

PERANCANGAN SISTEM PENENTUAN TINGKAT KESEGARAN IKAN CAKALANG MENGGUNAKAN METODE *CURVE FITTING* BERBASIS CITRA DIGITAL MATA IKAN

Altien J. Rindengan^{1*}, Mans Mananohas²

^{1,2}Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sam Ratulangi Manado

*corresponding author email: altien@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Pada ikan terdapat banyak mengandung nutrisi yang sangat bermanfaat bagi tubuh, namun seringkali ikan diperdagangkan dalam keadaan sudah mati. Untuk mengamati kesegaran ikan cakalang dilakukan dengan pengenalan perubahan warna yang tampak pada citra digital menggunakan metode curve fitting. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun sistem aplikasi pengolahan citra untuk mendeteksi tingkat kesegaran ikan cakalang dilihat dari lamanya ikan tersebut berada di suhu ruang. Data yang digunakan adalah 10 sampel citra ikan cakalang yang diambil gambarnya setiap 1 jam selama 10 jam dan diperoleh 100 data gambar kemudian diolah dan dilakukan analisis dengan metode curve fitting. Proses pertama diawali dengan pengolahan citra dengan melakukan pemotongan (cropping) pada bagian tepi mata citra original kemudian dilanjutkan dengan penyamaan ukuran (resize) menjadi 1000 x 1000 pixel dan pergantian format citra menjadi *.png. Setelah gambar sudah diolah, kemudian dilakukan perhitungan nilai rata-rata RGB menggunakan sistem aplikasi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan dengan metode curve fitting sehingga diperoleh persamaan regresi polinomial sebagai dasar pada sistem aplikasi.. Proses terakhir, dilakukan pencocokan citra uji dengan citra yang disimpan sebagai data training dan diperoleh kesimpulan apakah citra ikan cakalang tersebut telah berada selama berapa jam di suhu ruang pada selang 1 – 10 jam. Penelitian ini menunjukkan dari 100 sampel ikan, 83 citra sesuai dan 17 tidak sesuai dengan akurasi sistem sebesar 83 %.

Kata kunci : Mata Ikan Cakalang, Pengolahan Citra Digital, Metode Curve fitting.

SYSTEM DESIGN OF FRESHNESS LEVEL DETERMINATION OF SKIPPER FISH USING CURVE FITTING METHOD BASED ON DIGITAL IMAGE OF FISH EYE

ABSTRACT

In fish there are many contain nutrients that are very beneficial to the body, but often fish are traded in a state of death. To observe the freshness of skipjack is done with the introduction of color changes that appear on digital image using curve fitting method. The purpose of this research is to build an image management application system to detect the freshness level of skipjack fish seen from the duration of the fish is at room temperature. The data used are 10 samples of skipjack image taken every 1 hour for 10 hours and obtained 100 image data then processed and analyzed by curve fitting method. The first process begins with image processing by cutting (cropping) at the edge of the eye of the original image and then followed by resizing to 1000 x 1000 pixels and change the image format to *.png. After the image has been processed, then calculated the average value of RGB using the application system. Furthermore, the calculation is done by curve fitting method to obtain the polynomial regression equation as the basis of the application system. The last process, the matching of the test image with the image stored as training data and obtained the conclusion whether the cakalang image has been in for how many hours at room temperature at intervals of 1 - 10 hours. This study showed that from

100 fish samples, 83 corresponding images and 17 did not correspond to the system accuracy of 83%.

Keywords: Skipjack Fish, Digital Image Processing, Curve Fitting Method.

1. PENDAHULUAN

Bidang perikanan di Indonesia khususnya di Sulawesi Utara merupakan salah satu bidang yang banyak menggunakan kecanggihan teknologi, walaupun pada beberapa bagian masih memanfaatkan penilaian manusia dalam menentukan mutu kesegaran ikan. Secara umum ikan diperdagangkan dalam keadaan sudah mati juga seringkali dalam keadaan masih hidup. Penurunan kualitas ikan dapat dilihat dari perubahan warna kulit ikan, mata, insang, dan tekstur daging ikan. Perubahan-perubahan tersebut disebabkan oleh adanya aktivitas enzim, kimiawi, dan bakteri didalamnya sehingga menyebabkan ikan tersebut tidak layak diperdagangkan apalagi dikonsumsi oleh manusia (Adawyah, 2014).

Citra ikan yang mengalami penurunan kualitas dapat diamati berdasarkan bentuk, polah tubuh ikan, beserta perubahan ciri-cirinya. Pengidentifikasian kualitas ikan menggunakan pendekatan pengolahan citra digital, dengan demikian pengenalan terhadap perubahan warna citra ikan akan lebih akurat (Kusumaningsih, 2009). Pada penelitian yang dilakukan oleh Mandagi, Latumakulita, dan Rindengan (2015) dapat diamati perubahan warna pada terumbu karang yang rusak dengan pendekatan pengolahan citra digital menggunakan metode *curve fitting*. Sedangkan Latumakulita (2013) dapat diamati rumus pembusukan ikan dengan metode *curve fitting*. Selanjutnya Bee dkk (2016), melakukan penelitian untuk mengukur tingkat kesegaran ikan selar menggunakan metode metode kuadrat sederhana atau regresi sederhana.

Dalam penelitian ini akan dibangun suatu sistem aplikasi penentuan tingkat kesegaran ikan cakalang dilihat dari lamanya ikana tersebut berada di suhu ruang dengan proses identifikasi atau pengenalan mata ikan berdasarkan ciri warna yang tampak pada citra mata ikan menggunakan pengolahan citra digital serta metode *curve fitting* sebagai penentuan perumusan. Dari perumusan tersebut dapat diamati tingkat

kesegaran ikan dengan bantuan aplikasi komputer.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Parameter Kesegaran Ikan

Ikan yang baik adalah ikan yang masih segar. Ikan yang segar adalah ikan yang masih mempunyai sifat sama dengan ikan yang masih hidup, baik rupa, bau, rasa dan teksturnya. Berdasarkan kesegarannya, ikan dapat digolongkan menjadi empat kelas mutu, yaitu ikan yang tingkat kesegarannya sangat baik sekali (*prima*), ikan yang kesegarannya baik (*advanced*), ikan yang kesegarannya mundur (*sedang*), dan ikan yang sudah tidak segar lagi/busuk (Adawyah, 2014). Segera setelah ikan mati, akan mengalami perubahan-perubahan yang mengarah pada pembusukan yang disebabkan oleh aktivitas bakteri, perubahan kimiawi yang ditimbulkan oleh enzim-enzim serta proses oksidasi lemak ikan olah udara (Ilyas, 1983).

Kesegaran ikan dapat ditentukan dengan melihat kondisi fisik ikan yaitu kenampakan luar, lenturan daging ikan, keadaan mata, keadaan daging dan keadaan insang dan sisik. Segera setelah ikan mati, akan mengalami perubahan-perubahan yang mengarah pada pembusukan yang disebabkan oleh aktivitas bakteri, perubahan kimiawi yang ditimbulkan oleh enzim-enzim serta proses oksidasi lemak ikan olah udara (Ilyas, 1983).

Menurut Adawyah (2014), penentuan kesegaran ikan dapat dilakukan secara fisika, kimia, metode mikrobiologi, dan metode fisik. Sehingga dalam penelitian ini akan dibuat sistem aplikasi untuk mendeteksi tingkat kesegaran ikan cakalang yang dibatasi pada ciri fisik yaitu citra mata ikan.

2.2. Citra Digital

Gambar digital adalah fungsi $f(x, y)$ dengan ukuran baris M dan N kolom, dimana x dan y adalah koordinat spasial dan f pada

titik koordinat (x, y) disebut intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut.

		COLUMNS					
		0	1	2	...	C-1	
ROWS	0	0,0	1,0	2,0	...		
	1	0,1	1,1	2,1	...		
	2	0,2	1,2	2,2	...		
	...	...	...	...	...		
	R-1						

Gambar 1. Koordinat Gambar Digital

Dalam notasi matriks, ditulis:

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

Sebuah gambar digital dapat dianggap sebagai array besar dari titik-titik diskrit. Titik-titik ini disebut elemen gambar atau *pixel*. Warna merupakan spektrum tertentu dalam suatu cahaya sempurnan dimana identitasnya ditentukan oleh panjang gelombang cahaya tersebut. Masing-masing warna mampu memberikan kesan dan identitas tertentu sesuai dengan pengamatan. Dalam *true color*, setiap *pixel* memiliki warna tertentu, warna yang digambarkan oleh jumlah merah, hijau dan biru di dalamnya (McAndrew, 2004). Setiap warna dihasilkan dengan penggabungan yang tepat ketiga warna primer atau *RGB* (Young, 1992).

2.3. True Colour atau RGB

Setiap *pixel* memiliki warna khusus, yang digambarkan dari nilai *Red*, *Green* dan *Blue* pada gambar tersebut. Setiap komponen memiliki nilai yang berada pada 0 – 255, sehingga terdapat $255^3 = 16.777.216$ kemungkinan warna yang berbeda pada suatu gambar. Dari jumlah bilangan bit yang dibutuhkan adalah 24, maka jenis gambar ini juga disebut gambar berwarna 24-bit (McAndrew, 2004).

2.4. Grayscale

Didalam tipe gambar *grayscale*, tidak terdapat pengaruh warna-warna lain seperti merah, biru ataupun hijau. Setiap *pixel*

merupakan bayangan keabu-abuan, biasanya bernilai 0 (hitam) sampai 255 (putih).. Untuk melakukan perubahan suatu gambar *full color* menjadi suatu gambar *grayscale* atau skala keabuan, terdapat beberapa metode yang umum digunakan, yaitu : $\frac{(R+G+B)}{3}$ (McAndrew, 2014).

2.5. Pemotongan (Cropping)

Cropping adalah pengolahan citra dengan kegiatan memotong satu bagian dari citra.

Rumus yang digunakan :

$x' = x - xL$ untuk $x = xL$ sampai xR

$y' = y - yT$ untuk $y = yT$ sampai yB

(xL, yT) dan (xR, yB) adalah koordinat titik pojok kiri atas dan pojok kanan bawah citra yang di-crop (Kusumaningsih, 2009).

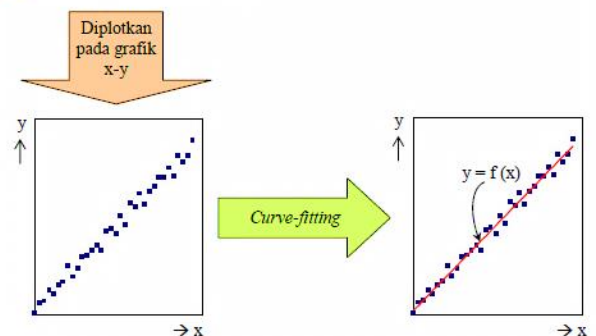
Ukuran citra menjadi : $w' = xR - xL$

$h' = yB - yT$

2.6. Curve Fitting (Pencocokan Kurva)

Dalam banyak hal, kita sering bekerja dengan sejumlah data diskrit (umumnya berbentuk tabel). Data tersebut mungkin diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan, pengukuran di laboratorium, atau tabel yang diambil dari buku acuan. Masalah yang sering muncul adalah menentukan harga diantara data-data yang sudah ada, tanpa harus melakukan pengukuran ulang. Misalkan tersedia data-data y pada berbagai x (sejumlah n pasang), maka dapat dicari suatu persamaan $y = f(x)$ yang memberikan hubungan y dengan x yang mendekati data. Pendekatan seperti ini dalam metode numerik disebut Pencocokan Kurva (*Curve Fitting*) (Iskandar, 2014)

x	x_1	x_2	x_3	...	x_{n-1}	x_n
y	y_1	y_2	y_3	...	y_{n-1}	y_n



Gambar 2. Proses *Curve-fitting*

Ada dua metode pencocokan kurva yaitu interpolasi dan regresi.

2.6.1. Interpolasi

Bila data dalam tabel mempunyai ketelitian yang sangat tinggi (misal : tabel harga suatu fungsi, tabel yang terdapat dalam acuan ilmiah, seperti harga percepatan gravitasi sebagai fungsi jarak dari pusat bumi) kurva cocokannya dibuat melalui setiap titik data. Pencocokan data seperti ini disebut interpolasi. Metode yang digunakan antara lain adalah : interpolasi linear, interpolasi kuadrat dan interpolasi polinom (Muhaemin dan Saukat, 2009).

2.6.2. Regresi

Regresi adalah teknik pemecahan kurva untuk data yang ketelitiannya rendah. Contohnya:

- Data hasil pengamatan
- Data hasil percobaan di laboratorium
- Data statistik

Data seperti ini disebut data hasil pengukuran. Pencocokan kurva untuk data hasil pengukuran, kurvanya tidak pula melalui semua titik data dan tidak pula menggunakan polinom derajat tinggi. Jika data menunjukkan sebuah derajat kesalahan atau noise, dapat dibuat kurva tunggal untuk merepresentasikan trend data tersebut (Luknanto, 2001)

Terdapat beberapa metode regresi yang dapat digunakan yakni : regresi linear, regresi eksponensial, regresi linear berganda dan regresi polinomial.

- Regresi Polinomial

Regresi polinomial digunakan menentukan fungsi polynomial yang paling sesuai dengan kumpulan titik data (x_i, y_i) yang diketahui. Fungsi pendekatan :

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_rx^r$$

Dapat dihasilkan persamaan-persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 + \dots + a_r \sum x_i^r &= \sum y_i \\ a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 \dots + a_r \sum x_i^{r+1} &= \sum x_i y_i \\ a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 \dots + a_r \sum x_i^{r+2} &= \sum x_i^2 y_i \\ &\vdots \\ a_0 \sum x_i^r + a_1 \sum x_i^{r+1} + a_2 \sum x_i^{r+2} \dots + a_r \sum x_i^{r+r} &= \sum x_i^r y_i \end{aligned}$$

Atau dapat disusun dalam bentuk perkalian matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^r \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{r+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{r+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^r & \sum x_i^{r+1} & \sum x_i^{r+2} & \dots & \sum x_i^{r+r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^r y_i \end{bmatrix}$$

Dalam menentukan nilai-nilai parameter yang belum diketahui yakni $a_0, a_1, a_2, \dots, a_r$ dapat dicari dengan menggunakan persamaan di atas (Widodo, 2015).

Algoritma regresi polinomial :

1. Tentukan N titik data yang diketahui dalam (x_i, y_i) untuk $i=1, 2, 3, \dots, N$
2. Hitung nilai-nilai yang berhubungan dengan jumlahan data untuk mengisi matrik
3. Hitung nilai koefisien-koefisien $a_0, a_1, a_2, \dots, a_r$ dengan menggunakan eliminasi gauss/Jordan
4. Tampilkan fungsi polinomial $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_rx^r$
5. Tampilkan hasil tabel (x_i, y_i) dari hasil fungsi polinomial tersebut (Iskandar, 2014).

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan membuat system aplikasi penentuan tingkat kesegaran ikan cakalang menggunakan metode *curve fitting* berbasis citra digital mata ikan. Jika Latumakulita (2014) menggunakan citra insang ikan dan belum dalam bentuk system aplikasi, maka penelitian ini menggunakan citra mata ikan dan sudah dalam bentuk system aplikasi. Selanjutnya, jika Bee, Weku dan Rindengan (2016) menggunakan ikan Cakalang dan metode *curve fitting*, dalam penelitian ini menggunakan ikan cakalang dan metode *curve fitting*. Sedangkan Koba, Montolalu, dan Rindengan (2017), mengukur tingkat kesehatan terumbu karang, maka penelitian ini mengukur tingkat kesegaran ikan cakalang.

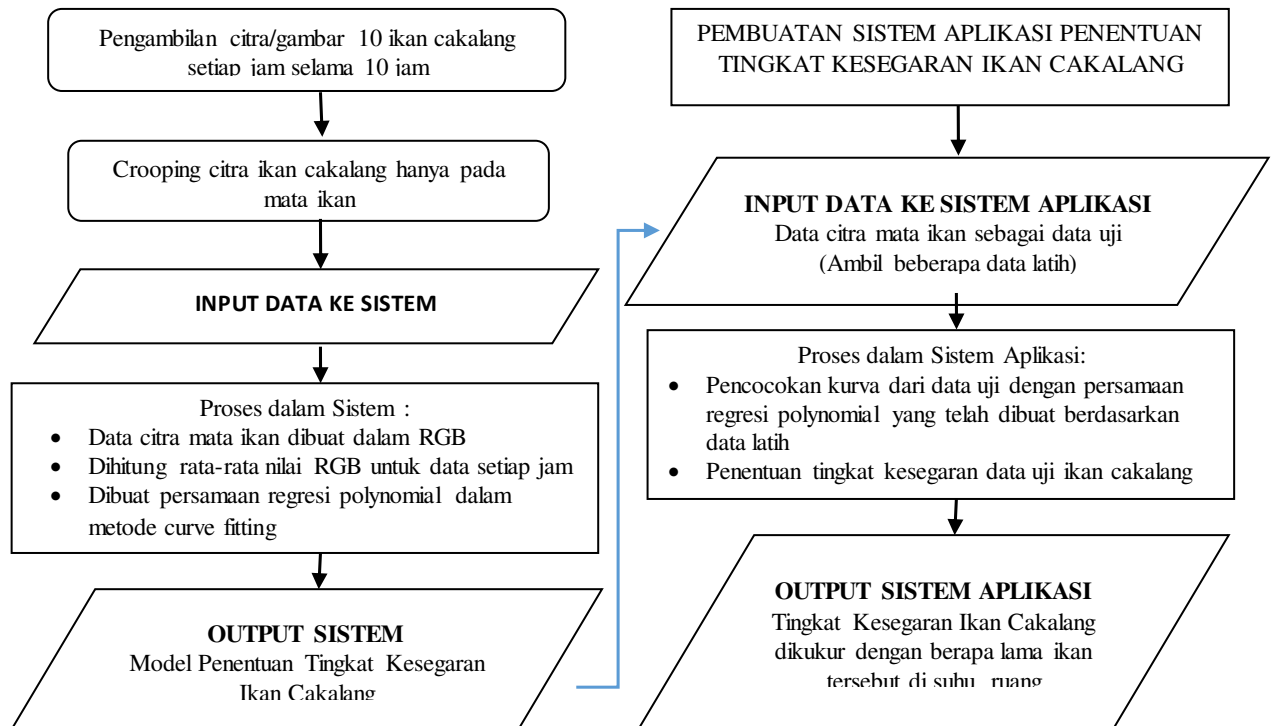
3.1. Bahan dan Sumber Data

Data yang digunakan adalah data citra digital ikan cakalang yang diperoleh melalui pengambilan gambar/foto secara langsung terhadap ikan cakalang yang baru ditangkap dengan menggunakan kamera digital. Bahan peralatan yang digunakan adalah komputer

notebook dengan spesifikasi prosesor Core i7, sistem operasi Windows 8.1, dan Program MATLAB 2013b.

Bagan Penelitian disajikan pada gambar 3

3.2. Bagan Penelitian



Gambar 3. Bagan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian

Data penelitian yang dipakai sebagai basis data tingkat kesegaran ikan cakalang yang disimpan/berada pada suhu ruang selama 1 sampai 10 jam berjumlah 100 data digital mata ikan yang diperoleh dari 10 ikan cakalang yang difoto dari jam pertama sampai jam ke sepuluh. Contoh citra digital mata ikan disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Contoh Citra Digital Mata Ikan Cakalang

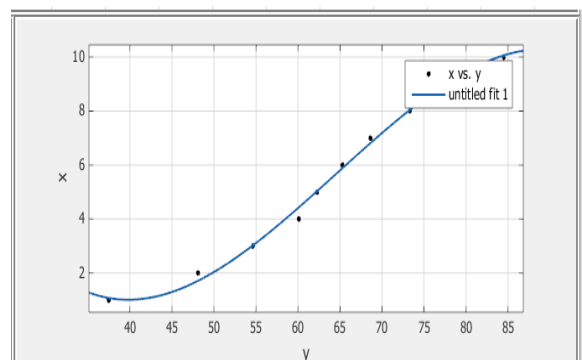
4.2. Perumusan Persamaan Tingkat Kesegaran Ikan Cakalang Menggunakan Curve Fitting

Pada perumusan persamaan tingkat kesegaran ikan cakalang menggunakan persamaan regresi polinomial berderajat tiga.

Data yang akan digunakan adalah hasil ekstraksi nilai *RGB* dari 100 citra digital mata ikan cakalang. Rata-rata warna *RGB* sebagai variabel *x* sementara untuk lamanya ikan tersebut disimpan/berada di suhu ruang (1 – 10 jam) akan menjadi variabel *y*. Persamaan yang diperoleh adalah

$$y = 28.87 - 1.644x + 0.0288x^2 - 0.0001545x^3$$

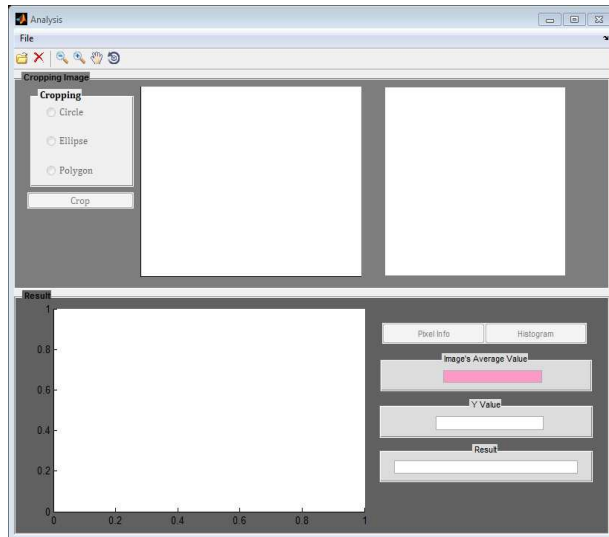
Dalam bentuk kurva disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva Persamaan Regresi Polinomial

4.3. Sistem Aplikasi

Tampilan sistem utama merupakan tampilan analisis suatu citra digital dengan metode *curve fitting*. Tampilan awal sistem aplikasinya dapat dilihat pada gambar 6.



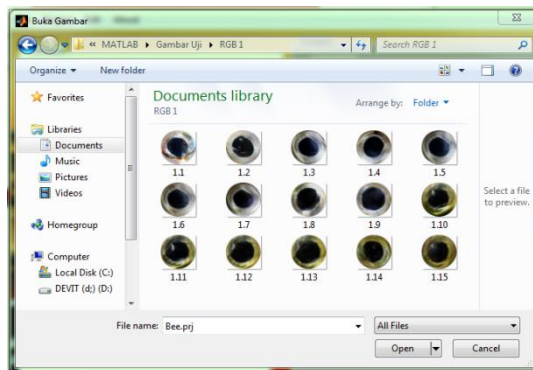
Gambar 6. Tampilan Awal Sistem Aplikasi

Langkah-langkah yang dibuat dalam sistem aplikasi ini yaitu:

- *Load image*



- (a) Menu *load image*

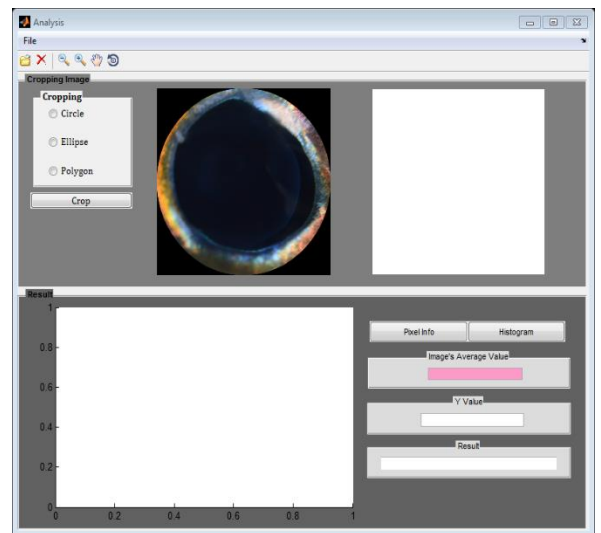


(b) Kotak dialog

Gambar 7. Tampilan untuk Membuka dan Menampilkan File Citra

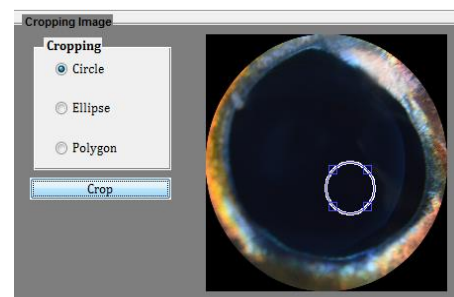
Load image digunakan untuk memilih citra yang nantinya akan disimpan kedalam data *training*. Pada bagian proses load ini, hanya file citra yang berekstensi **.png* yang dapat di-load dan ditampilkan pada program. Untuk menampilkan file citra kita pilih '*load*

image' pada menu bar maka akan ditampilkan kotak dialog untuk memilih file citra yang akan diuji. Pada kotak dialog tersebut pilih '*open*' untuk proses input file citra, maka secara langsung dilakukan analisis citra. Citra hasil analisis akan ditampilkan pada tempat yang telah disediakan dalam bentuk citra *grayscale* dan histogram citra, seperti pada gambar 8.

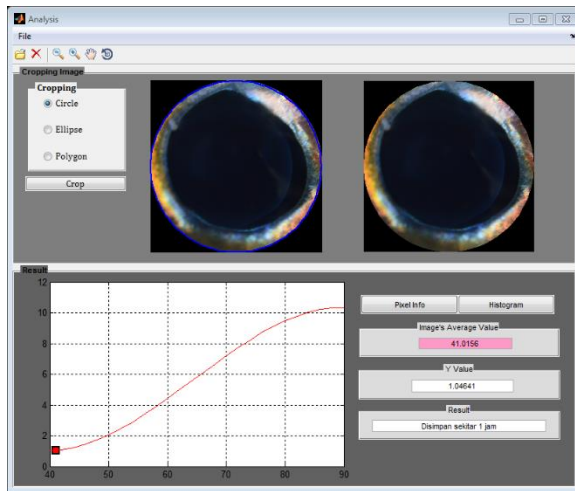


Gambar 8. Tampilan Citra Mata Ikan Setelah File Citra Berhasil Dibuka

Pada menu *cropping*, dipilih *circle* untuk men-*cropping* mata ikan yang berbentuk lingkaran kemudian tekan **crop**, seperti pada gambar 9. Selanjutnya tanda lingkarannya kita geser atau perbesar/perkecil sesuai citra digital mata ikan yang ditampilkan.

Gambar 9. Tampilan Menu *Cropping*

Hasil *cropping* disajikan pada jendela gambar disebelah kanannya, seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Tampilan Hasil *Cropping*

Hasil *cropping* ini, sekaligus menampilkan nilai rata-rata RGB dari citra digital mata ikan yang di-input (pada *Image Average Value*) dan tampilan titiknya pada kurva persamaan regresi polynomial yang telah dibentuk, nilai Y (*Y Value*) dan *Result* untuk menyatakan lamanya ikan tersebut telah berada/disimpan pada suhu ruang.

4.4. Pengujian Sistem

Jika 100 data citra digital mata ikan cakalang sebagai basis data dijadikan data uji untuk menguji keakuratan system yang telah dibentuk maka diperoleh 83 data yang sesuai dengan jam pengambilan datanya sedangkan 17 tidak sesuai. Atau data dikatakan bahwa system ini mempunyai tingkat akurasi yang cukup baik sebesar 83 %. Error yang terjadi ini mungkin disebabkan dalam pengambilan datanya (saat men-foto ikannya) antara lain pencahayaan, dan jarak pengambilan gambar. Atau juga saat dilakukan *cropping* mata ikannya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan :

1. Terbentuknya basis data citra digital mata ikan cakalang yang diambil setiap jam selama 10 jam dari 10 ikan cakalang sebagai sampel.
2. Sistem aplikasi penentuan tingkat kesegaran ikan cakalang dengan tingkat akurasi yang cukup baik sebesar 83%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawyah, R. 2014. Pengolahan dan Pengawetan Ikan. Bumi Aksara.Jakarta.
- Bee, D., W. Weku., dan A. Rindengan. 2016. Aplikasi Penentuan Tingkat Kesegaran Ikan Selar Berbasis Citra Digital Dengan Metode Kuadrat Terkecil. *Jurnal de Cartesian* 5(2):121-130
[<http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian/article/view/14985>]
- Gonzalez R.C., R.E. Woods., and S.L. Eddins. 2008. *Digital Image Processing 3rd Edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Hestiningsih, I. 2009, Pengolahan Citra,<http://images.moedy9.multiply.multiplycontent.com/attachment/0/SMuuNwoKCBkAAHPHjZk1/Pengolahan%20Citra.pdf?nmid=115281461>
- Ilyas, S. 1983. Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan Jilid I. Liberty. Yogyakarta
- Iskandar, D. 2014. Metode Numerik. STIMIK-AMIK Riau. Pekanbaru.
- Kusumaningsih, I. 2009. Ekstraksi Ciri Warna, Bentuk, dan Tekstur Untuk Temu Kembali Citra Hewan [Skripsi]. FMIPA IPB, Bogor
- Latumakulita, L. 2013. Penentuan Rumus Pembusukan Ikan Menggunakan Metode Curve Fitting Dengan Pendekatan Pengolahan Citra Terhadap Digital Citra Insang Ikan. *Jurnal Matematika* 2(2) : 1-4
- Luknanto, D. 2001. Metoda Numerik. UGM. Yogyakarta
- Mandagi, A., L. Latumakulita, dan A. Rindengan. 2015. Identifikasi Tingkat Kesehatan Karang, Berdasarkan *Coral Health Chart* Menggunakan Pengolahan Citra Digital Dan Metode *Curve fitting*. *Jurnal de Cartesian* 4(1):42-50.
- Mathews, J. and K.Fink. 1999. *Numerical Methods Using MATLAB Third Edition*. Prentice Hall Upper Saddle River. USA

- McAndrew, A. 2004. *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab*. School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology.
- Muhaemin, M., dan Saukat, M. 2009. Analisis Numerik. Universitas Padjadjaran
- Munir, R. 2004. Pengolahan Citra Digital. Informatika. Bandung.
- Widodo, S. 2015. *Metode Numerik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Yahya, K., dan Y. Melita. 2011. Aplikasi Kompresi Citra Digital Menggunakan Teknik Kompresi JPEG Dengan Fungsi GUI pada MATLAB. *Jurnal Teknika*. 3(2): 461-468
- Young, T. 1992. On the Theory of Light and Colors. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 18(02):20-71.