JESSI
Journal of Embedded System Security and Intelligent System

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X

JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023

Sistem Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Cabai Katokkon Berdasarkan Fitur Warna LAB Menggunakan *Artificial Neural Network Backpropagation*

Andi Baso Kaswar[1], Fhatiah Adiba[2*], Dyah Darma Andayani[3]
[1]a.baso.kaswar@unm.ac.id, [2]fhatiah.adiba@unm.ac.id, [3]dyahdarma@unm.ac.id
[1,2,3]Program Studi Teknik Komputer, Universitas Negeri Makassar

Received :
20 Oktober 2023
Accepted :
10 November 2023
Published :
30 November 2023

Abstract

Chili is one of the horticultural commodities that has a very significant economic and cultural value in Indonesia. One type of chili that is unique but widely cultivated in Indonesia is katokkon chili (Toraja chili). Seeing the great potential that katokkon chili has, the chili is finally widely cultivated. However, various problems in the cultivation process until harvest have emerged. One of them is in the process of identifying the level of maturity. The stage of identifying the maturity level of chilies is an important aspect of cultivation and post-harvest handling. This is because the maturity level significantly affects the quality, nutritional content, and market value of chili katokkon. Many studies have utilized digital image processing and machine learning in fruit ripeness detection. However, until now, the determination of the maturity level of chili katokkon fruit has been done manually. This can cause the classification results to be inaccurate due to the subjectivity of the assessment. Therefore, this research proposes a classification system for the maturity level of katokkon chili fruit based on LAB color features using artificial neural network backpropagation. The proposed method consists of six main stages, namely image acquisition, preprocessing, segmentation, morphological operations, LAB feature extraction, and backpropagation artificial neural network modeling. The proposed method can classify the maturity level of chili katokkon into three classes with 96,00% accuracy, 96,40 % precision, and 96,00% recall. These results show that the proposed method can classify the maturity level of chili katokkon accurately.

Keywords: ANN, katokkon chili, maturity, classification, LAB

Abstrak

Cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi dan budaya yang sangat signifikan di Indonesia. Salah satu jenis cabai yang unik namun banyak dibudidayakan di Indonesia adalah cabai katokkon. Melihat potensi besar yang dimiliki cabai katokkon, cabai tersebut akhirnya banyak dibudidayakan. Namun, berbagai masalah dalam proses budidaya hingga panen bermunculan. Salah satunya adalah dalam proses identifikasi tingkat kematangan. Tahap identifikasi tingkat kematangan cabai merupakan aspek penting dalam budidaya dan penanganan pasca panen. Hal ini disebabkan karena tingkat kematangan secara signifikan mempengaruhi kualitas, kandungan nutrisi, dan nilai pasar cabai. Telah banyak penelitian yang memanfaatkan pengolahan citra digital dan machine learning dalam pendeteksian tingkat kematangan buah. Namun, sampai saat ini, deteksi tingkat kematangan buah cabai katokkon masih dilakukan secara manual. Hal ini dapat menyebabkan hasil klasifikasi menjadi tidak akurat karena subjektifitas penilaian. Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan sistem klasifikasi tingkat kematangan buah cabai Katokkon berdasarkan fitur warna dan tekstur menggunakan artificial neural network backpropagation. Metode yang diusulkan terdiri atas 6 tahapan utama yaitu tahap akuisisi citra, preprocessing, segmentasi, operasi morfologi, ekstraksi fitur, dan pembuatan model jaringan syaraf tiruan backpropagation. Metode yang diusulkan dapat mengklasifikasi tingkat kematangan cabai katokkon ke dalam 3 kelas dengan tingkat akurasi 96,00%, precision 96,40%, dan recall 96,00%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mengklasifikasikan tingkat kematangan cabai katokkon dengan akurat.

Kata kunci: ANN, cabai katokkon, kematangan, klasifikasi, LAB

This is an open access article under the CC BY-SA license

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X

JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023

1. Pendahuluan

Cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi dan budaya yang sangat signifikan di Indonesia[1]–[4]. Di Indonesia, 2 jenis cabai yang banyak dikonsumsi adalah Capsicum annum L. dan C. frutescens L., memiliki beberapa varietas yang terkenal seperti paprika, cabai merah keriting, dan cabai merah besar [5].

Cabai memiliki prospek yang menjanjikan untuk dipasarkan pada pasar lokal [6]. Selain nilai ekonomi yang tinggi [4], produksi cabai di Indonesia sangat besar karena banyak dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi harian. Hal tersebut juga menunjukkan peran penting cabai dalam berbagai jenis makanan lokal, [7]. Salah satu masakan tradisional Indonesia yang menggunakan bahan dasar cabai adalah sambal [8].

Salah satu jenis cabai yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah cabai Katokkon. Cabai Katokkon merupakan cabai varietas lokal yang berasal dari Kabupaten Tana Toraja. Cabai ini telah banyak dibudidayakan bahkan hingga ke pulau Jawa karena rasa dan keunikan bentuknya. Selain itu cabai ini memiliki kandungan gizi yang tinggi [9]. Uniknya lagi, cabai Katokkon juga mengandung likopen dan antioksidan yang mengindikasikan potensi manfaatnya bagi kesehatan [10].

Melihat potensi besar yang dimiliki cabai katokkon, Cabai tersebut akhirnya banyak dibudidayakan. Namun, berbagai masalah dalam proses budidaya hingga panen bermunculan. Salah satunya adalah dalam proses identifikasi tingkat kematangan.

Tahap identifikasi tingkat kematangan cabai merupakan aspek penting dalam budidaya dan penanganan pasca panen. Hal ini disebabkan karena tingkat kematangan secara signifikan mempengaruhi kualitas, kandungan nutrisi, dan nilai pasar cabai. Namun menentukan tingkat kematangan cabai secara akurat menjadi tantangan karena berbagai faktor seperti suhu, penyinaran dan penanganan pasca panen [11].

Dalam rangka mengatasi permasalahan tersebut berbagai cara telah dilakukan salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan dan pengolahan citra digital. Pemanfaatan teknik pengolahan citra digital dan machine learning telah mendapatkan perhatian yang lebih banyak karena potensinya dalam otomatisasi penilaian tingkat kematangan cabai. Teknik ini menganalisis citra digital dari objek kemudian mengekstrak fiturnya kemudian mengklasifikasikannya.

Studi tentang topik serupa seperti klasifikasi kematangan buah dan sayuran, telah menunjukkan bahwa pemrosesan gambar dan algoritma machine learning sangat efektif dalam mengukur kematangan hasil pertanian. Misalnya, telah dilakukan sebuah penelitian untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah pisang secara otomatis menggunakan pengolahan citra digital dan jaringan syaraf tiruan [12]. Metode yang diusulkan menggunakan arsitektuR MOBILENETV2 dengan tingkat akurasi hasil klasifikasi sebesar 96,18%.

Penelitian lainnya yaitu sistem klasifikasi tingkat kualitas tomat secara otomatis menggunakan jaringan syaraf tiruan. Metode yang diusulkan dapat mengklasifikasikan kualitas tomat ke dalam 3 kelas dengan tingkat akurasi 95,5% [13]. Dengan menggunakan metode lainnya, penelitian tentang tingkat kematangan buah tomat juga telah dilakukan dengan menggunakan metode transfer learning (Alexnet) [14]. Metode yang diusulkan menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100%.

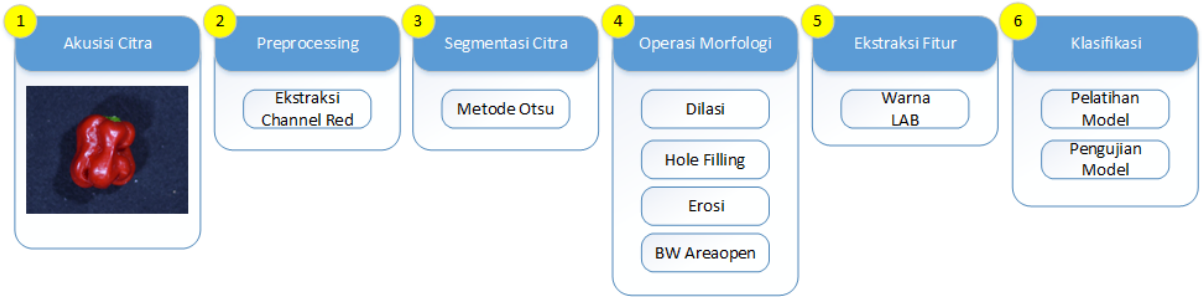
Penelitian lainnya berupa sistem klasifikasi tanaman cabai berdasarkan warna, bentuk dan tekstur. Metode yang diusulkan menunjukkan tingkat akurasi lebih dari 80% [15].

Terdapat penelitian menerapkan metode transformasi warna YCbCr dalam mendeteksi jenis warna kulit cabai dan mengklasifikasikannya dalam fase kematangan cabai [16]. Data dalam penelitian ini menggunakan citra cabai yang diambil dengan kamera, akan diambil sebagian (cropping) yang kemudian akan diekstrak ciri warnanya dan dikalkulasi tingkat kadar warna dari R (red), G (green), dan B (blue) dan diubah ke YcbCr. Penelitian ini dapat mendeteksi tingkat kematangan cabai dengan baik.

Penelitian lainnya mengusulkan metode klasifikasi tingkat kematangan cabai rawit menggunakan ekstraksi fitur warna dan tekstur, yang diproses menggunakan metode Backpropagation [17]. Fitur-fitur warna diambil dari nilai mean saturasi, sementara fitur tekstur diambil menggunakan nilai fitur Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) yaitu ASM, Kontras, IDM, Entropi dan Korelasi dengan sudut 0° dan 45°. Dari hasil penelitian, sistem mampu mengklasifikasi tingkat kematangan cabai rawit dengan akurasi pelatihan dan pengujian yang cukup baik.

Penelitian berikutnya mengenai klasifikasi kematangan pada buah Stroberi berdasarkan warna menggunakan ekstraksi fitur warna dengan metode Hue Saturation and Value (HSV) dan metode K-

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X
JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023



Gambar 1. Tahapan metode sistem klasifikasi tingkat kematangan yang diusulkan

Nearest Neighbors (KNN). Hasil dari implementasi klasifikasi menggunakan KNN didapatkan tingkat yang cukup baik [18].

Selanjutnya penelitian lainnya mengusulkan metode klasifikasi tingkat kematangan buah pepaya berdasarkan fitur warna menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan 90 dataset citra pepaya RGB [19]. Proses yang diusulkan mencakup akuisisi citra, tahap preprocessing, tahap segmentasi dengan metode otsu, operasi morfologi, dan tahap klasifikasi dengan jaringan syaraf tiruan. Hasil pengujian dan pelatihan menunjukkan nilai akurasi yang baik. Namun, sampai saat ini, deteksi tingkat kematangan buah cabai katokkon masih dilakukan secara manual. Hal ini dapat menyebabkan hasil klasifikasi menjadi tidak akurat karena subjektifitas penilaian.

Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan Sistem Klasifikasi Tingkat kematangan Buah Cabai Katokkon Berdasarkan Fitur Warna dan Tekstur Menggunakan Artificial Neural network Backpropagation. Metode yang diusulkan terdiri atas 6 tahapan utama yaitu tahap akuisisi citra, preprocessing, segmentasi, operasi morfologi, ekstraksi fitur, dan pembuatan model jaringan syaraf tiruan backpropagation. Metode yang diusulkan diharapkan dapat mengklasifikasikan tingkat kematangan buah cabai katokkon dengan akurat.

2. Metode

Sistem klasifikasi yang diusulkan terdiri atas beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tahapan dimulai dari tahap akuisisi citra, preprocessing Segmentasi, operasi morfologi, ekstraksi fitur, dan klasifikasi menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation.

2.1. Tahap Akuisisi Citra

Tahap awal dari metode yang diusulkan adalah tahap akuisisi citra. Pada tahap ini, buah cabai katokkon dimasukkan ke dalam kotak berukuran 1*1 meter dengan background berwarna hitam. Kotak tersebut dilengkapi dengan lampu 4 led 1 Watt pada keempat sudut bagian atas kotak. Pada bagian atas tepat di tengah kotak terdapat sebuah lubang tempat lensa kamera. Adapun kamera yang digunakan pada tahap ini adalah kamera Nikon D5100 dengan mode manual ISO 200, exposure time 1/8 tanpa menggunakan flash.

2.2. Tahap Preprocessing

Pada tahap preprocessing dilakukan proses ekstraksi channel RGB. Sehingga pada tahap ini akan dihasilkan 3 citra yaitu citra cabai channel Red, Green dan Blue.

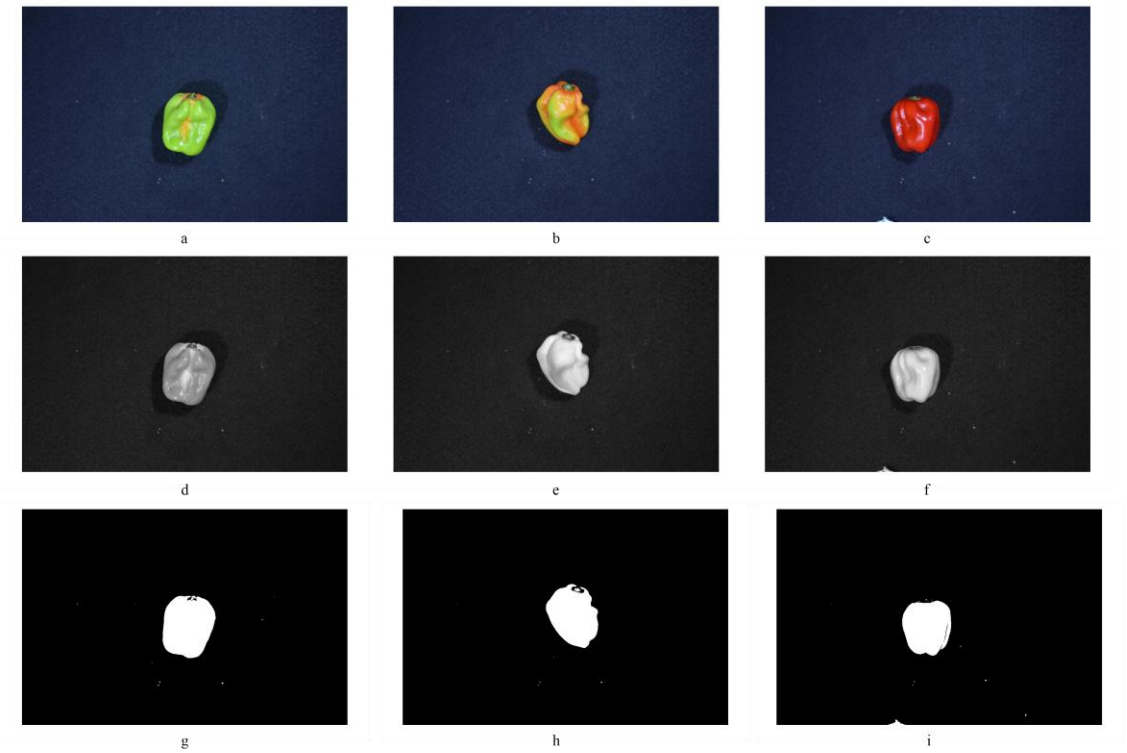
2.3. Tahap Segmentasi Citra

Pada tahap segmentasi citra, channel yang digunakan untuk menentukan nilai titik perpotongan adalah channel red. Channel red kemudian dijadikan sebagai citra input pada metode Otsu Thresholding. Output metode otsu berupa nilai titik perpotongan pada histogram channel red. Titik perpotongan ini kemudian dijadikan acuan untuk membagi area menjadi hitam dan putih dimana putih mewakili objek dan hitam mewakili background. Pada tahap ini kemungkinan dihasilkan citra hasil segmentasi yang masih belum sempurna.

2.4. Tahap Operasi Morfologi

Input pada tahap ini adalah citra hasil segmentasi pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan operasi morfologi berupa dilasi dengan structuring elemen berbentuk disk dengan ukuran 5 piksel. Setelah penerapan dilasi selanjutnya diterapkan proses hole filling / imfill dimana pada proses ini bagian objek yang berlubang (area Tengah objek dianggap sebagai background) akan dihilangkan dengan menjadikannya sebagai area objek. Selanjutnya Langkah terakhir pada tahap ini adalah membuang semua objek lain yang ukurannya lebih kecil dari area objek cabai Katokkon dengan operasi

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X
JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023



Gambar 2. Citra hasil proses (a-c) akuisisi citra, (d-f) ekstraksi channel Red, dan (g-i) segmentasi Otsu

bwareaopen. Akhirnya pada tahap ini akan dihasilkan citra hasil segmentasi yang lebih akurat.

2.5. Tahap Ekstraksi Fitur

Setelah objek atau area cabai Katokkon telah dapat dideteksi secara akurat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan ekstraksi fitur. Pada tahapan ini fitur yang digunakan adalah fitur yang diekstrak adalah fitur warna.

2.6. Tahap Klasifikasi

Pada tahap ini terdapat dua sub tahapan yaitu tahap pelatihan model jaringan syaraf tiruan backpropagation dan tahap klasifikasi. Model jaringan syaraf tiruan yang digunakan terdiri atas 2 lapisan tersembunyi yang terdiri atas 5 neuron untuk masing-masing layer. Fungsi aktivasi untuk kedua layer adalah log-sigmoid, jumlah iterasi sebesar 1000 kali iterasi, dan objective function sebesar 0,000001.

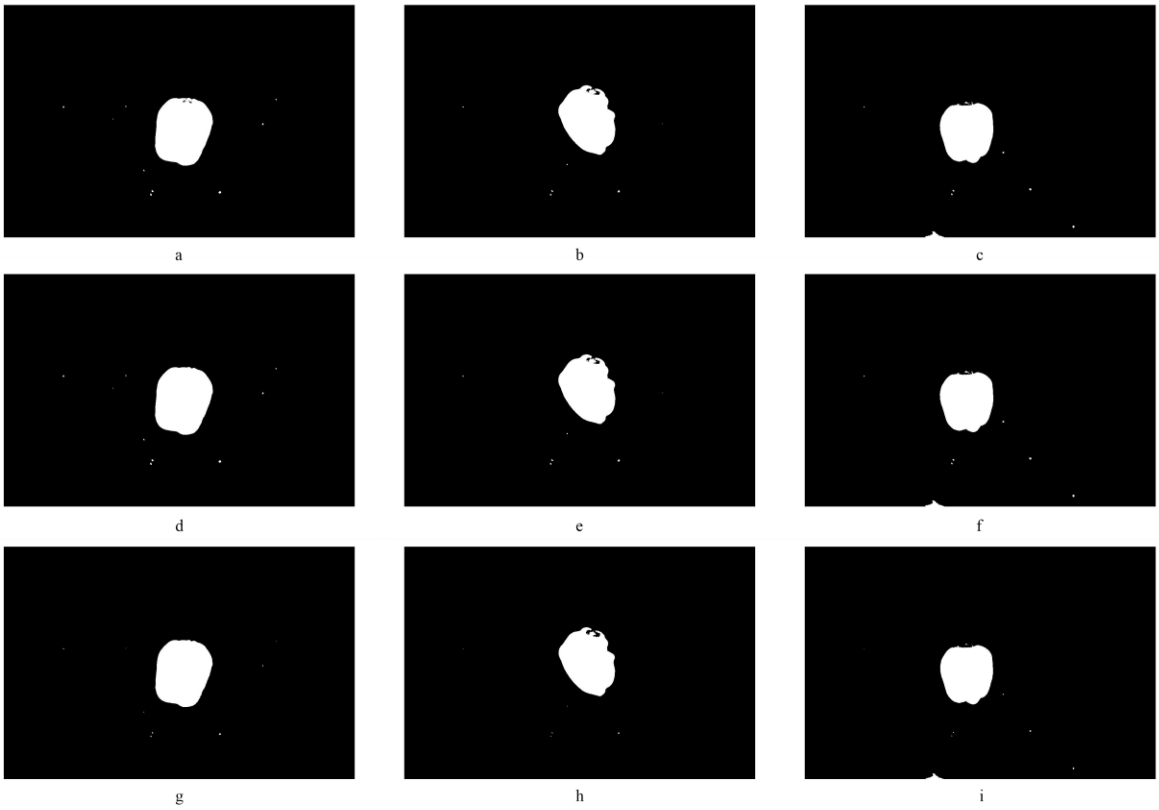
3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap akuisisi citra diperoleh citra buah cabai Katokkon dengan ukuran 4928 px * 3264 px dalam ruang warna RGB. Adapun jumlah citra yang digunakan sebagai data latih adalah sebanyak 150 Citra (50 citra untuk setiap kelas) dan 75 untuk data uji (25 citra untuk setiap kelas). Pada penelitian ini ditetapkan 3 kelas cabai Katokkon yaitu mentah, hampir matang, dan matang. Adapun contoh hasil akuisisi citra dari ketiga kelas tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, dimana (a) adalah cabai Katokkon Mentah, (b) hampir matang, dan (c) matang.

Setelah memperoleh citra yang dibutuhkan, tahap berikutnya adalah tahap preprocessing. Adapun output dari tahap ini adalah citra cabai katokkon dalam ruang warna red. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, dimana (d) adalah channel red citra cabai Mentah, (e) channel red citra cabai hampir matang, dan (f) channel red citra cabai matang. Pada gambar tersebut, channel Red dipilih karena channel ini memiliki tingkat kontras yang paling tinggi antara buah cabai dan background dibandingkan dengan channel lainnya. Sehingga akan mempermudah proses segmentasi yang dilakukan pada tahap berikutnya.

Tahap berikutnya adalah tahap segmentasi. Pada tahap ini dilakukan proses pelabelan piksel yang mewakili area buah cabai Katokkon dan yang mewakili area background. Atau dengan kata lain pada proses ini akan dilakukan pendeteksian area objek pada citra. Adapun output pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 2, dimana (g) hasil segmentasi channel red citra cabai mentah, (h) hasil segmentasi channel

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X
JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023



Gambar 3. Citra hasil proses (a-c) dilasi, (d-f) hole filling, dan (g-i) erosi

red citra cabai hampir matang, dan (i) hasil segmentasi channel red citra cabai mentah.

Secara visual, hasil segmentasi sudah dapat membedakan dengan cukup baik antara area objek dan area background. Namun, masih terdapat piksel yang dilabeli dengan label yang keliru atau tidak seharusnya. Pada gambar dapat diketahui bahwa masih terdapat area background yang dilabeli sebagai area objek dan sebaliknya.

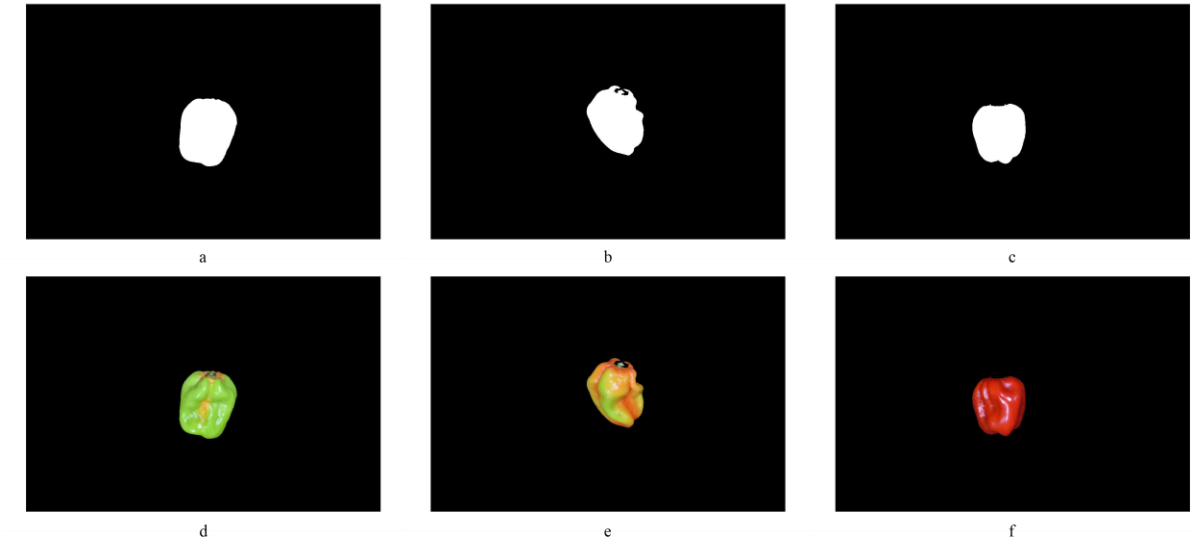
Meskipun secara garis besar system yang diusulkan sudah mampu membedakan antara objek dan background, namun adanya objek lain yang tidak seharusnya terdapat dalam citra hasil segmentasi akan mempersulit proses ekstraksi fitur dan bahkan akan membuat nilai fitur yang diekstraksi nantinya tidak akan presisi. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dilakukan tahap berikutnya yaitu operasi morfologi.

Pada tahap operasi morfologi dilakukan serangkaian proses untuk meningkatkan akurasi hasil segmentasi dimana hanya terdapat satu objek dan satu background di dalam citra. Adapun serangkaian proses operasi morfologi ini yaitu operasi dilasi, hole filling, erosi, dan bwareaopen.

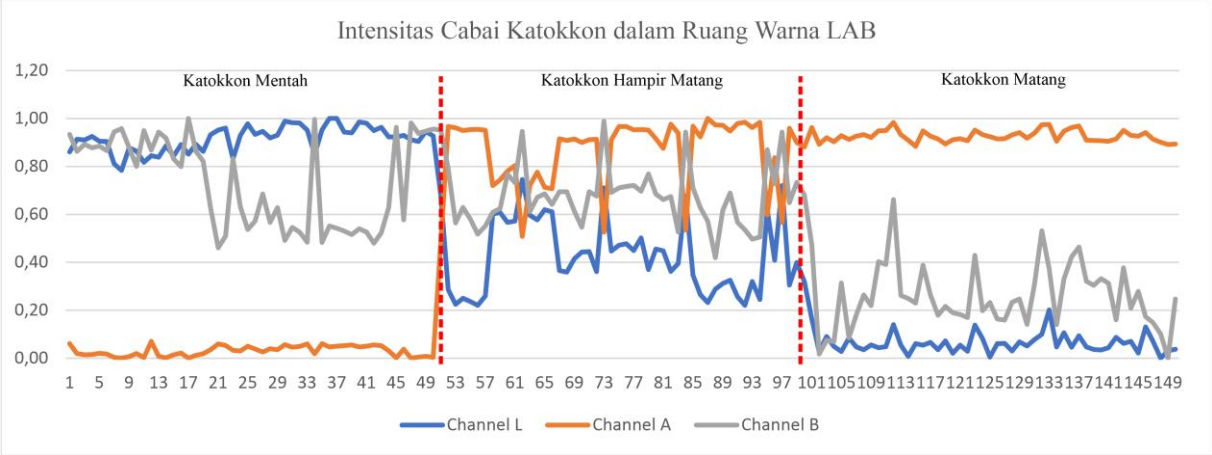
Pada Gambar 3(a-b) menunjukkan operasi dilasi dilakukan untuk membuat tepi piksel objek menjadi lebih akurat serta menghubungkan kembali area objek yang terputus pada bagian tepi. Efek dari penerapan operasi ini adalah bagian tepi objek yang lebih menebal sehingga dapat mengkoneksikan area objek bagian tepi yang sempat terputus.

Selanjutnya pada Gambar 3(d-e) menunjukkan bahwa operasi hole filling dilakukan untuk mengubah area piksel yang dianggap sebagai background di tengah objek (lubang) menjadi area objek. Setelah itu dilakukan operasi erosi untuk memperbaiki kembali tepi citra. Hasil erosi dapat dilihat pada Gambar 3(g-i). Tahap terakhir dari operasi morfologi ini adalah tahap bwareaopen. Tahap ini dilakukan untuk mengubah seluruh area background yang dianggap sebagai area objek menjadi area background. Sehingga pada tahap ini akan dihasilkan 1 citra dan background untuk setiap citra. Adapun hasil operasi morfologi

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X
JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023



Gambar 4. Citra hasil proses (a-c) bwareaopen, (d-f) hasil segmentasi akhir saat diterapkan ke citra asli



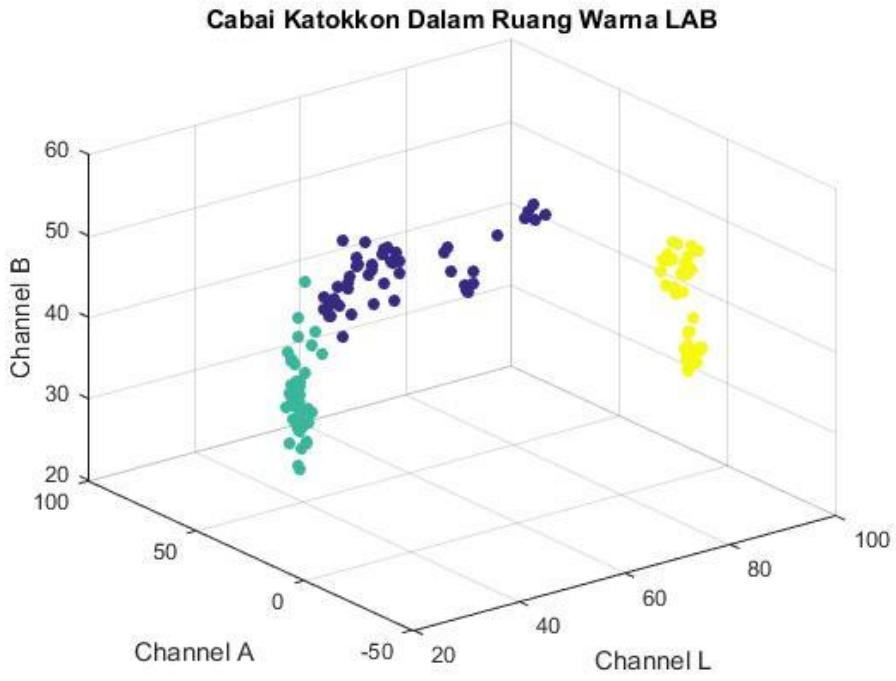
Gambar 5. Intensitas warna LAB citra latih buah cabai katokkon dalam 3 kelas

dapat dilihat pada Gambar 4. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa sistem sudah mapu mendeteksi area objek yang diinginkan dengan baik.

Setelah memperoleh hasil segmentasi yang lebih akurat, maka dilakukan proses ekstraksi fitur. Pada metode yang diusulkan fitur yang digunakan adalah fitur warna LAB. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai intensitas citra buah katokkon dalam ruang LAB memiliki pola perbedaan yang cukup jelas. Cabai katokkon yang mentah memiliki nilai intensitas channel L dan B yang cenderung tinggi dan channel A yang cenderung rendah. Cabai Katokkon yang hampir matang memiliki nilai intensitas channel L yang sedang, channel B yang juga sedang, dan channel A yang cenderung tinggi. Sedangkan cabai Katokkon yang matang memiliki nilai intensitas channel L yang rendah dan B yang juga cenderung sedang ke rendah, serta nilai intensitas channel A yang tinggi. Dari pola tersebut dapat diketahui bahwa semakin matang buah katokkon maka nilai intensitas channel A cenderung semakin tinggi dan nilai intensitas channel A dan B cenderung semakin rendah.

Selanjutnya nilai ruang fitur LAB dipetakan ke dalam ruang 3 dimensi berdasarkan kelasnya untuk melihat kalster yang terbentuk. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 6. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa cluster setiap kelas terpisah

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X
JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023



Gambar 6. Sebaran citra data latih dalam ruang warna LAB

Tabel 1. Hasil pelatihan dan pengujian model system klasifikasi berdasarkan fitur

No	Skenario Fitur	Pelatihan				Pengujian			
		Waktu (s)	Akurasi (%)	Precision (%)	Recall (%)	Waktu (s)	Akurasi (%)	Precision (%)	Recall (%)
1	RGB	152,07	99,33%	99,00%	99,00%	74,72	93,33%	94,00%	93,00%
2	LAB	772,67	100,00%	100,00%	100,00%	417,21	96,00%	96,40%	96,00%
3	HSV	390,17	99,33%	99,30%	99,30%	190,42	93,33%	94,00%	93,00%
4	BENTUK	123,58	70,00%	50,50%	52,00%	78,99	53,33%	55,60%	53,00%
5	TEKSTUR	171,28	98,66%	98,70%	98,60%	87,22	92,00%	93,00%	92,00%

dengan cukup jelas. Hal tersebut menjadi penanda bahwa fitur yang digunakan berpotensi untuk membentuk model jaringan syaraf tiruan yang dapat mengklasifikasikan tingkat kematangan cabai Katokkon dengan akurat.

Selanjutnya dilakukan proses pelatihan dan pengujian untuk membentuk model jaringan syaraf tiruan backpropagation. Untuk menunjukkan performa dari fitur yang terpilih, akurasi model pelatihan ditunjukkan pada Tabel 1. Dapat diketahui bahwa penggunaan fitur ruang warna LAB menghasilkan hasil akurasi, precision dan, recall tertinggi dibandingkan fitur RGB, HSV, bentuk (perimeter, eccentricity, area) dan tekstur (contrast, correlation, energy, homogeneity). Akurasi yang tinggi menunjukan kemampuan model jaringan syaraf tiruan yang dibentuk untuk mengklasifikasikan citra input dengan akurat. Precision menunjukkan rasio prediksi benar positif dengan total prediksi positif. Recall menunjukkan rasio prediksi benar positif dengan total data positif.

Berdasarkan hasil pelatihan tersebut juga dapat diketahui bahwa fitur bentuk menunjukkan tingkat akurasi, precision, dan recall yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa fitur bentuk tidak maksimal dalam membedakan setiap kelas kematangan Cabai Katokkon. Dengan kata lain fitur ini tidak terlalu

merepresentasikan perbedaan antara cabai Katokkon mentah, hampir matang, dan matang.

Selanjutnya model jaringan syaraf tiruan yang telah dibentuk diuji menggunakan 75 citra uji. Hasil pengujian model ditunjukkan pada Tabel 1 dan dibandingkan dengan model fitur lainnya untuk menunjukkan perbandingan performanya**.** Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa model yang dihasilkan mampu mengklasifikasikan citra uji lebih akurat dibandingkan dengan model fitur lainnya.

4. Kesimpulan

Sistem klasifikasi tingkat kematangan buah cabai katokkon berdasarkan fitur warna LAB menggunakan artificial neural network backpropagation yang diusulkan terdiri atas 6 tahapan utama yaitu tahap akuisisi citra, preprocessing, segmentasi, operasi morofologi, ekstraksi fitur LAB, dan pembuatan model jaringan syaraf tiruan backpropagation. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mengklasifikasikan kematangan cabai dengan tingkat akurasi, precision, dan recall yang tinggi. Kedepan system ini akan dikembangkan agar dapat melakukan proses komputasi dalam waktu yang lebih cepat.

Daftar Pustaka

[1] D. Rahadiyan, S. Hartati, A. P. Nugroho, and L. Sutiarso, "Classification of Macronutrient Deficiency in Chili Leaves using Support Vector Machine," in *International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 2022, pp. 564–575.

[2] D. Rahadiyan, S. Hartati, and A. P. Nugroho, "Design of an Intelligent Hydroponics System to Identify Macronutrient Deficiencies in Chili," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 1, 2022.

[3] R. Kustiari, W. K. Sejati, and R. Yulmahera, "Integrasi Pasar dan Pembentukan Harga Cabai Merah di Indonesia," *J. Agro Ekon.*, vol. 36, no. 1, pp. 39–53, 2018.

[4] J. Sumarno, A. A. Saragih, E. R. Maruapey, and A. K. Rahman, "Chili Double Fold Production Technology as Promising Innovation for Increasing Farmer Income in Gorontalo, Indonesia," in *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 306, p. 3005.

[5] E. Rohaeti, K. Muzayanah, D. A. Septaningsih, and M. Rafi, "Fast Analytical Method for Authentication of Chili Powder From Synthetic Dyes Using UV-VIS Spectroscopy in Combination With Chemometrics," *Indones. J. Chem.*, vol. 19, no. 3, pp. 668–674, 2019.

[6] W. A. Setiawan, Yulianty, W. Widianningrum, M. L. Lande, and M. Kanedi, "First identified Colletotrichum scovillei causing anthracnose on chili peppers (Capsicum annuum L.) from traditional market in Bandar Lampung, Indonesia," *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 7, no. 01, pp. 302–307, 2022.

[7] F. Rahmadhani, E. Murniarti, S. G. Yohanes, S. G. Jeremy, and A. Turnip, "A Sequential Auto Irrigation for Smart Chili Farming," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1083, no. 1, p. 12060.

[8] R. Surya and F. Tedjakusuma, "Diversity of sambals, traditional Indonesian chili pastes," *J. Ethn. Foods*, vol. 9, no. 1, p. 25, 2022.

[9] A. Wätjen, S. Huyskens-Keil, and S. Stöber, "Nutritional Assessment of Indonesian Chilli Landraces (Capsicum chinense Jaqc.)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 748, no. 1, p. 12033.

[10] F. V Maddo, S. Aminah, and A. Afadil, "Analysis of Lycopene Content and Antioxidant Activity Test of Katokkon Chili Extract (Capsicum chinense Jacq)," *J. Akad. Kim.*, vol. 10, no. 4, pp. 224–229, 2021.

[11] W. Pola, S. Sugaya, and S. Photchanachai, "Color Development and Phytochemical Changes in Mature Green Chili (Capsicum annuum L.) exposed to red and blue light-emitting diodes," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 68, no. 1, pp. 59–66, 2019.

[12] R. E. Saragih and A. W. R. Emanuel, "Banana ripeness classification based on deep learning using convolutional neural network," in *2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)*, 2021, pp. 85–89.

[13] A. S. Agung, A. F. Dirgantara SR, M. S. Hersyam, A. B. Kaswar, and D. D. Andayani,

ISSN cetak 2745-925X
ISSN online 2722-273X

JESSI Volume 4 Nomor 2 November 2023

"Classification Of Tomato Quality Based On Color Features and Skin Characteristics Using Image Processing Based Artificial Neural Network," *J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 5, pp. 1021–1032, 2023.

[14] P. Das, J. K. P. S. Yadav, and A. K. Yadav, "An Automated Tomato Maturity Grading System Using Transfer Learning Based AlexNet.," *Ingénierie des Systèmes d Inf.*, vol. 26, no. 2, pp. 191–200, 2021.

[15] M. F. Abdul Aziz *et al.*, "Development of smart sorting machine using artificial intelligence for chili fertigation industries," *J. Autom. Mob. Robot. Intell. Syst.*, vol. 15, no. 4, pp. 44–52, 2021.

[16] I. D. Ananto, "Aplikasi Pengolahan Citra Mendeteksi Kualitas Cabai Berdasarkan Tingkat Kematangan Menggunakan Transformasi Warna YCBCr," *J. Informartika UAD*, vol. 9, no. 2, 2015.

[17] Z. E. Fitri, U. Nuhanatika, A. Madjid, and A. M. N. Imron, "Penentuan Tingkat Kematangan Cabe Rawit (Capsicum frutescens L.) Berdasarkan Gray Level Co-Occurrence Matrix," *J. Teknol. Inf. dan Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–5, 2020.

[18] A. Widodo, F. D. Prasetya, and H. Nugroho, "Implementasi Metode K-Nearest Neighbors (KNN) Guna Mengetahui Klasifikasi Kematangan Stroberi," *KERNEL J. Ris. Inov. Bid. Inform. dan Pendidik. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 31–36, 2022.

[19] A. D. P. Alwy, B. N. N. AG, S. Andriani, F. Adiba, and A. B. Kaswar, "Klasifikasi Kematangan Daun Selada Berdasarkan Fitur Warna Menggunakan K-Nearest Neighbors," *Techno Xplore J. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 35–44, 2022.