

PENGEMBANGAN *COMPUTER VISION SYSTEM* SEDERHANA UNTUK MENENTUKAN KUALITAS TOMAT

Development of a simple *Computer Vision System* to determine tomato quality

Rudiati Evi Masithoh¹, Budi Rahardjo¹, Lilik Sutiarso¹, Agus Hardjoko²

¹ Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No 1, Yogyakarta 55281; ² Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Jl. Sekip Utara, Yogyakarta 55281.
Email: evi@gadjahmada.edu

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah mengembangkan computer vision system (CVS) sederhana untuk menentukan kualitas tomat secara non-destruktif berdasarkan parameter warna Red Green Blue (RGB). Parameter kualitas tomat yang diukur adalah Brix, asam sitrat, vitamin C, dan gula total. Sistem ini terdiri peralatan utama yaitu kotak untuk meletakkan obyek, webcam untuk menangkap citra, komputer untuk mengolah data, sistem penerangan, dan perangkat lunak analisis citra yang dilengkapi dengan jaringan syaraf tiruan untuk menentukan kualitas tomat. Arsitektur jaringan dibentuk dengan 3 lapisan yang terdiri dari 1 lapisan masukan dengan 3 sel syaraf masukan, 1 lapisan tersembunyi dengan 14 sel syaraf berfungsi aktivasi logsig dan 5 lapisan keluaran dengan fungsi aktivasi purelin menggunakan algoritma pelatihan back-propagation. CVS yang dikembangkan dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter kualitas tomat yaitu Brix, vitamin C, asam sitrat, dan gula total, meskipun dibutuhkan persamaan kalibrasi. Persamaan kalibrasi untuk Brix, nilai aktualnya diperoleh dari persamaan $y = 12,16x - 26,46$ dengan x adalah nilai Brix prediksi. Sedangkan kadar vitamin C, asam sitrat, dan gula total aktual secara berturut-turut diperoleh dari $y = 1,09x - 3,13$, $y = 7,35x - 19,44$, dan $y = 1,58x - 0,18$, dengan x adalah nilai vitamin C prediksi, asam sitrat prediksi, dan gula total prediksi.

Kata kunci: Computer vision system, tomat, Brix, vitamin C, asam sitrat, gula total

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a simple computer vision system (CVS) to non-destructively measure tomato quality based on its Red Green Blue (RGB) color parameter. Tomato quality parameters measured were Brix, citric acid, vitamin C, and total sugar. This system consisted of a box to place object, a webcam to capture images, a computer to process images, illumination system, and an image analysis software which was equipped with artificial neural networks technique for determining tomato quality. Network architecture was formed with 3 layers consisting of 1 input layer with 3 input neurons, 1 hidden layer with 14 neurons using logsig activation function, and 5 output layers using purelin activation function by using backpropagation training algorithm. CVS developed was able to predict the quality parameters of a Brix value, vitamin C, citric acid, and total sugar. To obtain the predicted values which were equal or close to the actual values, a calibration model was required. For Brix value, the actual value obtained from the equation $y = 12,16x - 26,46$, with x was Brix predicted. The actual values of vitamin C, citric acid, and total sugar were obtained from $y = 1,09x - 3,13$, $y = 7,35x - 19,44$, and $y = 1,58x - 0,18$, with x was the value of vitamin C, citric acid, and total sugar, respectively.

Keywords: Computer vision system, tomato, Brix, vitamin C, citric acid, total sugar

Pendahuluan

Kualitas merupakan karakter suatu produk yang menunjukkan derajat keunggulan suatu produk atau kemampuannya dalam memenuhi kebutuhan tertentu (Abbott, 1999). Parameter utama yang sering digunakan untuk mengukur kualitas adalah parameter sensoris, yaitu tampilan, tekstur, dan *flavor*, termasuk juga umur simpan, berat dan ukuran. Dari sudut pandang konsumen, tampilan dan *firmness* lebih menjadi tolok ukur (Grierson dan Kader, 1986). Tampilan sering digunakan untuk identifikasi makanan dan penilaian kondisi makanan tersebut (Schroder, 2003). Faktor-faktor yang mempengaruhi tampilan adalah warna, ukuran, bentuk, serta adanya cacat atau kebusukan (Shao dkk., 2007).

Warna merupakan parameter utama dari konsumen untuk menentukan kualitas (Francis, 1995). Warna merupakan respon retina manusia terhadap panjang gelombang cahaya pada spektrum tampak yaitu pada 390-760 nm. Sel-sel pada retina mengirimkan sinyal melalui syaraf optik ke otak yang menerjemahkan respon tersebut sebagai 'warna'. Warna merupakan perubahan fisiologi yang dramatis pada buah dan sayuran selama pemasakan (Shewfelt, 2003), sebagai contoh tomat akan terjadi perubahan warna dari hijau ke merah. Warna dapat digunakan untuk memprediksi kandungan senyawa kimia dan mempunyai hubungan yang erat dengan sifat-sifat sensoris misalnya kemanisan (Francis, 1995). Karena selama pemasakan terjadi perubahan warna yang disebabkan oleh degradasi klorofil dan pembentukan karoten (Grierson dan Kader, 1986), maka terdapat hubungan yang erat antara warna dengan peningkatan kadar gula, penurunan rasio asam malat dan asam sitrat, dan penurunan keasaman total pada jaringan buah tomat yang terjadi selama pemasakan (Davies dan Hobson, 1981).

Instrumen pengukur warna semakin berkembang, sehingga pengamatan yang sebelumnya hanya dapat dilakukan oleh indra manusia sekarang dapat dilakukan dengan instrumen. Instrumen pengukur warna konvensional, misalnya colorimeters dan spektrofotometer, menyediakan informasi warna dalam format XYZ, RGB dan $L^*a^*b^*$ (Mendoza dkk., 2006). Beberapa metode subyektif untuk mengukur warna telah dikembangkan antara lain *color chart* dan *rating scale* (Grierson dan Kader, 1986). Salah satu contoh adalah penentuan kelas kemasakan tomat berdasarkan warna menurut "The US Standard" yang membagi tomat dalam 6 (enam) kelas (USDA, 1976). Metode lain untuk menentukan kualitas adalah dengan metode konvensional melalui analisis kimia dan organoleptik (Getinet dkk., 2008; Auerswald dkk., 1999), serta menggunakan metode non-destruktif dengan spectroscopy (Nicola'i dkk., 2007; Shao dkk., 2007) dan analisis citra (Jahns dkk., 2001; Polder dkk., 2002). Penentuan warna tidak terlepas dari pengukuran kadar pigmen karena warna tomat dipengaruhi oleh pigmentasi kulit dan daging. Pigmen

yang berhubungan dengan warna tomat terutama adalah pada saat pemasakan terjadi peningkatan kadar karoten khususnya lycopene yang memberikan efek warna merah (Lewinsohn dkk., 2005) serta adanya penurunan kadar klorofil (Grierson dan Kader, 1986).

CVS merupakan sistem berbasis pada pengembangan algoritma dan komputer untuk menstimulasi visualisasi manusia agar dapat secara otomatis mengekstrak informasi berharga dari suatu obyek (Panigrahi dan Gunasekaran, 2001). Dibandingkan metode konvensional yang memakan waktu lama serta membutuhkan analisis laboratorium yang rumit, maka CVS dapat menjadi suatu alternatif metode non-destruktif untuk mengamati dan mengukur kualitas buah. *Computer vision* merupakan cabang dari teknik kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang berhubungan dengan kegiatan simulasi visualisasi manusia.

Mata manusia adalah sebuah sistem canggih yang melakukan respon atas rangsangan visual. Secara fungsional, *computer vision* dan penglihatan manusia adalah sama, dengan tujuan menafsirkan data spasial yaitu data yang diindeks oleh lebih dari satu dimensi. Meskipun demikian, *computer vision* tidak dapat diharapkan untuk mereplikasi persis seperti mata manusia. Hal ini disebabkan pengetahuan tentang bagaimana sistem mata dan otak bekerja belum sepenuhnya dipahami, sehingga tidak dapat merancang sebuah sistem untuk mereplikasi secara tepat fungsi mata manusia. Yang dapat dilakukan adalah teknik *computer vision* yang dapat mereplikasi dan, dalam beberapa kasus bahkan memperbaiki sistem penglihatan manusia (Nixon dan Aguado, 2008).

CVS terdiri dari komputer yang merupakan analog dari otak manusia, sensor atau kamera digital (analog dari mata manusia), dan sistem penerangan berupa sumber cahaya untuk memfasilitasi akuisisi citra. Secara umum, terdapat 3 (tiga) operasi utama dalam CVS yaitu akuisisi citra (*image acquisition*), pengolahan citra (*image processing*), dan penerjemahan citra (*image understanding*) (Panigrahi dan Gunasekaran, 2001). Secara lebih rinci, tahapan-tahapan dalam analisis citra adalah: 1) pembentukan citra, dimana citra suatu obyek diambil dan disimpan dalam komputer, 2) pre-proses citra, dimana kualitas citra digital diperbaiki untuk meningkatkan detil citra, 3) segmentasi citra, dimana citra obyek diidentifikasi dan dipisahkan dari latar belakangnya, 4) pengukuran citra, dimana beberapa fitur-fitur yang signifikan dikuantitaskan, dan 5) interpretasi citra, dimana fitur-fitur yang telah diekstrak kemudian diinterpretasikan (Mery dan Pedreschi, 2005).

CVS membantu kerja manusia dalam mengambil keputusan secara cepat, akurat, dan konsisten. Namun demikian, kinerja CVS memerlukan kajian dan pengembangan yang berkelanjutan karena keterbatasannya untuk melakukan analisis kuantitatif secara mendalam (Abdullah, dkk., 2004). Hal ini disebabkan karena kamera yang digunakan pada CVS bi-

asanya hanya beroperasi pada panjang gelombang $10^{-4} - 10^{-7}$ m yang hanya dapat menghasilkan informasi parameter eksternal dari obyek dan bukan parameter internal. Tetapi, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kenampakan eksternal yang diperoleh dari CVS dengan parameter internalnya, seperti kandungan kadar air (Masithoh dan Kusuma, 2008), klorofil (Kawashima dan Nakatani, 1998), serta kadar gula dan pH pada jeruk (Kondo dkk., 2000).

Dengan mengembangkan metode CVS ini maka pengukuran dapat dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil yang lebih akurat pada sampel yang sama karena menggunakan metode non-destruktif, serta dapat digunakan di lapangan untuk mengukur kualitas secara cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur RGB warna dan memprediksi kualitas buah secara non-destruktif berdasarkan warna untuk mendapatkan informasi hayati secara *real-time* dengan menggunakan tomat sebagai obyek validasi.

METODE PENELITIAN

Obyek penelitian adalah buah tomat dengan varietas Bandung diperoleh dari supermarket dengan 4 (empat) kelas kemasakan menurut USDA (1976) *green, pink, light red, dan red*. Buah yang sudah dicuci dan dikeringkan kemudian diletakkan dalam ruang bersuhu kamar 27°C selama 24 jam untuk dianalisis pada hari berikutnya.

Penelitian ini mencakup dua tahap, yaitu pembuatan instrumen penangkap citra dan pembuatan perangkat lunak untuk menentukan kualitas tomat berdasarkan parameter citra dan jaringan syaraf tiruan. CVS yang dibangun terdiri dari (1) kotak untuk meletakkan obyek dan menangkap citra, (2) webcam untuk mendapatkan gambar dalam format digital, (3) sumber cahaya yang berasal dari lampu *Light Emitting Diode* (LED) sepanjang 5 meter dan 4 (empat) buah lampu TL masing-masing berdaya 8W, (4) komputer untuk penyimpanan gambar dan mengolah data, berikut monitor untuk menampilkan citra, dan (5) analisis citra yang dilengkapi dengan jaringan syaraf tiruan (JST) untuk menentukan kualitas tomat.

Kotak untuk meletakkan obyek dan menangkap citra (memotret) dibentuk dari aluminium dengan dimensi $60 \times 60 \times 60 \text{ cm}^3$ dan bagian dalam dicat warna hitam. Kotak aluminium mempunyai tutup di bagian atas dan pintu kecil di bagian depan untuk meletakkan sampel. Pada empat sudut kotak aluminium bagian atas dipasang sumber cahaya yang terbuat dari lampu LED dan 4 (empat) lampu TL yang membentuk sudut 45° dari alas dengan besar intensitas penerangan 189 Lux; intensitas penerangan diukur pada alas yang digunakan untuk meletakkan obyek. Sensor citra yang digunakan adalah sebuah webcam (Logitech QuickCam Pro 5000) dengan tipe sensor CMOS. Citra yang ditangkap kemudian dianalisis dengan perangkat lunak yang dikembangkan dengan

menggunakan Borland Delphi version 7 (Borland Software Corporation, USA), sedangkan untuk optimasi arsitektur JST pada prediksi kualitas tomat digunakan Matlab versi 7.01 (The MathWorks, Inc.). Adobe Photoshop CS2 version 9.0 (Adobe system Inc.) digunakan untuk melakukan validasi nilai RGB dari yang dihasilkan dengan menggunakan CVS.

Buah tomat yang telah didiamkan selama satu hari kemudian diambil citranya menggunakan CVS. Tomat diletakkan pada posisi tegak lurus dengan webcam dengan menggunakan alas warna hitam. Jarak antara sampel dengan webcam adalah 10 cm. Citra buah tomat kemudian disimpan dalam format jpeg dengan ukuran 320×240 untuk dilakukan segmentasi dan analisis selanjutnya. Setelah tomat diambil citranya, kemudian dilakukan uji laboratorium untuk menghitung parameter kualitas yang meliputi Brix, asam sitrat, vitamin C, dan gula total.

Pemodelan JST selanjutnya digunakan untuk mencari arsitektur jaringan terbaik yang dapat mengenali pola parameter kualitas tomat. Algoritma JST yang digunakan adalah *backpropagation* (perambatan galat balik). Algoritma *backpropagation* dipilih karena kecepatan proses dan struktur yang sederhana terutama untuk menyelesaikan hubungan nonlinier yang kompleks pada industri pertanian (Gnanasekharan dan Floros, 1995). Lapisan masukan yang digunakan adalah data RGB citra tomat. Lapisan keluaran terdiri dari vitamin C, total gula, asam sitrat, dan Brix. Lapisan tersembunyi terdiri dari beberapa sel syaraf (*neuron*). Pemodelan arsitektur jaringan syaraf tiruan dilakukan dengan melakukan variasi jumlah neuron pada lapisan tersembunyi yang digunakan dengan nilai *learning rate* paling optimal dari jumlah iterasi yang minimum. Model JST yang dipilih adalah model dengan nilai MSE (*Mean Square Error*) yang paling minimal. Bobot yang merupakan nilai simpul antara lapisan digunakan pada *backpropagation* sehingga diperoleh data prediksi. Data-data prediksi hasil algoritma *backpropagation* dibandingkan dengan data aktual. Tujuan akhir adalah mencari arsitektur JST yang terbaik yang memberikan nilai kesalahan minimal antara nilai prediksi dan nilai aktual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

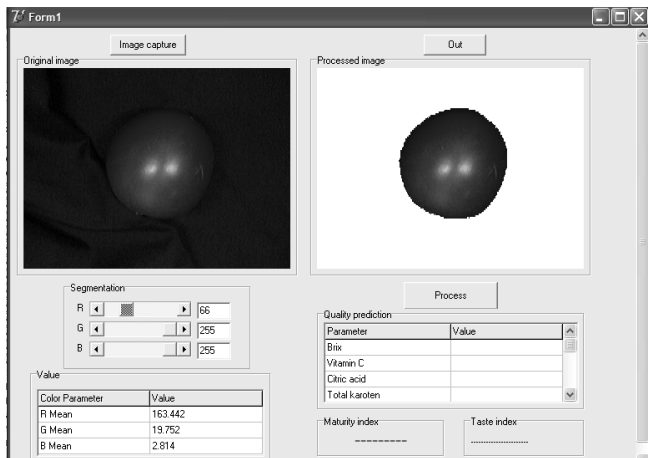
Pengembangan Computer Vision System (CVS)

CVS yang dikembangkan tampak seperti Gambar 1. CVS terdiri dari kotak aluminium tertutup yang di dalamnya terdapat webcam, lampu LED dan 4 buah lampu TL sebagai sumber cahaya, serta komputer sebagai pengolah citra dan penampil data hasil ekstraksi citra. Citra yang diambil kemudian diolah dengan program pengolah citra yang dibuat. Gambar 2 merupakan tampilan antar muka atau *graphical user interface* (GUI) dari perangkat lunak pengolah citra yang dibuat.

Bagian-bagian dari GUI ini adalah citra awal dan citra hasil segmentasi, nilai rata-rata warna Red Green Blue (RGB) dari citra yang telah disegmentasi, dan prediksi nilai kualitas tomat yang meliputi Brix, vitamin C, asam sitrat, dan gula total.



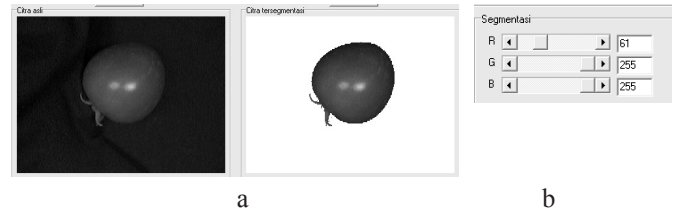
Gambar 1. Computer vision system yang dikembangkan



Gambar 2. Tampilan antar muka untuk prediksi kualitas tomat

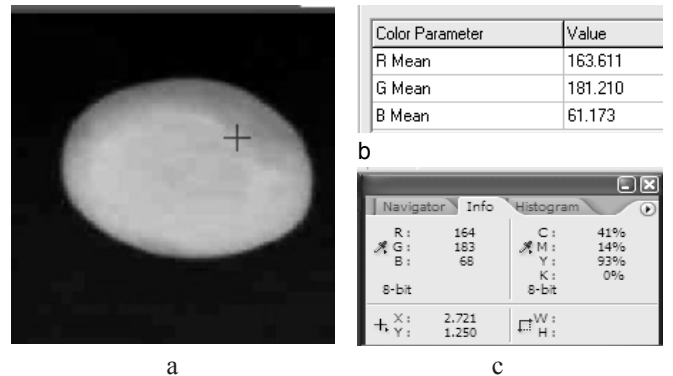
Pengolahan citra yang dilakukan adalah melakukan ekstraksi citra dengan cara menentukan nilai warna RGB dari citra tomat yang telah disegmentasi. Segmentasi dilakukan dengan memisahkan tomat dari latar belakangnya. Pada penelitian ini, segmentasi dilakukan dengan mengatur nilai RGB pada *button* yang dibuat. Dengan menggunakan tomat sebagai sampel dan latar belakang hitam, maka pengaturan nilai segmentasi hanya dilakukan pada komponen R, sedangkan nilai G dan B diatur pada nilai 255 (Gambar 3). Setelah dilakukan segmentasi, maka nilai RGB dari tomat dapat diketahui.

Program **pengolah citra yang dikembangkan pada penelitian ini** dapat mengukur nilai warna RGB tomat. Sebelum nilai RGB yang diperoleh dari CVS diyakini sebagai nilai



Gambar 3. a) Citra tomat sebelum diolah dan setelah dipisahkan dari latar belakangnya; b) Contoh pengaturan nilai segmentasi

RGB yang mewakili warna sebenarnya, validasi dilakukan dengan menggunakan Adobe Photoshop CS2 (selanjutnya disebut Photoshop). Citra yang diambil dengan webcam kemudian diunggah dan dianalisis menggunakan CVS dan Photoshop. Jika CVS bisa menghitung nilai RGB rata-rata pada satu luasan permukaan, Photoshop hanya dapat menentukan nilai RGB pada satu titik saja. Oleh karena itu dilakukan perhitungan nilai rata-rata dari beberapa titik pada citra yang diunggah. Gambar 4 menunjukkan Nilai RGB yang diukur dengan menggunakan CVS yang dikembangkan dan Photoshop. Sedangkan Tabel 1 menunjukkan perbedaan antara nilai warna RGB dari obyek yang diukur dengan menggunakan CVS yang dikembangkan dan dengan menggunakan Photoshop. Hal ini menunjukkan bahwa nilai RGB dari Photoshop dan CVS tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.



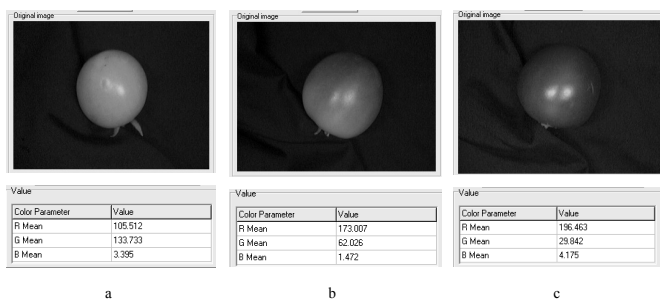
Gambar 4. a) Citra tomat asli, b) Nilai RGB dengan menggunakan CVS, dan c) Nilai RGB dari Photoshop

Tabel 1. Nilai RGB untuk obyek warna hitam, biru, hijau, dan ungu yang diukur dengan menggunakan CVS dan Photoshops (PS)

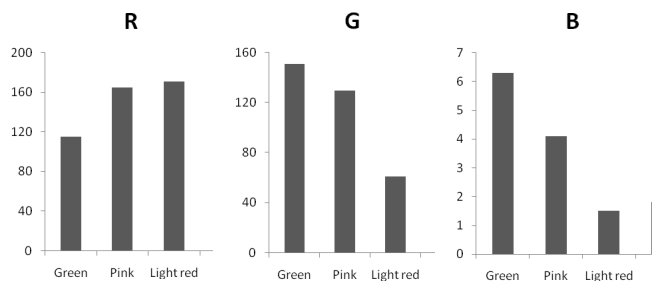
Warna	R		G		B	
	CVS	PS	CVS	PS	CVS	PS
Hitam	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Biru	26,4	26	0,2	0	224	224
Hijau	22,2	24	214,1	209	71,2	71
Ungu	118,1	121	49	47	166	168

Warna dan Kualitas Tomat

Gambar 5 menunjukkan nilai warna RGB tomat pada berbagai kelas kemasakan. Tampak bahwa pada kelas kemasakan yang berbeda maka nilai yang dihasilkan juga berbeda. Dari semua citra tomat yang dianalisis, bila ditampilkan dalam bentuk grafik maka dapat dilihat pada Gambar 6. Tampak bahwa nilai R akan semakin besar jika kelas kemasakan tomat semakin meningkat. Jika kelas kemasakan meningkat yang ditandai dengan semakin meningkatnya warna merah pada buah, maka nilai R juga meningkat. Nilai R merupakan representasi nilai pigmen tomat berupa karoten dan likopen yang mengalami sintesis selama pemasakan, sehingga warna merahnya akan meningkat (Grierson dan Kader, 1986). Nilai G tomat akan semakin menurun dengan meningkatnya kelas kemasakan (Gambar 6.). Hal ini terjadi karena nilai G mencerminkan klorofil warna hijau pada tomat yang mengalami degradasi selama kemasakan berlangsung. Sedangkan untuk parameter warna B, maka semakin besar kelas kemasakan, maka nilai B akan menurun, dengan penurunan yang besar pada kelas kemasakan Green sampai Light red, kemudian akan mendekati konstan sampai dengan akhir kemasakan (kelas Red). Hal ini sejalan dengan yang ditemukan oleh Gautier dkk. (2008) yaitu nilai Blue akan semakin menurun mengarah ke warna Yellow. Akan tetapi, fenomena yang berbeda ditemukan oleh Lana dkk. (2006) yang meneliti bahwa nilai B pada tomat iris akan naik.

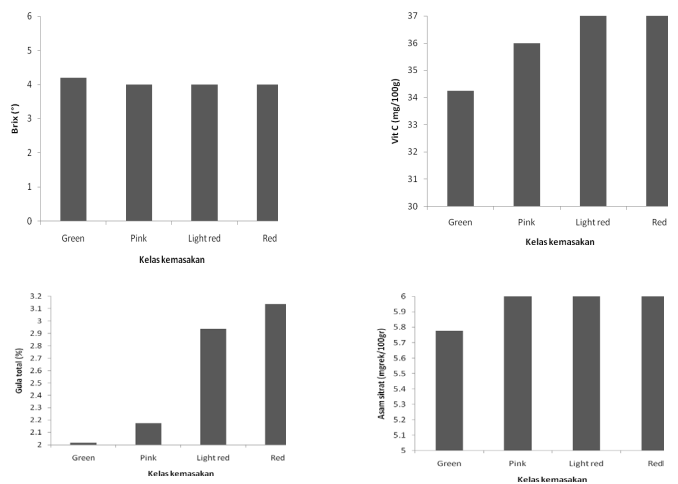


Gambar 5. Nilai RGB tomat pada kelas kemasakan a) Green, b) Light red, dan c) Red.



Gambar 6. Nilai R, G, dan B tomat pada berbagai kelas kemasakan

Brix merupakan rasio antara sukrosa terlarut dengan air dalam suatu larutan yang biasa digunakan untuk mengukur tingkat kemanisan buah. Pada Gambar 7 tampak bahwa Brix tomat pada berbagai kelas kemasakan tidak terlalu berbeda signifikan. Hal ini juga ditemukan oleh Getinet dkk. (2008) dan Gautier dkk. (2008). Vitamin C merupakan vitamin terbesar dalam tomat (Davies dan Hobson, 1981 dalam Grierson dan Kader, 1986). Kandungan Vitamin C pada tomat cenderung mengalami kenaikan sejalan dengan kenaikan kelas kemasakan, sebagaimana yang ditemukan oleh Gautier dkk (2008). Tetapi hal ini berbeda dengan yang ditemukan oleh Abushita dkk. (1997) yang menyatakan bahwa konsentrasi vitamin C terbesar adalah saat tomat mengalami perubahan dari hijau menjadi kuning, kemudian sejalan dengan waktu pemasakan selanjutnya akan mengalami penurunan, yang disebabkan karena fungsinya sebagai antioksidan pada saat pemasakan sel menyerap jumlah oksigen yang tinggi sebagai akibat peningkatan laju respirasi sel yang merupakan karakteristik fisiologis perubahan dalam buah-buahan dan sayuran klimakterik saat proses pemasakan. Asam sitrat pada Gambar 7 menunjukkan tren menaik tetapi tidak signifikan.

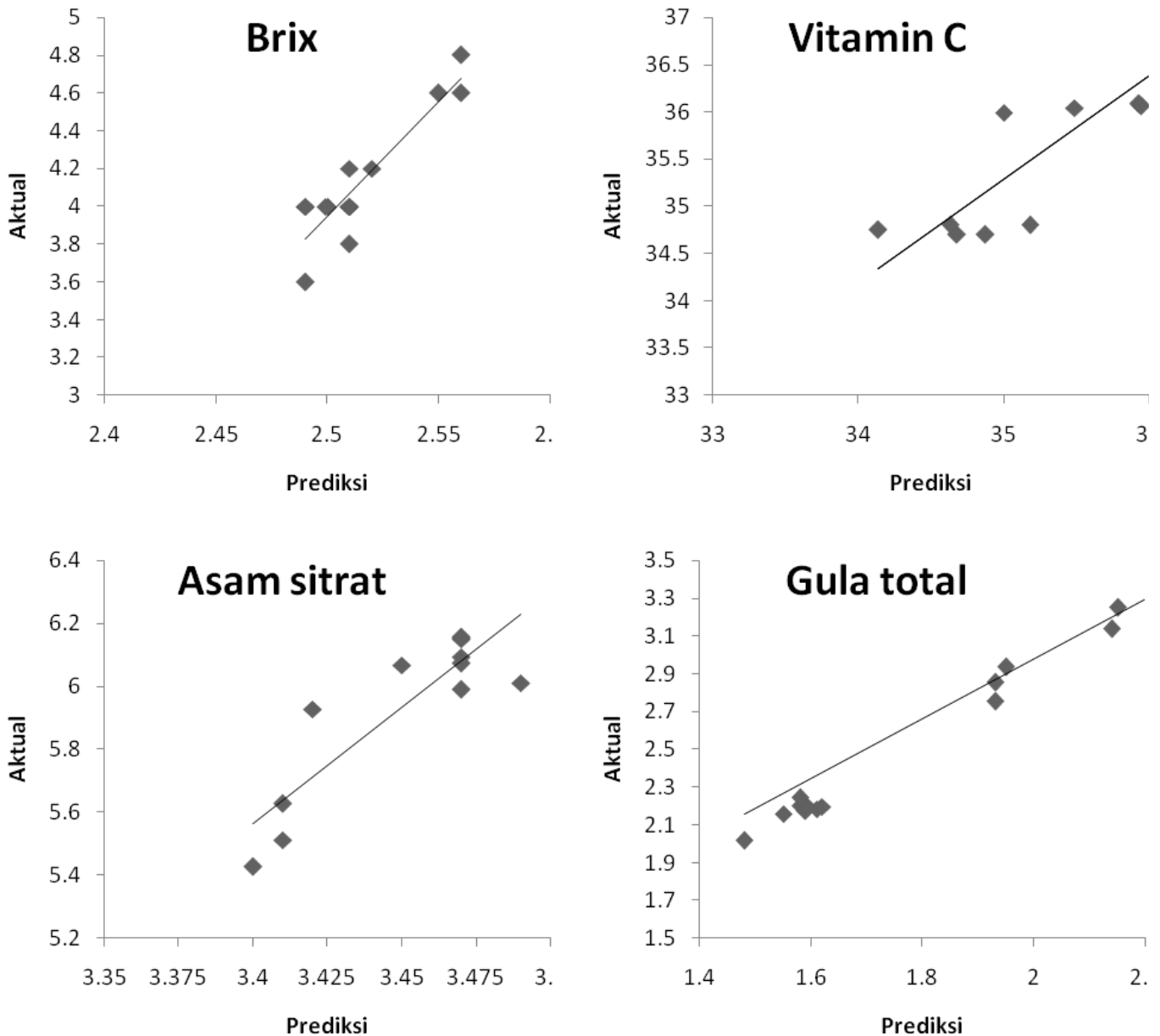


Gambar 7. Nilai Brix, vitamin C, asam sitrat, dan gula total pada berbagai kelas kemasakan

Pada kelas Green sampai dengan Pink, terjadi kenaikan asam sitrat yang cukup tinggi, kemudian pada kelas selanjutnya kenaikannya tidak terlalu besar. Grierson dan Kader (1986) mengemukakan hal yang sama, bahwa pada kelas kemasakan awal terjadi kenaikan konsentrasi asam sitrat yang maksimum, kemudian akan konstan saat pemasakan. Kandungan gula total pada tomat akan naik sejalan dengan kenaikan kelas kemasakan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh Grierson dan Kader (1986). Selama pemasakan, terjadi degradasi pati dan pembentukan glukosa dan fruktosa (Gautier dkk., 2008). Pada tomat yang masak, prosentase glukosa dan fruktosa cu-

kup besar, sedangkan sukrosa hanya 5%-nya saja (Davies dan Hobson, 1981 dalam Grierson dan Kader, 1986). Gula mempunyai pengaruh yang besar pada pembentukan vitamin C,

karena gula merupakan prekursor untuk vitamin C (Massot dkk., 2010). Hal ini tampak pada Gambar 7 dimana semakin besar kandungan gula maka vitamin C juga semakin besar.



Gambar 8. Hubungan antara nilai Brix, vitamin C, asam sitrat, dan gula total prediksi dan aktual

Pembentukan Pola Jaringan Syaraf Tiruan

Algoritma JST yang digunakan adalah *backpropagation* (perambatan galat balik). Algoritma *backpropagation* dipilih karena kecepatan proses dan struktur yang sederhana terutama untuk menyelesaikan hubungan nonlinier yang kompleks pada industri pertanian (Gnanasekharan dan Floros, 1995). Setelah mendapatkan model arsitektur jaringan yang paling optimal, dilakukan pengujian dengan data uji. Model JST

yang dipilih adalah model dengan nilai MSE (*Mean Square Error*) yang paling minimal. Pada akhirnya, bobot akhir yang didapatkan dari hasil pelatihan digunakan untuk menanamkan nilai bobot-bobot tersebut pada program akhir penentuan parameter kualitas tomat.

Untuk memperoleh nilai *learning rate* yang optimal, dilakukan percobaan menggunakan data-latih dengan metode Levenberg-Marquardt (*trainlm*) *backpropagation*. Dengan berbagai variasi *learning rate* dilakukan simulasi pada fungsi

kinerja atau *performance* (MSE) 0,017 dan maksimum epoch 5000. Dari berbagai variasi *learning rate* maka yang dipilih adalah 0,1.

Langkah selanjutnya adalah pembentukan arsitektur jaringan. Arsitektur jaringan yang paling baik adalah arsitektur jaringan yang memberikan nilai fungsi kinerja atau *performance* (MSE) yang paling kecil. Pembentukan arsitektur jaringan dilakukan dengan melakukan percobaan menggunakan data-latih dengan variasi jumlah neuron pada lapisan tersembunyi. Percobaan dilakukan dengan algoritma belajar trainlm dan dengan nilai parameter pembelajaran dengan *learning rate* 0,1. Dari percobaan yang dilakukan maka MSE terkecil tercapai pada jumlah neuron 14. Berdasarkan perhitungan tersebut, model yang dipilih adalah model dengan algoritma belajar trainlm dengan *learning rate* 0,1 serta memiliki arsitektur jaringan dengan 14 neuron pada lapisan tersembunyi. Fungsi aktivasi pada layer tersembunyi adalah logsig, dan pada lapisan keluaran adalah linier (purelin).

Penentuan Kualitas Tomat Menggunakan CVS

Untuk menentukan akurasi program dalam menentukan parameter kualitas, maka perlu dilakukan uji akurasi, dengan membandingkan antara nilai yang diperoleh dari program yang dibuat dengan nilai parameter kualitas dari pengukuran secara destruktif (kimiawi) di laboratorium. Gambar 8 merupakan grafik hubungan antara nilai Brix, vitamin C, asam sitrat, dan gula total prediksi dan aktual. Agar diperoleh nilai prediksi yang sama atau mendekati nilai aktual maka dibutuhkan nilai kalibrasi. Untuk nilai Brix, maka nilai aktualnya diperoleh dari persamaan $y = 12,16x - 26,46$ dengan x adalah nilai Brix prediksi. Sedangkan kadar vitamin C, asam sitrat, dan gula total aktual secara berturut-turut diperoleh dari $y = 1,09x - 3,13$, $y = 7,35x - 19,44$, dan $y = 1,58x - 0,18$, dengan x adalah nilai vitamin C prediksi, asam sitrat prediksi, dan gula total prediksi.

KESIMPULAN

Sebuah *Computer Vision System* (CVS) yang terdiri dari kotak obyek, webcam, komputer, sistem penerangan, dan perangkat lunak analisis citra dengan jaringan syaraf tiruan dikembangkan untuk menentukan kualitas tomat, yaitu Brix, asam sitrat, vitamin C, dan gula total. Arsitektur jaringan dibentuk dengan 3 lapisan terdiri dari 1 lapisan input dengan 3 sel syaraf masukan, 1 lapisan tersembunyi dengan 14 sel syaraf berfungsi aktivasi logsig dan 5 lapisan output dengan fungsi aktivasi purelin menggunakan algoritma pelatihan *backpropagation*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada UGM melalui Hibah Dosen Muda 2010 dan Dikti melalui Hibah Doktor 2010 atas bantuan dana penelitian, juga kepada Krisna dan Aji selama pengembangan model dan analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* **15**: 207–225.
- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C. dan Karim, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering* **61**: 125–135.
- Abushita, A. A., Hebshi, E. A., Daood, H. G. dan Biacs, P. A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry* **60**: 207–212.
- Auerswald, H., Peters, P., Bruckner, B., Krumbein, A. dan Kuchenbuch, R. (1999). Sensory analysis and instrumental measurements of short-term stored tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biology and Technology* **15**: 323–334.
- Davies, J. N. dan Hobson, G. E. (1981). The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **15**: 205–280.
- Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preferences* **6**: 149–155.
- Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Benard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poessel, J. L., Caris-Veyrat, C. dan Genard, M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *J. Agric. Food Chem.* **56**: 1241–1250.
- Getinet, H., Seyoum, T. dan Woldetsadik, K. (2008). The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* **87**: 467–478.
- Gnanasekharan, V. dan Floros, J. D. (1995). Back propagation neural networks: Theory and applications for food science and technology. Dalam Charalambous, G. (ed.). *Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence*, hal 2151–2168. Elsevier Science B.V.

- Grierson, D. dan Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. Dalam Atherton, J. G. dan Rudich, J. *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall, London.
- Jahns, G., Nielsen, H. M. dan Paul, W. (2001). Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. *Computers and Electronics in Agriculture* **31**: 17-29.
- Kawashima, S., & Nakatani, M. (1998). An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany* **81**: 49-54.
- Kondo, N., Ahmad, U., Monta, M. dan Murase, H. (2000). Machine vision based quality evaluation of Iyokan orange fruit using neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture* **29**: 135-147.
- Lana, M. M., Tijskens, L. M., de Theije, A., Hogenkamp, M. dan van Kooten, O. (2006). Assessment of changes in optical properties of fresh-cut tomato using video image analysis. *Postharvest Biology and Technology* **41**: 296-306.
- Lewinsohn, E., Sitrit, Y., Bar, E., Azulai, Y., Ibdah, M., Meir, A., Yosef, E., Zamir, D. dan Tadmor, Y. (2005). Not just colors — carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit. *Trends in Food Science and Technology* **16**: 407-415.
- Masithoh, R. E. dan Kusuma, S. A. (2008). Analisis citra untuk mengamati perubahan kenampakan visual bawang merah (*Allium Ascalonicum*, L) karena pengeringan. *Agritech* **28**: 113-119.
- Massot, C., Michel Génard, M., Stevens, R. dan Gautier, H. (2010). Fluctuations in sugar content are not determinant in explaining variations in vitamin C in tomato fruit. *Plant Physiology and Biochemistry* **48**: 751-757.
- Mendoza, F., Dejmek, P. dan Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* **41**: 285-295.
- Mery, D. dan Pedreschi, F. (2005). Segmentation of colour food images using a robust algorithm. *Journal of Food Engineering* **66**: 353-360.
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I. dan Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* **46**: 99-118.
- Nixon, M. S., & Aguado, A. S. (2008). *Feature extraction and image processing*. Oxford: Elsevier.
- Panigrahi, S., & Gunasekaran, S. (2001). Computer vision. Dalam S. Gunasekaran (ed.). *Nondestructive Food Evaluation Techniques to Analyze Properties and Quality*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Polder, G., van der Heijden, G. W. dan Young, I. T. (2002). Spectral image analysis for measuring ripeness of tomatoes. *Transactions of the ASAE* **45**: 1155-1161.
- Schroder, M. J. (2003). *Food quality and consumer value*. Springer-Verlag, Berlin.
- Shao, Y., He, Y., Gomez, A. H., Pereir, A. G., Qiu, Z. dan Zhang, Y. (2007). Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato "Heatwave" (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering* **81**: 672-678.
- Shewfelt, L. R. (2003). Color. Dalam Bartz, J. A. (ed.) *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. CRC Press.
- USDA. (1976). *United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes*. Washington, D.C.: US Dept. Agr.