah, indeks warna hijau, energi, kontras, homogenitas, hue, dan saturasi (Gambar 2). Sedangkan keluaran dari JST adalah 3 tingkat ketuaan yang dilambangkan dengan kombinasi dari dua bilangan biner (Tabel 2).



Gambar 3. Model Jaringan Syaraf Tiruan Ketuaan Buah Pepaya

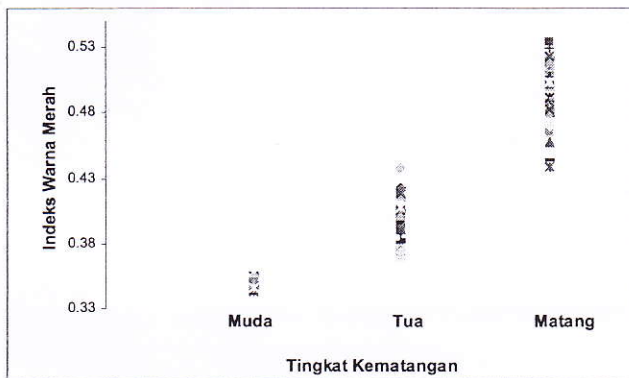
TABEL 2. TABEL KELUARAN JST TINGKAT KETUAAN PEPAYA IPB 1

Tingkat ketuaan	Output 1	Output 2	Keterangan
Umur petik 115 hari	1	0	Semburat 0%
Umur petik 120 hari	0	1	Semburat 10%
Umur petik 125 hari	1	1	Semburat 25%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pepaya

Pengolahan Citra digital. Dalam pengolahan citra digital pada sistem warna Red green Blue (RGB), Indeks warna merah (r) dapat membedakan tingkat kematangan pepaya muda dengan pepaya tua dan pepaya matang. Pepaya muda memiliki nilai indeks warna merah antara 0.34145-0.355611, pepaya tua antara 0.370219-0.437235, dan pepaya matang antara 0.438681-0.534054. Sebagaimana ditunjukkan Gambar 4. Dari Gambar 4. terlihat bahwa nilai “r” dapat dijadikan faktor pembeda untuk memisahkan papaya matang dengan pepaya tua dan muda, jadi dalam sistem pemutuan buah papaya salah satu variabel yang akan digunakan untuk pengelompokkan papaya adalah nilai “r” dari buah papaya.



Gambar 4. Sebaran Nilai Indeks Warna Merah Dengan Tingkat Kematangan

Warna merah buah pepaya matang lebih tinggi dari warna merah buah pepaya tua dan muda, hal ini terlihat dari sebaran data nilai “r” pepaya matang lebih tinggi dari pepaya tua dan muda, hal ini disebabkan pepaya matang memiliki warna merah yang lebih jelas dan terlihat secara visual bila dibandingkan dengan pepaya tua dan muda. Perubahan warna kulit buah merupakan salah satu parameter dalam menentukan tingkat kematangan buah pepaya. Pantastico (1989) menyatakan bahwa selama penyimpanan buah pepaya mengalami perubahan warna kulit buah dari hijau menjadi kuning atau jingga. Hal ini di-sebabkan oleh penurunan klorofil dan terbentuknya karotenoid dalam jaringan buah. Winarno dan Aman (1981)

menyatakan bahwa karotenoid yang terdapat dalam buah atau sayuran terdiri atas karoten, xantofil, dan likopen.

Tabel 3. memperlihatkan hasil perhitungan statistik nilai indeks warna merah pada berbagai tigtat kematangan.

TABEL 3. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK INDEKS WARNA MERAH BUAH PEPAYA PADA BERBAGAI TINGKAT KEMATANGAN

Statistik	Tingkat Kematangan		
	Muda	Tua	Matang
Rata-rata indeks warna merah	0.347306	0.400208	0.495867
Std. Deviasi	0.003179	0.015651	0.023009
Maximum	0.355611	0.437235	0.534054
Minimum	0.34145	0.370219	0.438681

Dalam pengolahan citra digital pada sistem warna RGB, Indeks warna hijau (h) dapat membedakan tingkat kematangan pepaya muda dengan pepaya tua dan pepaya matang. Tabel 4. menunjukkan hasil perhitungan statistik dan sebaran nilai indeks warna hijau pada berbagai tingkat kematangan. Secara rata-rata pepaya muda lebih hijau dari pepaya tua dan matang, hal ini terlihat dari nilai “g” pepaya muda (0.4931) lebih tinggi dari pepaya tua (0.477507) dan matang (0.436952). Tingginya nilai “g” pepaya muda karena rata-rata ketuaannya lebih rendah dari pepaya tua dan matang, sehingga permukaan kulitnya masih lebih banyak mengandung warna hijau. Nilai “g” suatu benda tergantung kepada kandungan warna hijau dari benda tersebut, warna hijau kulit buah pepaya akan berkurang seiring dengan bertambahnya umur buah.

TABEL 4. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK INDEKS WARNA HIJAU BUAH PEPAYA PADA BERBAGAI TINGKAT KEMATANGAN

Statistik	Tingkat Kematangan		
	Muda	Tua	Matang
Rata-rata indeks warna hijau	0.4931	0.477507	0.436952
Std. Deviasi	0.019364	0.01031	0.014083
Maximum	0.532202	0.499544	0.472056
Minimum	0.456805	0.444606	0.414581

Indeks warna biru (b) tidak dapat membedakan tingkat kematangan papaya muda dengan papaya tua dan matang. Untuk ketiga kriteria kematangan buah pepaya yang akan dikelompokkan memiliki nilai “b” yang hampir sama karena kandungan warna birunya sama. Secara rata-rata pepaya muda memiliki nilai “b” yang hampir sama dengan pepaya tua dan matang.

Hasil pengolahan komponen tekstur dengan parameter energi menunjukkan bahwa nilai sebaran fitur energi dapat membedakan tingkat kematangan buah pepaya muda, tua dan matang. Nilai rata-rata parameter energi dapat dilihat pada Tabel 5. Demikian pula nilai sebaran komponen tekstur yang lain yaitu : homogenitas dan kontras masing-masing dapat digunakan untuk membedakan tingkat kematangan buah pepaya dengan jelas. Tekstur merupakan keteraturan pola-pola tertentu yang terbentuk dari susunan piksel-piksel dalam cira digital (Ahmad, 2005). Informasi tekstur dalam pengolahan citra dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat spesifik dari permukaan kulit buah pepaya.

TABEL 5. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK KOMPONEN TEKSTUR (ENERGI) PEPAYA PADA

Statistik	Tingkat Kematangan		
	Muda	Tua	Matang
Rata-rata energi	0.1849	0.1529	0.1335
Std. Deviasi	0.0398	0.0264	0.0235
Maximum	0.2794	0.2281	0.2041
Minimum	0.1224	0.1112	0.0991

Pengolahan citra terhadap warna buah pepaya berdasarkan sistem warna Hue, Saturasi dan Intensitas (HSI) menunjukkan bahwa indeks warna saturasi (S) dapat membedakan pepaya muda dengan pepaya tua dan matang, namun untuk pepaya tua dengan pepaya matang tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 6. memperlihatkan hasil perhitungan statistik dan sebaran nilai indeks warna saturasi pada berbagai tingkat kematangan. Indeks warna intensitas (I) juga dapat digunakan untuk membedakan tingkat kematangan buah pepaya sebagaimana ditunjukkan Tabel 7.

TABEL 6. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK KOMPONEN WARNA (SATURASI) PEPAYA PADA BERBAGAI TINGKAT KEMATANGAN

Statistik	Tingkat Kematangan		
	Muda	Tua	Matang
Rata-rata saturasi	0.16026	0.67992	0.79846
Std. Deviasi	0.02455	0.04786	0.04338
Maximum	0.21012	0.79939	0.85734
Minimum	0.1125	0.5789	0.66374

TABEL 7. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK KOMPONEN WARNA (INTENSITAS) PEPAYA PADA BERBAGAI TINGKAT KEMATANGAN

Statistik	Tingkat Kematangan		
	Muda	Tua	Matang
Rata-rata intensitas	0.295	0.411	0.695
Std. Deviasi	0.056	0.086	0.098
Maximum	0.487	0.535	0.872
Minimum	0.191	0.228	0.484

Pendugaan Tingkat Kematangan dengan Jaringan Syaraf Tiruan. Buah pepaya dibagi tiga tingkat kematangan (berdasarkan kriteria perkembangan buah pepaya) yaitu pepaya muda, pepaya tua dan pepaya matang. JST yang digunakan untuk pendugaan tingkat kematangan terdiri dari tiga lapisan yaitu masukan, lapisan tersembunyi dan keluaran. Masukan yang digunakan adalah data pengolahan citra digital. Keluaran JST adalah tingkat kematangan buah pepaya.

Pendugaan tingkat kematangan buah pepaya dengan JST dilakukan dua tahap yang pertama proses training dan yang kedua proses validasi. Data untuk proses training digunakan 105 data, sedangkan untuk validasi menggunakan data lain sebanyak 45 data.

Hasil training yang dilakukan dengan 10000 iterasi, konstanta momentum 0.5, konstanta laju pembelajaran 0.6 dan konstanta fungsi aktivasi 1 dengan 3 lapisan tersembunyi menghasilkan nilai kuadrat galat rata-rata (RMS Error) sebesar 0.0042, ketepatan antara data aktual dengan data dugaan JST mencapai 99%.

Hasil validasi JST menunjukkan ketepatan pendugaannya mencapai 97.8%. Hasil analisis ketepatan pendugaan setiap kematangan dapat dilihat pada Tabel 8. Pendugaan tingkat kematangan pepaya muda dan matang mencapai 100%, sedangkan pepaya tua 97.8%. Kesalahan pendugaan terjadi pada pepaya tua secara manual yang diduga sebagai pepaya matang oleh JST.

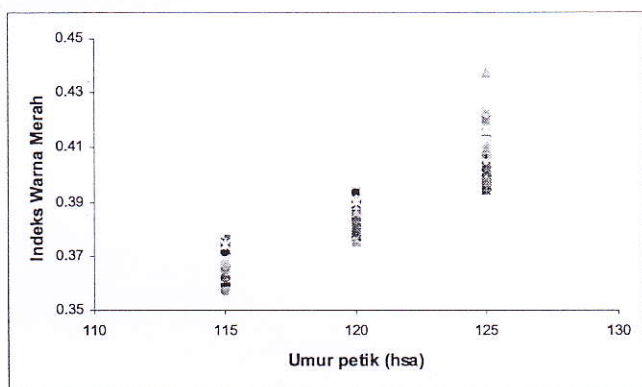
TABEL 8. HASIL VALIDASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH PEPAYA DENGAN JST

Tingkat Kematangan Aktual	Tingkat Kematangan JST			Total
	Muda	Tua	Matang	
Muda	15 (100%)			15
Tua		14 (97.8%)	1 (2.2%)	15
Matang			15 (100%)	15

Identifikasi Tingkat Ketuaan Buah Pepaya

Pengolahan Citra Digital. Dalam pengolahan citra digital pada sistem warna RGB, Indeks warna merah dapat membedakan tingkat ketuaan pepaya 115 hsa, 120 hsa, dan 125 hsa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Warna merah buah pepaya 125 hsa lebih tinggi dari warna merah buah pepaya 120 hsa dan 115 hsa, hal ini terlihat dari sebaran data nilai "r" pepaya 125 hsa lebih tinggi dari pepaya 120 Hsa dan 115 hsa, hal ini disebabkan pepaya 125 hsa memiliki warna merah yang lebih jelas dan terlihat secara visual bila dibandingkan dengan pepaya 120 hsa dan 115 hsa.

Tabel 9. memperlihatkan hasil perhitungan statistik dan sebaran nilai indeks warna merah pada berbagai umur petik. Secara rata-rata pepaya 125 hsa lebih merah dari pepaya 120 hsa dan 115 hsa, hal ini terlihat dari nilai "r" pepaya 125 hsa (0.405755) lebih tinggi dari pepaya 120 hsa (0.384582) dan 115 hsa (0.3679).



Gambar 5. Sebaran Indeks Warna Merah dengan Tingkat Ketuaan

TABEL 9. HASIL PERHITUNGAN STATISTIK INDEKS WARNA MERAH BUAH PEPAYA PADA BERBAGAI TINGKAT KETUAAN

Statistik	Tingkat Ketuaan		
	115 hsa	120 hsa	125 hsa
Rata-rata indeks warna merah	0.3679	0.384582	0.405755
Std. Deviasi	0.006258	0.005645	0.010317
Maximum	0.377282	0.394318	0.437235
Minimum	0.35693	0.375	0.393962

Sebagaimana indeks warna merah, indeks warna hijau, indeks warna saturasi (S) dan Hue (H) dapat pula digunakan untuk membedakan umur petik buah pepaya dengan jelas. Hasil pengolahan komponen tekstur dengan parameter energi menunjukkan bahwa nilai sebaran fitur energi dapat membedakan tingkat ketuaan pepaya. Demikian pula nilai sebaran

komponen tekstur yang lain yaitu : homogenitas dan kontras masing-masing dapat digunakan untuk membedakan tingkat ketuaan buah pepaya.

Pendugaan Tingkat Ketuaan dengan Jaringan Syaraf Tiruan. Dalam penelitian ini buah pepaya dibagi tiga tingkat ketuaan berdasarkan kriteria umur petik buah pepaya setelah antesis (hsa) yaitu 115 hsa, 120 hsa dan 125 hsa. JST yang digunakan untuk pendugaan tingkat ketuaan terdiri dari tiga lapisan yaitu masukan, lapisan tersembunyi dan keluaran. Masukan yang digunakan adalah data pengolahan citra digital. Keluaran JST adalah tingkat ketuaan buah pepaya.

Pendugaan tingkat ketuaan buah pepaya dengan JST dilakukan dua tahap yang pertama proses training dan yang kedua proses validasi. Data untuk proses training digunakan 105 data, sedangkan untuk validasi menggunakan data lain sebanyak 45 data.

Hasil training yang dilakukan dengan 10000 iterasi, konstanta momentum 0.5, konstanta laju pembelajaran 0.6 dan konstanta fungsi aktivasi 1 dengan 3 lapisan tersembunyi menghasilkan nilai kuadrat galat rata-rata (RMS Error) sebesar 0.008372, ketepatan antara data aktual dengan data dugaan JST mencapai 99%.

Hasil validasi JST terhadap ketepatan pendugaannya mencapai 100%. Ketepatan pendugaan setiap tingkat ketuaan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 10.

TABEL 10. HASIL VALIDASI TINGKAT KETUAAN BUAH PEPAYA DENGAN JST

Tingkat Ketuaan Aktual	Tingkat Ketuaan JST			Total
	115 hsa	120 hsa	125 hsa	
115 hsa	15 (100%)			15
120 hsa		15 (100%)		15
125 hsa			15 (100%)	15

KESIMPULAN

1. Indeks warna merah, indeks warna hijau, saturasi, komponen tekstur energi, kontras, homogenitas merupakan parameter pengolahan citra yang digunakan dalam jaringan syaraf tiruan untuk menentukan tingkat kematangan dengan parameter intensitas dan tingkat ketuaan/umur petik dengan parameter hue.
2. Model JST dengan parameter hasil pengolahan citra yang paling ideal adalah indeks warna merah, indeks warna hijau, saturasi, komponen tekstur energi, kontras dan homogenitas serta intensitas untuk memprediksi tingkat kematangan pepaya dengan ketepatan 97.8% dan hue untuk tingkat ketuaan (umur petik) dengan ketepatan 100%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dana yang diberikan untuk terlaksananya penelitian ini melalui Program Insentif Riset Terapan, Menristek.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, U. (2005). *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*. Penerbit Graha Ilmu. Jogjakarta.
- Chaerle, L. dan Straeten, D.V.D. (2001). Seeing is believing: Imaging to monitor plant health. *J. Biochimica et Biophysica Acta* (1519) 153-166.
- Departemen Pertanian (2005). *Statistik Pertanian 2005*. Jakarta.
- Damiri, D.J., Ahmad, U. dan Suroso. (2004). Identifikasi tingkat ketuaan dan kematangan jeruk lemon (*Citrus medica*) menggunakan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 18(1): 48-60.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K. dan Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transaction On System, Man and Cybernetics*. 3(6): 610 – 621.
- Jahns, G., Nielsen, H.M. dan Paul, W. (2001). Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. *Compters and Electronics in Agriculture*. 31:17-29.
- Jain, R., Kasturi, R. dan Schunck, B.G. (1995). *Machine Vision*. McGraw-Hill Book, Inc. New York. USA.
- Ni, H.X. dan Gunasekaran, S. (2003). Image processing algorithm for cheese shred evaluation. *J. Food Engineering*. 61(1): 37-45.
- Nurhasanah, A., Suroso dan Ahmad, U. (2005). Identifikasi tingkat ketuaan dan kematangan manggis menggunakan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 19(3) : 211-220.
- Pantastico, Er. B. (1989). *Fisiologi Pascapanen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah--Buahan dan Sayur-Sayuran Tropika dan Subtropika*. Penerjemah: Kamariyani dan Tjitrosoepomo G. Gadjah Mada University Press.
- Quevedo, R., Carlos, L.G., Aguilera, J.M. dan Cadoche. (2002). Description of food surface and microstructural change using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*. 53:361-371.
- Winarno, F. G. dan Wiratakusuma, A. (1981). *Fisiologi Lepas Panen. Sastra Hudaya*. Jakarta.
- Yam, K.L. dan Papadakis, S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61(1):137-142.