



TESIS - KI142502

SISTEM PENGUKURAN MUTU BUAH MANGGA
BERDASARKAN KEMATANGAN, UKURAN DAN
AREA BERCAK MENGGUNAKAN FUZZY
INFERENCE SYSTEM

SAIFUL NUR BUDIMAN
5113201030

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN KOMPUTASI CERDAS DAN VISUALISASI
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - KI142502

THE GRADING SYSTEM OF MANGO FRUITS
BASED ON MATURITY, SIZE AND SPOT AREA
USING FUZZY INFERENCE SYSTEM

SAIFUL NUR BUDIMAN
5113201030

SUPERVISOR
Prof.Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D

MASTER PROGRAM
DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

oleh:
Saiful Nur Budiman
NRP. 5113201030

Dengan judul :
**Sistem Pengukuran Mutu Buah Mangga Berdasarkan Kematangan, Ukuran
dan Area Bercak Menggunakan Fuzzy Inference System**

Tanggal Ujian : 21-06-2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D
NIP. 194908231976032001


.....
(Pembimbing 1)

Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom, M.Kom
NIP. 197104281994122001


.....
(Penguji 1)

Dr. Darlis Heru Murti, S.Kom, M.Kom
NIP. 197712172003121001


.....
(Penguji 2)

Anny Yuniarti, S.Kom, M.Comp.Sc
NIP. 198106222005012002


.....
(Penguji 3)



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Fauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196612021987011001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

SISTEM PENGUKURAN MUTU BUAH MANGGA BERDASARKAN KEMATANGAN, UKURAN DAN AREA BERCAK MENGGUNAKAN FUZZY INFERENCE SYSTEM

Nama Mahasiswa : Saiful Nur Budiman
NRP : 5113201030
Pembimbing : Prof.Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Mangga merupakan buah musiman yang dipanen secara serentak ketika musim panen tiba. *Grading* mangga secara konvensional dengan menggunakan tenaga manusia memerlukan waktu lama dan hasil yang tidak maksimal. *Grading* dengan komputer berbasis sensor telah pula dikembangkan tetapi keberhasilannya tergantung pada sensor yang digunakan. Untuk mengatasinya, *grading* telah dilakukan dengan CVS (*Computer Vision System*) dengan *input* berupa citra. Proses CVS dimulai dari *preprocessing*, ekstraksi fitur, pelatihan dan pengenalan. Parameter yang digunakan dalam proses *grading* adalah tingkat kematangan dan kualitas suatu mangga. Tingkat kematangan sebuah mangga ditentukan oleh perubahan warna, sedangkan untuk kualitas ditentukan oleh ukuran dan rasio bercak. Pada penelitian ini FIS (*Fuzzy Inference system*) Mamdani digunakan untuk mendapatkan hasil *grading* yang lebih baik berdasarkan parameter warna, ukuran, dan bercak suatu mangga. *Conveyer belt* digunakan untuk mengangkut mangga sehingga proses *grading* lebih cepat. Akibatnya, citra mangga mengalami *motion blur*. Citra *input* yang mengalami *motion blur* disimulasikan dengan MATLAB. Citra mangga diambil pada kondisi diam dan bergerak untuk menentukan akurasi *grading*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi diam diperoleh akurasi sebesar 77%. Sementara pada kondisi bergerak akurasinya semakin menurun. Dapat disimpulkan bahwa nilai akurasi *grading* mangga semakin menurun jika derau *motion blur* semakin besar.

Kata Kunci : *Grading Mangga, CVS, Motion blur, Fuzzy Inference System Mamdani.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

THE GRADING SYSTEM OF MANGO FRUITS BASED MATURITY, SIZE AND SPOT AREA USING FUZZY INFERENCE SYSTEM

Student Name : Saiful Nur Budiman
NRP : 5113201030
Supervisor : Prof.Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Mango is a seasonal fruit which is harvested simultaneously when the harvest season arrives. Conventionally *grading* of mango by manpower spent much more time and the results were not optimal. Computerized *grading* based on sensor has also been developed but the results were sensor dependent. To solve the problem, *grading* was performed by CVS with images as *input*. The process of CVS was started from *preprocessing*, feature extraction, training and recognition. Parameters used in the *grading* process were ripeness and quality of a mango. The level of mango ripeness was determined by color change, while the quality was determined by the size and the ratio of spotting. In this research, FIS Mamdani was used for providing better *grading* based on colour, size, and spotting of a mango. Conveyer belt was used to transport mango so the *grading* process was faster. As a result, the mango image experienced *motion blur*. The *motion blur* image was simulated with MATLAB. Mango images were captured at stopping and moving condition to determine the *grading* accuracy. As a result, at stopping position the accuracy was as much as 77%. Meanwhile, the accuracy was tend to decrease at moving condition. It can be concluded that the accuracy of the mango grading would be decreased as the increasing of motion blur noises.

Keywords: *Grading Mangoes, CVS, Motion blur, Fuzzy Inference System Mamdani*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT sehingga buku tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Meski dalam menyelesaikan buku ini banyak ditemui kesulitan, namun berkat bantuan dan bimbingan berbagai pihak, akhirnya Penulis berhasil menyelesaikan buku ini. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam penulisan buku tesis ini sebagai berikut :

1. Orang tua, Bapak Sahri (alm), Bapak Sutaham (alm) dan Ibu Nurnani yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan secara penuh untuk melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi, serta semua kakak yang selalu menjadi penyemangat.
2. Prof.Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran berharga dan menjadi sumber inspirasi Penulis dalam setiap melakukan penelitian.
3. Waskitho Wibisono, S.Kom, M.Eng, Ph.D selaku Kepala Program Studi Pascasarjana Teknik Informatika ITS.
4. Kepada Dosen Penguji, Dr.Eng. Nanik Suciati, S.Kom, M.Kom, Dr. Darlis Heru Murti, S.Kom, M.Kom, Anny Yuniarti, S.Kom, M.Comp.Sc yang telah memberikan arahan dan masukkan kepada penulis.
5. Kepada para Dosen pengajar, terima kasih atas segala ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan S2 di ITS.
6. Teman-teman seperjuangan dan seangkatan (2013), Satrio, Dika, Eko, Yanuar, Stendy, Laili, Resti, Kurniawan, Eka dan teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuan, perhatian, dan dukungan yang telah diberikan.

7. Beasiswa BPDN dari Dikti yang telah memberikan beasiswa penuh kepada Penulis selama menjalani masa studi S2 selama 24 bulan.
8. Staf administrasi Program Pascasarjana Teknik Informatika, Bu Rini dan Bu Feni, atas pengertian dan kebijaksanaannya dalam proses pengurusan administrasi. Tidak lupa juga terima kasih kepada Pak Kunto atas bantuannya menjaga laboratorium Pasacasarjana, yang merupakan tempat bernaung Penulis selama melakukan penelitian.
9. Kepada teman-teman lain yang tidak bisa Penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih atas segala bantuan, baik berupa ide, gagasan, pemikiran, atau bahkan sekedar kesediaan mendengarkan keluh kesah Penulis.

Akhirnya, Penulis berharap, buku laporan tesis ini dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi khasanah pengembangan riset di bidang Komputasi Cerdas dan Visualisasi.

Surabaya, Juni 2016

Saiful Nur Budiman

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.4 Kontribusi	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Computer Vision System (CVS)	7
2.2 Restorasi Citra	7
2.3 Wiener Filter	10
2.4 Median Filter	11
2.5 Segmentasi	12
2.6 Fuzzy	13
2.7 Fuzzy Inference System Mamdani	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Studi Literatur	21
3.2 Perancangan Algoritma	22
3.3 Implementasi Algoritma	32
3.4 Rancangan Uji Coba	32
3.4.1 Data Uji Coba	32
3.4.2 Analisa dan Evaluasi	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pengumpulan Dataset.....	35
4.2 Pembentukan Groundtruth Mangga	36
4.3 Spesifikasi Sistem	37
4.4 Implementasi Preprocessing dan Ekstraksi Fitur	37
4.3.1 Proses Debluring	38
4.3.2 Proses Segmentasi dan Pengambilan ROI	38
4.3.3 Ekstraksi Fitur Ukuran Mangga	40
4.3.4 Ekstraksi Fitur Rasio Bercak.....	41
4.3.5 Ekstraksi Fitur Mean Red dan Mean Green.....	42
4.5 Implementasi Fuzzy Inference System	44
4.4.1 Pembentukan Membership function	44
4.4.2 Pembentukan Rule	51
4.6 Analisa Hasil Rotasi pada ROI Mangga	51
4.7 Analisa Hasil Uji Coba Grading Menggunakan FIS.....	52
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN 1	63
LAMPIRAN 2	67
BIODATA PENULIS	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Citra Derau	8
Gambar 2.2 Model Derau	9
Gambar 2.3 Restorasi Citra dengan Wiener Filter.....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi Median Filter	11
Gambar 2.5. Hasil Median Filter	12
Gambar 2.6 Thresholding	13
Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	14
Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Trapesium.....	15
Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Gaussian.....	15
Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Bell	16
Gambar 2.11 Komposisi Aturan Fuzzy Metode Max.....	18
Gambar 2.12 Proses Defuzzifikasi.....	19
Gambar 3.1 Langkah Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Desain Ilustrasi Mesin Grading Mangga	22
Gambar 3.3 Citra Motion blur	23
Gambar 3.4 Desain Algoritma yang Diusulkan.....	23
Gambar 3.5 Diagram Alir Preprocessing.....	24
Gambar 3.6 Hasil Preprocessing.....	25
Gambar 3.7 Diagram Alir Pembentukan Garis Centroid.....	26
Gambar 3.8 Garis Centroid.....	27
Gambar 3.9 Diagram Alir Untuk Mengukur Mangga	27
Gambar 3.10 Citra Biner Mangga.....	28
Gambar 3.11 Bercak pada Mangga.....	28
Gambar 3.12 Noda atau Pangkal Mangga	29
Gambar 3.13 Diagram Alir Menghitung Rasio Bercak	30
Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Tiap <i>Input Fuzzy</i>	31
Gambar 3.15 Sampel Data Mangga Apel	32
Gambar 4.1 Citra Mangga yang Mengalami Refleksi dan Bayangan	36

Gambar 4.2 Kontras antara Citra Mangga dengan Background Kurang Jelas	36
Gambar 4.3 Contoh Citra yang Digunakan Sebagai Dataset	36
Gambar 4.4 Groundtruth Mangga Apel	37
Gambar 4.5 Citra Mangga yang Mengalami Motion blur	38
Gambar 4.6 Citra Mangga setelah di Debluring.....	38
Gambar 4.7 Citra Biner Mangga Apel	39
Gambar 4.8 Citra ROI Mangga Apel	40
Gambar 4.9 Proses Perputaran ROI Mangga	40
Gambar 4.10 Citra ROI Mangga untuk Ekstraksi Fitur Ukuran	41
Gambar 4.11 ROI Mangga yang Tidak Sempurna.....	41
Gambar 4.12 Citra ROI Mangga untuk Ekstraksi Fitur Rasio Bercak	42
Gambar 4.13 Cropping pada Citra ROI Mangga	43
Gambar 4.14 Citra Cropping Sebelum dan Sesudah Dipertajam	43
Gambar 4.15 Citra Crop Mask dan Hasil Maskingnya	44
Gambar 4.16 Membership Function Mean Red	46
Gambar 4.17 Membership Function Mean Green.....	47
Gambar 4.18 Membership Function Ukuran Mangga.....	48
Gambar 4.19 Membership Function Rasio Bercak	49
Gambar 4.20 Membership Function Output.....	50
Gambar 4.21 Analisa ROI Citra Mangga Apel	52
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Hasil Akurasi.....	55
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Output Fuzzy	57

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Semesta Pembicara Grading Mangga Apel	45
Tabel 4.2 Data Training Grading Mangga Apel	45
Tabel 4.3 Rule Grading Mangga Apel.....	51
Tabel 4.4 Pengujian Grading Mangga Kondisi 1.....	52
Tabel 4.5 Pengujian Grading Mangga Kondisi 2.....	53
Tabel 4.6 Pengujian Grading Mangga Kondisi 3.....	54
Tabel 4.7 Pengujian Grading Mangga Kondisi 4.....	54

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Buah mangga (*Mangifera Indica*) merupakan salah satu buah musiman yang ada di Indonesia. Ketika musim panen tiba, mangga dipetik secara serentak dalam kurun waktu tertentu kemudian dilakukan *grading*. Dari hasil *grading* tersebut, mangga akan didistribusikan ke pasar atau supermarket berdasarkan kualitasnya. Proses *grading* merupakan proses penyeleksian berdasarkan parameter tertentu, misalkan ukurannya atau kualitasnya. Secara konvensional untuk melakukan *grading* dilakukan oleh para pekerja dengan cara melihat secara langsung tingkat perubahan warna yang terjadi pada kulit mangga, aroma, dan ukurannya. Tuntutan akan ketrampilan serta pengalaman merupakan kunci utama agar proses *grading* maksimal. Manusia memiliki tenaga yang terbatas sehingga tidak akan sanggup dalam sehari melakukan proses *grading* untuk mangga yang banyak sekali. Keterbatasan tenaga ini mengakibatkan mangga yang telah dipanen terpaksa harus disimpan di dalam gudang untuk sementara waktu sampai proses *grading* yang sebelumnya selesai. Apabila dalam kurun waktu tertentu mangga yang di dalam gudang tidak segera dibongkar muat untuk *grading* tentunya akan banyak yang membusuk. Jika hal ini berkelanjutan dibiarkan otomatis perusahaan pengelola *grading* mangga akan menjadi rugi.

Berdasarkan permasalahan dalam mendistribusikan buah secara maksimal pun mulai dipikirkan. Muncullah beberapa ide yang dikembangkan oleh para peneliti untuk meminimalisir tenaga manusia dan memanfaatkan tenaga komputer sebagai gantinya. Pemanfaatan teknologi sensor tidak hanya digunakan untuk robot namun bisa juga digunakan untuk mengetahui tingkat kematangan suatu buah. Seperti yang dilakukan oleh (Brezmes dkk., 2005) yang menggunakan *Electronic Nose* sebagai alat untuk memprediksi kematangan buah apel, pear, dan peach berdasarkan aroma atau bau yang ditangkap oleh sensor. *Principal Component Analysis* (PCA) digunakan untuk mengurangi dimensi *output* dari *multiple* sensor.

Indikator kualitas buah didasarkan pada karakteristik fisik dan kimia seperti wujudnya (bentuk, ukuran, warna, dan kecacatan), karakteristik *tactile* (kekerasannya), karakteristik internal (kadar gula, keasaman), atau produksi gas (*etilena*) (Christensen, 1983). CV-V20 merupakan sensor untuk menangkap sinyal R, G, B berdasarkan frekuensi sinyal yang dipantulkan dari LED. Dengan menggunakan sensor CV-V20 (Mansor dkk., 2014) dapat mengetahui kematangan buah mangga. Proses *grading* dilakukan dengan *Fuzzy Mamdani* dimana *input*-nya adalah nilai R, G, dan B. Kategori dari *output*-nya mentah, matang, terlalu matang. Akurasi dari penelitiannya menyatakan 87% dapat membedakan kematangan mangga. Pengembangan dibidang sensor pun terus dilakukan, seperti yang dilakukan oleh (Saeed dkk., 2012) yaitu mengklasifikasikan kelapa sawit. Dengan menggunakan empat sensor cahaya, yang mana refleksi dari kulit kelapa sawit ditangkap dan dihitung untuk dilakukan klasifikasi. Untuk perbandingan, diuji dengan penggunaan gelombang 570, 670, 750, 870 nm. Dari 120 kelapa sawit yang diuji menunjukkan tingkat akurasinya mencapai 85%.

Dengan bantuan sensor, kematangan buah dapat diklasifikasikan namun hanya sebatas pada parameter tertentu. Seperti *Elektonic Nose* yang terbatas pada parameter aroma, sensor CV-V20 dan sensor cahaya yang lainnya terbatas pada parameter warna. Tentunya hal ini kurang begitu signifikan untuk menentukan tingkat kematangan suatu buah. CVS (*Computer Vision System*) merupakan ilmu yang mempelajari pengolahan citra dan pengenalan pola dengan kombinasi kecerdasan buatan. Para peneliti menggunakan CVS untuk mengetahui kematangan buah, salah satunya yang dikembangkan oleh (Zheng dan Lu, 2012) menggunakan LS-SVM (*Least Square Support Vector Machine*) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah mangga berdasarkan *fractal analysis* dan parameter CIELab. Citra RGB dari mangga dikonversi keruang warna $L^*a^*b^*$ sebagai fitur. Fitur lain yang digunakan adalah hasil perhitungan dari FD (*Fractal Dimension*). Untuk menghitung FD digunakanlah metode BCD (*Box Counting Dimension*), CD (*Correlation Dimension*), dan DD (*Dilatation Dimension*). Berdasarkan penelitian tersebut tingkat akurasinya mencapai 85-88%. Di tahun yang sama (Savakar, 2012), melakukan identifikasi dan klasifikasi pada berbagai macam buah seperti apel, sawo, mangga, jeruk, dan lemon. Menggunakan 18 fitur warna dan 27 fitur tekstur.

Untuk pelatihan dan pengenalannya menggunakan BPNN (*Back Propagation Neural Network*). Dari hasil penelitiannya, akurasi nilai maksimumnya adalah 94% untuk klasifikasi buah sawo, sedangkan minimalnya 92% untuk buah mangga. Kombinasi fitur warna dan tekstur ternyata mampu meningkatkan hasil akurasinya dibandingkan hanya menggunakan fitur tekstur atau fitur warna saja. Untuk mempermudah *grading* mangga (Vyas dkk., 2014) membuat algoritma yang sederhana dengan basis *rules* dengan menggunakan tiga parameter yakni warna, ukuran dan bercak pada mangga. Berdasarkan ROI (*Region of Interest*) mangga tersebut dibentuklah Minor dan Mayor axis. Titik perpotongan antara Minor dan Mayor axis diperlebar 30% dan diperpanjang 80% membantuk *centroid* mangga. Citra mangga dari RGB diubah ke ruang warna $L^*a^*b^*$ yang mana nilai a^* pada bagian *centroid*-lah yang digunakan untuk *input* parameter warna. Banyak bercak pada mangga dihitung dengan cara mengetahui banyaknya bagian hitam atau coklat lalu dibandingkan dengan total piksel ROI mangga. Hasil akurasi dari penelitiannya mencapai 94.97%. Dari ketiga penelitian diatas yang menggunakan CVS terdapat kesamaan, yaitu dalam proses pengambilan citra mangga dilakukan secara statis. Kondisi statis yang dikatakan disini adalah buah hanya diletakan di nampan atau *box* lalu diambil citranya dari atas. Pada kenyataannya proses *grading* buah harus dilakukan seefektif mungkin dengan cara meletakkan buah di *conveyer belt*. Dengan meletakkan buah di atas *conveyer belt* citra yang diambil akan mengalami derau *motion blur*. Untuk itulah perlu dilakukan perbaikan pada bagian *preprocessing*-nya.

Di tahun 2014, (Nandi dkk., 2014a) membuat sebuah mesin yang mampu melakukan *sorting* buah mangga berdasarkan karakteristik warna citra mangga. Menggunakan 27 fitur warna untuk mengklasifikasn buah mangga menjadi 4 kategori yaitu mentah, setengah matang, matang, dan terlalu matang. Kondisi citra mangga mengalami derau *motion blur* dikarenakan mangga diletakkan di atas *conveyer belt*. Dilakukan *preprocessing* antara lain menggunakan Wiener *Filter* untuk proses *debulring*. Hasil *preprocessing* berikutnya disegmentasi untuk menghasilkan citra ROI mangga. Berdasarkan ROI tersebut, citra mangga dibagi menjadi 3 bagian yakni *apex* (pangkal), *equator* (tengah), dan *stalk* (ujung). Dari bagian-bagian tersebut dilakukan ekstraksi fitur seperti rata-rata R, G, B dan

gradientnya. Untuk proses pelatihan dan pengenalannya menggunakan *Support Vector Machine* (SVM). Dari hasil penelitiannya tingkat akurasi mencapai 96%. Pada penelitian berikutnya (Nandi dkk., 2014b) melakukan *grading* pada buah mangga dengan menambahkan parameter kualitas. Untuk menentukan tingkat kematangan mangga yang sebelumnya menggunakan SVM diganti dengan *Gaussian Mixture Model* (GMM). Tingkat kematangan dan kualitas menjadi *input* untuk menentukan *grade* dari buah mangga dengan menggunakan FIS (*Fuzzy Inferene System*) Mamdani.

Berdasarkan dari latar belakang penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka diusulkan strategi baru untuk mengukur kematangan buah mangga berdasarkan karakteristik warna, ukuran dan bercak dengan menggunakan FIS Mamdani dimana citra *inputan* mengalami derau *motion blur*. Karakteristik warna yang mewakili tingkat kematangan mangga diperoleh dengan cara menghitung mean R dan G sepanjang *centroid* citra mangga. Nilai B sengaja tidak digunakan karena sedikit sekali kontribusinya untuk mengetahui kematangan. Parameter ukuran diperoleh dengan menghitung jumlah piksel yang ada pada ROI. Sedangkan paramter bercark diperoleh dari banyak bercak dibandingkan dengan jumlah piksel pada ROI mangga. Mangga yang digunakan adalah jenis mangga apel yang bentuknya hampir bulat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana mengekstraksi fitur mangga apel berdasarkan warna, ukuran, dan banyaknya bercak.
2. Bagaimana melakukan *grading* terhadap mangga apel yang mengalami derau *motion blur*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini mengusulkan strategi baru pada *grading* mangga apel dengan menggunakan FIS Mamdani berdasarkan karakteristik warna, ukuran dan bercak.

Manfaat dari penelitian ini bisa diterapkan pada mesin *grading* yang sesungguhnya. Sehingga lebih memaksimalkan proses *grading* dengan meminimalkan parameter *input* namun signifikan untuk mengetahui hasil *grading* yang lebih baik.

1.4 Kontribusi

Kontribusi yang dilakukan pada penelitian ini adalah memodifikasi proses *grading* buah mangga apel menggunakan FIS Mamdani berdasarkan kombinasi fitur yang penting seperti warna, ukuran dan banyaknya bercak yang ada.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Sistem menggunakan MATLAB 2015a.
2. Citra berformat .jpg dengan ukuran 480x480 piksel.
3. Citra mangga yang digunakan adalah mangga apel diambil menggunakan kamera resolusi 12 mega piksel tanpa flash dan tidak terkena sinar matahari secara langsung.
4. Citra mangga yang digunakan dibagi menjadi empat kategori yaitu mentah, setengah matang, matang dan terlalu matang dengan berbagai posisi.
5. Terdapat 55 citra data mangga yang digunakan untuk membangun *membership* dan *rule fuzzy* dan 22 citra mangga untuk data uji.
6. Hasil *grading* mangga dikelompokkan menjadi 3 yakni jelek, biasa, super.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan pustaka memuat dasar teori penelitian yang meliputi *Computer Vision System (CVS)*, Restorasi citra, Wiener *filter*, Median *filter*, Segmentasi, Ekstraksi fitur, FIS (*fuzzy inference system*) Mamdani.

2.1 Computer Vision System (CVS)

CVS merupakan bidang ilmu yang mempelajari tentang pengolahan citra dan pengenalan pola dengan kombinasi kecerdasan buatan yang dapat menghasilkan alat untuk membantu kinerja manusia. Sebagai contoh, (Ohali, 2011) menggunakan CVS untuk melakukan *grading* pada buah kurma. Buah kurma ditaruh dalam suatu wadah kemudian diambil citranya. Dari citra kurma tadi, dilakukan ekstraksi fitur berdasarkan warna kulit kurma. Untuk klasifikasinya menggunakan *backpropagation*. Berdasarkan penelitiannya 80% buah kurma mampu di*grading* secara akurat. Jadi warna merupakan bagian penting dalam penentuan *grading* kurma, karena warna merupakan bagian mayoritas secara langsung dapat dikenali saat pertama kali melihat sebuah gambar. Penelitian tentang tingkat kematangan buah melalui CVS juga dilakukan oleh (Rupanagudi dkk., 2014) yaitu untuk *grading* buah tomat. Konsepnya dengan menggunakan *color grading* dimana warna RGB dari tomat dirubah ke $L^*a^*b^*$ kemudian nilai a^* yang mempresentasikan merah-hijau digunakan sebagai acuan untuk mengetahui tingkat kematangannya. Dari kedua penelitian dibidang CVS tersebut, disimpulkan bahwa untuk mengetahui tingkat kematangan buah salah satu fitur yang sering digunakan adalah dari tingkat perubahan warna pada kulit buah.

2.2 Restorasi Citra

Restorasi citra merupakan bagian penting dalam pengolahan citra untuk memperbaiki citra yang sebelumnya mengalami derau ke bentuk aslinya atau menyerupai citra aslinya. Restorasi citra berbeda dengan *enhancement*, dimana pada restorasi citra dianggap sebagai model citra terdistorsi yang telah diketahui

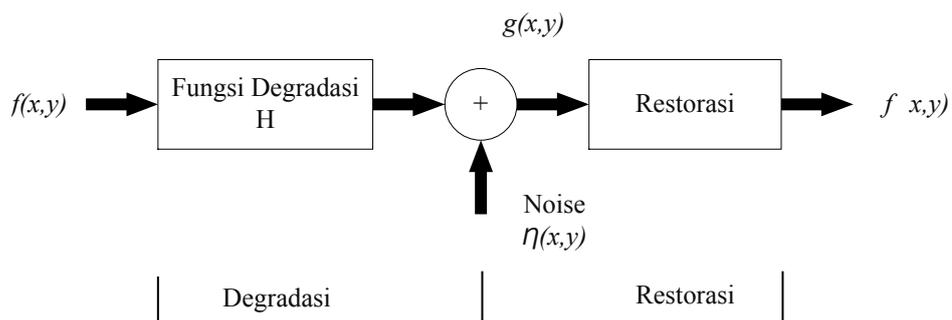
permasalahannya atau dapat diprediksi penyebab kesalahannya. Sedangkan *enhancement* merupakan perbaikan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas tampilan citra untuk pandangan manusia atau untuk mengkonversi suatu citra agar memiliki format yang lebih baik sehingga citra tersebut menjadi mudah diolah oleh komputer (Putra, 2010). Derau yang dialami pada citra meliputi *blur* atau derau. Teknik dari restorasi citra meliputi operasi *neighbourhood* dan juga penggunaan proses-proses pada domain frekuensi. Model dari citra yang terderau ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Gonzalez dan Woods, 2002).

Citra yang mengalami derau dinyatakan dalam bentuk :

$$g(x,y) = f(x,y) \otimes h(x,y) \quad (2.1)$$

$$g(x,y) = f(x,y) \otimes h(x,y) + \eta(x,y) \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) menyatakan bahwa citra derau $g(x,y)$ merupakan proses dari operasi spasial antara citra asli $f(x,y)$ dengan $h(x,y)$ yang merupakan PSF (*Point Spread Function*). Pada persamaan (2.2) derau terjadi jika ada tambahan derau $\eta(x,y)$. Dari persamaan tersebut, yang menjadi faktor citra mengalami degradasi adalah *blur* dan *noise*.



Gambar 2.1 Model Citra Derau

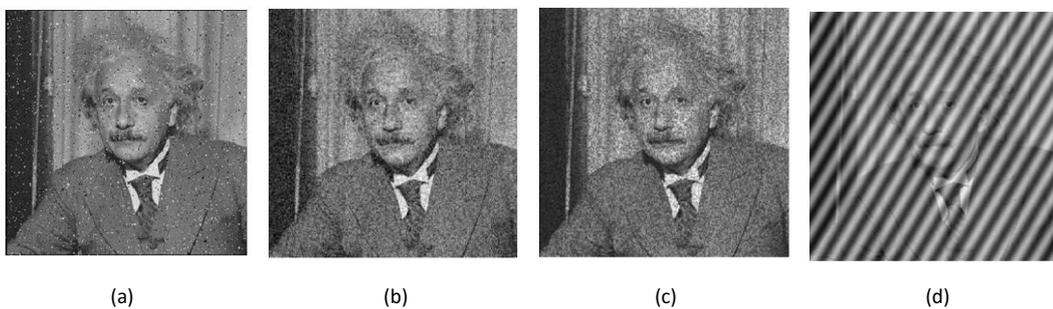
Noise atau derau merupakan bentuk sinyal pada citra yang disebabkan oleh gangguan eksternal. Jika citra ditransmisikan secara elektronik dari satu tempat ke tempat lain, maka dapat terjadi *error* pada sinyal citra yang diterima. Beberapa

contoh derau ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a) derau Salt and Paper, (b) derau Gaussian, (c) derau Speckle, dan (d) derau Periodis. Derau Salt and Paper atau derau impuls positif dan negatif dimana derau ini bisa disebabkan oleh gangguan yang tiba-tiba dan tajam pada proses perolehan isyarat citra. Bentuknya berupa bintik-bintik hitam dan putih di dalam citra. Derau jenis ini sering muncul pada citra yang diperoleh melalui kamera. Derau Gaussian adalah model derau yang memiliki fungsi kerapatan probabilitas PDF (*probability density function*) yang diberikan oleh kurva Gaussian. Derau Speckle adalah contoh derau yang bersifat multiplikatif. Penyebab utamanya adalah gangguan acak pada saat pengembalian citra. Derau Periodis biasa terjadi karena interferensi listrik maupun elektromekanis selama citra diakusisi dan bentuk deraunya sinusoidal. Sifat periodis dapat berbentuk stasioner yaitu memiliki amplitudo, frekuensi, dan fase berubah di sepanjang area citra.

Pada proses restorasi untuk memperoleh kembali citra seperti sebelum terderau maka perlu dilakukan *inverse filter*. Berdasarkan persamaan (2.1) dan (2.2) maka *invers filter* dinyatakan dengan bentuk transformasi Fourier pada persamaan (2.3) dan (2.4).

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} \quad (2.3)$$

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} - \frac{N(u, v)}{H(u, v)} \quad (2.4)$$



Gambar 2.2 Model Derau

2.3 Wiener Filter

Berdasarkan persamaan (2.4), untuk mendapatkan citra asli tidak hanya melibatkan permasalahan pembagian dengan *filter H* tetapi juga permasalahan untuk mengatasi derau. Kenyataannya, derau dapat membuat *invers filter* tidak berguna jika derau mendominasi keluaran. Untuk mengurangi sensitivitas derau pada *invers filter*, berbagai pendekatan untuk melakukan restorasi citra telah dilakukan. Secara umum, pendekatan tersebut dinamakan sebagai *filter least square*. Salah satu *filter* yang tergolong *filter least square* yaitu Wiener *filter*. Wiener *filter* merupakan metode untuk merestorasi citra berdasarkan *Mean SquareError* (MSE) yaitu dengan cara meminimumkan *error* restorasi antara citra restorasi dengan citra asli yang ditunjukkan pada persamaan (2.5). *Filter* ini efektif untuk karakteristik frekuensi citra dan derau aditif yang diketahui. Persamaan dari Wiener *filter* ditunjukkan pada persamaan (2.6). $S_{\eta(u,v)}$ derau *power spectrum*, sedangkan $S_f(u,v)$ adalah *power spectrum* dari citra yang belum terderau. Apabila derau nol, maka Wiener *filter* menjadi *invers filter* untuk *white* derau, *power spectrum* derau konstan yang ditunjukkan pada persamaan (2.7). Pada Gambar 2.3 ditunjukkan hasil dari Wiener *filter*. Dimana 2.3 (a) merupakan citra normal, (b) penambahan *blur* dan derau Gaussian, (c) restorasi Wiener dengan nilai $k = 0.01$, (d) restorasi Wiener dengan $k = 0.0001$. Semakin besar nilai k maka akan menghasilkan *artifacts* seperti derau (Jiang dkk., 2005).

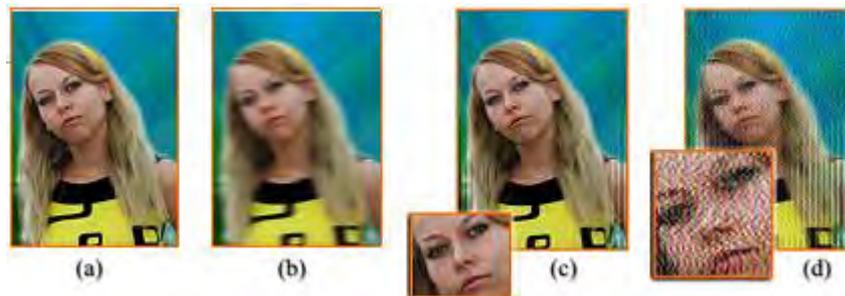
$$e^2 = E(f - \hat{f})^2 \quad (2.5)$$

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{1}{H(u, v)} \times \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \frac{S_{\eta(u,v)}}{S_f(u, v)}} \right] G(u, v) \quad (2.6)$$

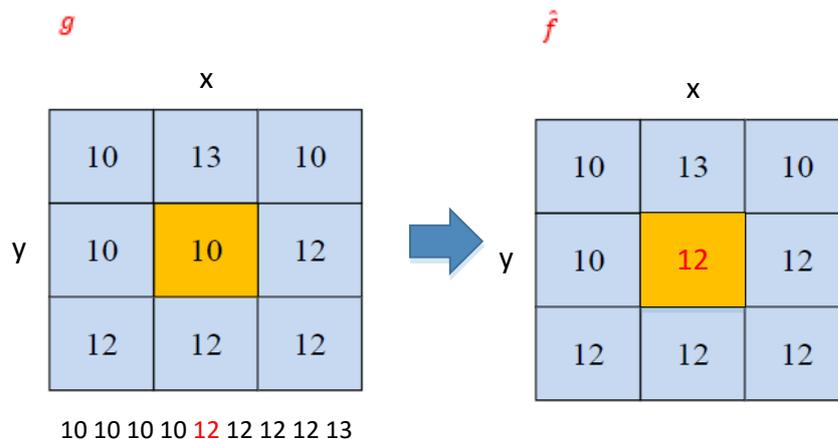
$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{1}{H(u, v)} \times \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + k} \right] \quad (2.7)$$

2.4 Median Filter

Salah satu *filter* non-linear yaitu Median *filter*, dimana akan dihitung nilai dari setiap piksel baru pada pusat koordinat *sliding windows* dengan nilai tengah (*median*) dari piksel di dalam *window*. Nilai tengah dari piksel di dalam *window* tergantung pada ukuran *sliding window*. Untuk ukuran *window* m baris dan n kolom maka banyaknya piksel dalam *window* adalah $(m \times n)$. Akan lebih baik ukuran *window* adalah bilangan ganjil karena piksel pada posisi tengahnya lebih pasti diperoleh, yaitu piksel pada posisi $(m \times n + 1)/2$. Sebagai contoh, perhitungan pada Median *filter* ditunjukkan pada Gambar 2.4. Semua piksel tetangga harus diurutkan sebelum menentukan piksel pada posisi tengah. Pada Gambar 2.5 (a) ditunjukkan citra berderau dan 2.5 (b) hasil dari *filtering* menggunakan Median *filter*.



Gambar 2.3 Restorasi Citra dengan Wiener Filter



Gambar 2.4 Ilustrasi Median Filter



(a)

(b)

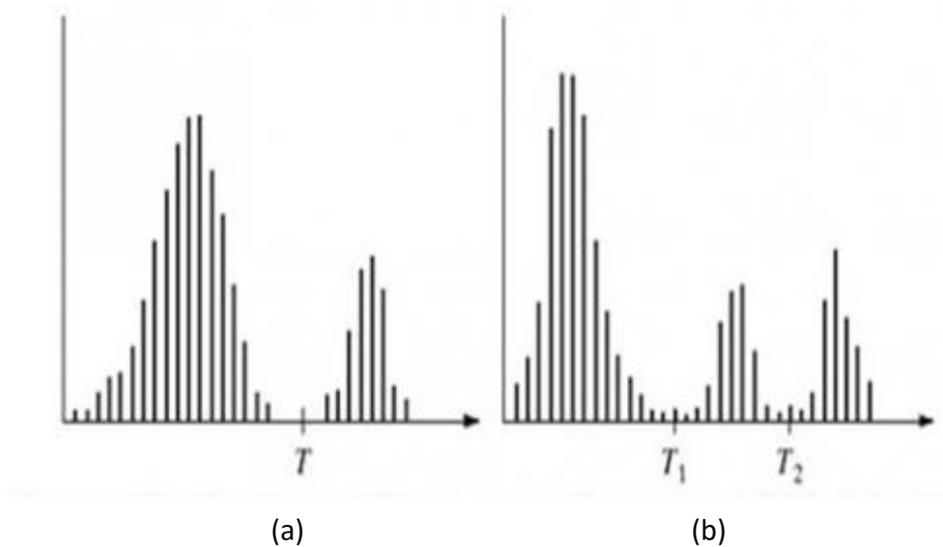
Gambar 2.5. Hasil Median Filter

2.5 Segmentasi

Segmentasi merupakan teknik untuk membagi suatu citra menjadi beberapa daerah (*region*) dimana setiap daerah memiliki kemiripan atribut. Thresholding merupakan proses pengambangan yang akan menghasilkan citra biner, yaitu citra yang memiliki dua nilai tingkat keabuan yaitu hitam dan putih. Secara umum proses dari thresholding untuk menghasilkan citra biner ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{jika } f(x,y) \geq T \\ 0 & \text{jika } f(x,y) < T \end{cases} \quad (2.8)$$

Dimana $g(x,y)$ merupakan citra biner dari citra grayscale $f(x,y)$ sedangkan nilai T menyatakan nilai ambang. Nilai T memegang peranan yang sangat penting dalam proses thresholding. Kualitas hasil citra biner sangat tergantung pada nilai T yang digunakan. Terdapat dua jenis *threshold* yaitu *global thresholding* dan *local adaptive thresholding*. Pada metode global, seluruh piksel diubah menjadi hitam atau putih dengan satu nilai ambang T . Kemungkinan pada *global threshold* akan banyak informasi yang hilang karena hanya menggunakan satu nilai T untuk seluruh piksel. Untuk mengatasi ini, digunakanlah metode *local adaptive*, dimana citra dibagi menjadi blok-blok kecil kemudian dilakukan *thresholding* pada tiap blok dengan nilai T yang berbeda-beda. Gambar 2.6 menunjukkan histogram untuk *threshold global* (a), *threshold adaptive* (b).



Gambar 2.6 Thresholding

Metode Otsu thresholding merupakan metode segmentasi dengan nilai ambang T secara otomatis berdasarkan citra masukan. Pendekatan yang digunakan oleh Otsu adalah dengan melakukan analisa diskriminan yaitu menentukan suatu variabel yang dapat membedakan antara dua atau lebih kelompok yang muncul secara alami. Analisa diskriminan akan memaksimumkan variabel tersebut agar dapat memisahkan obyek dengan latar belakang.

2.6 Fuzzy

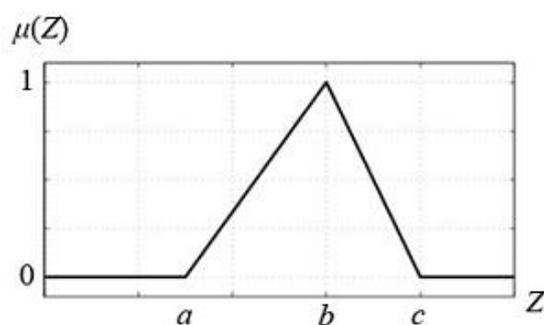
Logika *fuzzy* merupakan peningkatan dari logika boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Dimana logika boolean klasik hanya menghasilkan 0 atau 1, sedangkan pada *fuzzy* menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Awal mula *fuzzy* diperkenalkan oleh Zadeh dimana dalam teorinya obyek-obyek dari himpunan *fuzzy* yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* dan bukan dalam bentuk logika benar (*true*) atau salah (*false*). Secara umum, sistem *fuzzy* cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. (Sri, 2010).

Himpunan *Fuzzy* adalah sekumpulan obyek x dimana masing-masing obyek memiliki nilai keanggotaan (*membership function*) μ atau disebut dengan nilai

kebenaran. Fungsi Keanggotaan berupa suatu kurva yang menunjukkan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya atau derajat keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Fungsi keanggotaan antara lain segitiga, trapesium, gaussian, dan bell ditunjukkan pada Gambar 2.7 sampai 2.10.

Basis aturan merupakan sekumpulan aturan yang terdapat pada sistem *fuzzy*. Dengan kata lain, basis aturan *if-then fuzzy* digunakan untuk menangkap maksud yang tidak jelas dari pemikiran sesuai dengan kemampuan manusia yang mampu membuat keputusan di lingkungan yang tidak pasti dan tidak jelas. Sistem inferensi merupakan sistem pengambilan keputusan yang didasarkan pada teori *fuzzy*, aturan *fuzzy if-then* dan logika *fuzzy*.

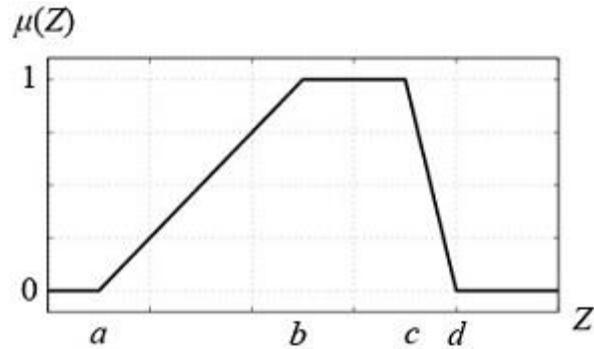
A. Fungsi Keanggotaan Segitiga



Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Segitiga

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & Z \leq a \text{ atau } Z \geq c \\ \frac{(Z - a)}{(b - a)} & a \leq Z \leq b \\ \frac{(b - Z)}{(c - b)} & b \leq Z \leq c \end{cases} \quad (2.9)$$

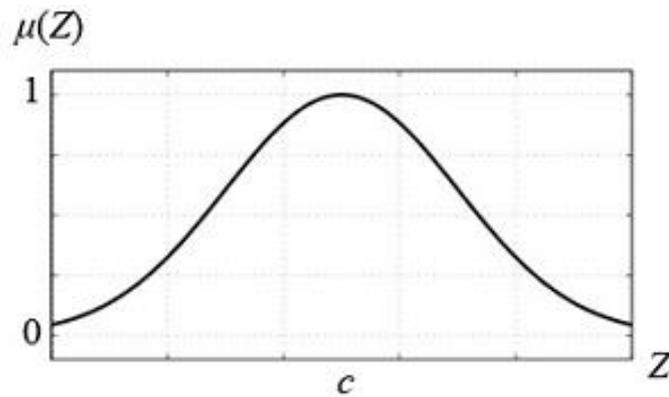
B. Fungsi Keanggotaan Trapesium



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Trapesium

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & Z \leq a \text{ atau } Z \geq d \\ \frac{(Z-a)}{(b-a)} & a \leq Z \leq b \\ 1 & b \leq Z \leq c \\ \frac{(b-Z)}{(c-b)} & c \leq Z \leq d \end{cases} \quad (2.10)$$

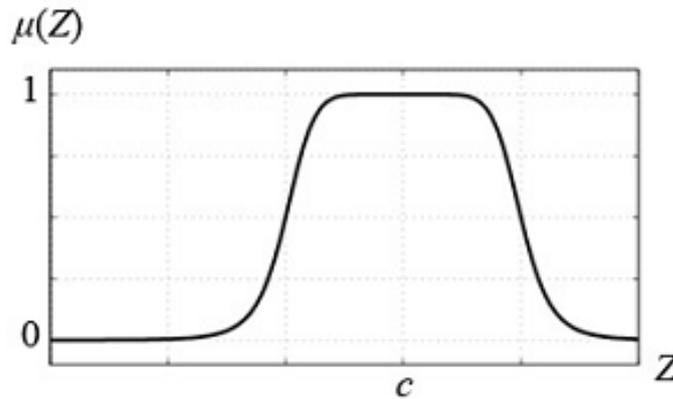
C. Fungsi Keanggotaan Gaussian



Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Gaussian

$$\mu(Z) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.11)$$

D. Fungsi Keanggotaan Bell



Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Bell

$$\mu(Z) = \frac{1}{1 + \left| \frac{Z - c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.12)$$

2.7 Fuzzy Inference System Mamdani

Metode Mamdani sering disebut juga dengan metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Proses untuk mendapatkan *output* melalui 4 tahapan yakni pembentukan himpunan *fuzzy*, implikasi, komposisi aturan dan *defuzzifikasi*.

A. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada metode Mamdani, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

B. Aplikasi Fungsi Implikasi (Aturan)

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.

C. Komposisi Aturan

Terdapat tiga metode yang digunakan untuk melakukan inferensi sistem *fuzzy* yaitu *Max*, *Additive*, dan Probabilistik OR.

1. Metode Max

Solusi himpunan *fuzzy* didapatkan dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan

mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (union). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat dituliskan pada persamaan 2.13. Proses inferensi dengan menggunakan metode Max dalam melakukan komposisi aturan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

$$\mu_{sf}[X_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[X_i], \mu_{kf}[X_i]) \quad (2.13)$$

Keterangan :

$\mu_{sf}[X_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}[X_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*

Misalkan saja terdapat 3 aturan sebagai berikut :

```
[R1] IF Biaya Produksi RENDAH And Permintaan NAIK
      THEN Produksi Barang BERTAMBAH;
[R2] IF Biaya Produksi STANDAR
      THEN Produksi Barang NORMAL;
[R3] IF Biaya Produksi TINGGI And Permintaan TURUN
      THEN Produksi Barang BERKURANG;
```

2. Additive Sum

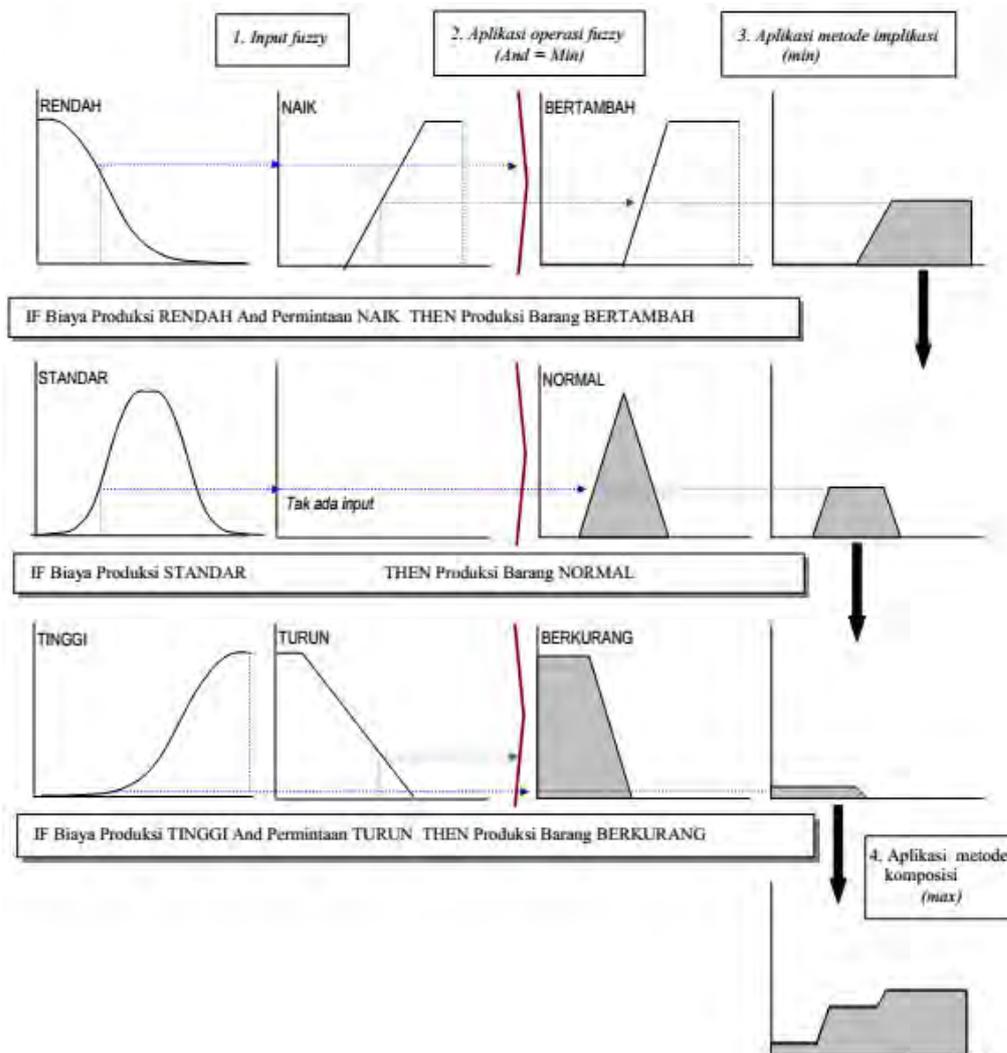
Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan pada persamaan 2.14.

$$\mu_{sf}[X_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[X_i] + \mu_{kf}[X_i]) \quad (2.14)$$

3. Probabilistik OR

Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua *output* daerah *fuzzy*, dituliskan persamaan 2.15.

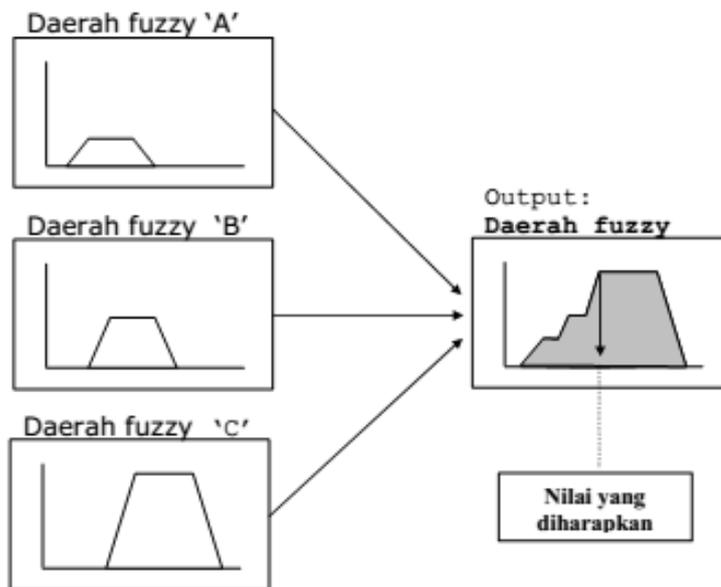
$$\mu_{sf}[X_i] \leftarrow (1, \mu_{sf}[X_i] + \mu_{kf}[X_i]) - (\mu_{sf}[X_i] * \mu_{kf}[X_i]) \quad (2.15)$$



Gambar 2.11 Komposisi Aturan Fuzzy Metode Max

D. Defuzzifikasi

Input proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Proses Defuzzifikasi

Beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan Mamdani, antara lain sebagai berikut :

1. Centroid

Solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*, secara umum ditunjukkan pada persamaan 2.16.

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z) dz}{\int_z \mu(z) dz} \tag{2.16}$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}$$

2. Bisektor

Solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*, ditunjukkan persamaan pada 2.17.

$$Z_p \text{ sedemikian hingga } \int_{\alpha}^p \mu(z) dz = \int_p^{\beta} \mu(z) dz \quad (2.17)$$

Keterangan :

$$\alpha = \min\{z \mid z \in Z\}$$

$$\beta = \max\{z \mid z \in Z\}$$

3. *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4. *Largest of Maximum* (LOM)

Solusi craps diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

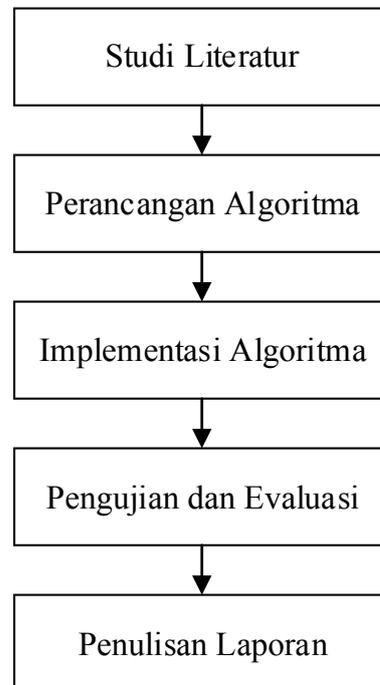
5. *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi craps diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan untuk penelitian ini dilakukan secara beratahap yaitu (1) studi literatur, (2) perancangan algoritma, (3) implementasi algoritma, (4) pengujian dan evaluasi, (5) penulisan laporan. Alur dari tahapan-tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Langkah Penelitian

3.1 Studi Literatur

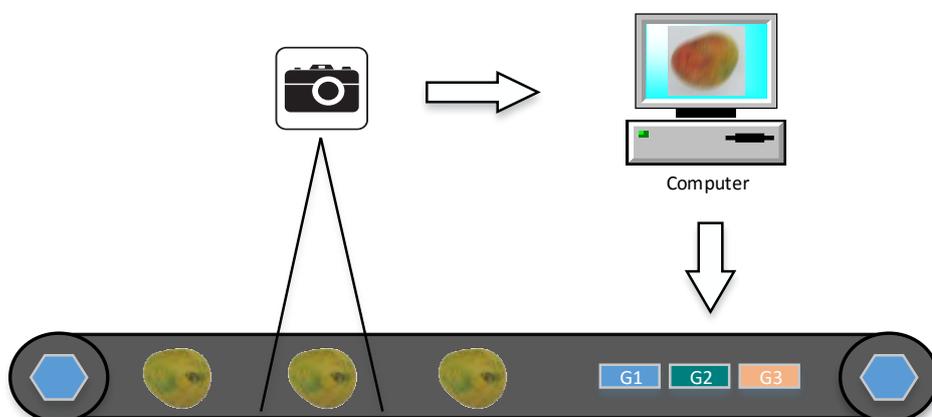
Pada penelitian ini digunakan beberapa referensi sebagai bahan informasi untuk mendukung metode yang telah diusulkan. Informasi tersebut diperoleh dari jurnal penelitian, buku, serta artikel ilmiah. Referensi yang dipelajari untuk mendukung penelitian ini mengenai sistem *grading* buah khususnya mangga. Beberapa konsep yang dipelajari seperti berikut :

1. Tahap *preprocessing*, memahami bagian *debluring* untuk *motion blur*, segmentasi obyek, penghilangan derau dengan Median *filter* sampai mendapatkan ROI mangga apel.
2. Memahami hal apa saja yang bisa digunakan sebagai fitur dalam grading mangga apel.
3. Memahami proses FIS Mamdani untuk mengetahui *grade* mangga apel.

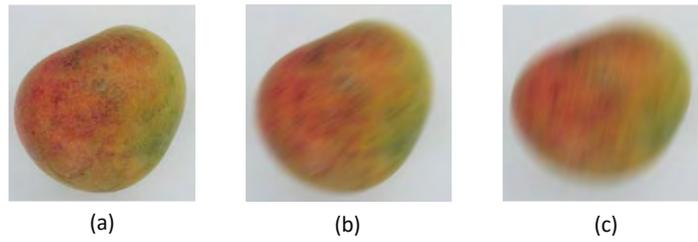
3.2 Perancangan Algoritma

Rancangan desain sistem yang ingin diterapkan ditunjukkan pada Gambar 3.2. Dimana mangga diletakan pada *conveyer belt* dengan kecepatan tertentu. Kamera akan mengambil gambar mangga kemudian melakukan proses perhitungan untuk melakukan *grading* mangga berdasarkan tingkat warna, ukuran, dan bercak. Setelah perhitungan selesai maka mangga masuk ke lubang penampungan sesuai dengan hasil *grading* yakni jelek, biasa, super.

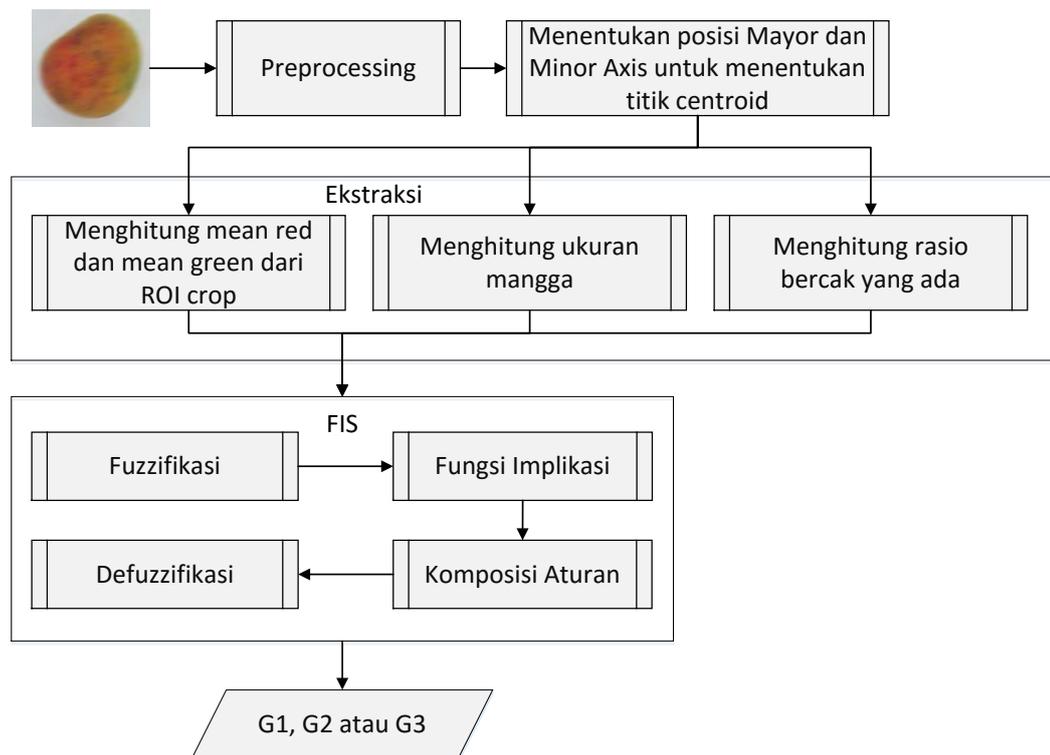
Adanya keterbatasan dalam membuat mesin *grading*, maka pada penelitian ini hanya membahas proses *grading*-nya bukan cara membuat mesinnya. Sejatinya citra *input* mangga mengalami derau *motion blur* akibat gerakan *conveyer belt*. Pada penelitian ini citra mangga di-*capture* dalam keadaan normal dimana tidak terjadi kontak pencahayaan langsung dari matahari. Hasil dari citra mangga tersebut kemudian diberi derau *motion blur* seolah seperti yang terjadi ketika citra mangga tersebut diambil melalui *conveyer belt* yang bergerak.



Gambar 3.2 Desain Ilustrasi Mesin Grading Mangga



Gambar 3.3 Citra Motion blur

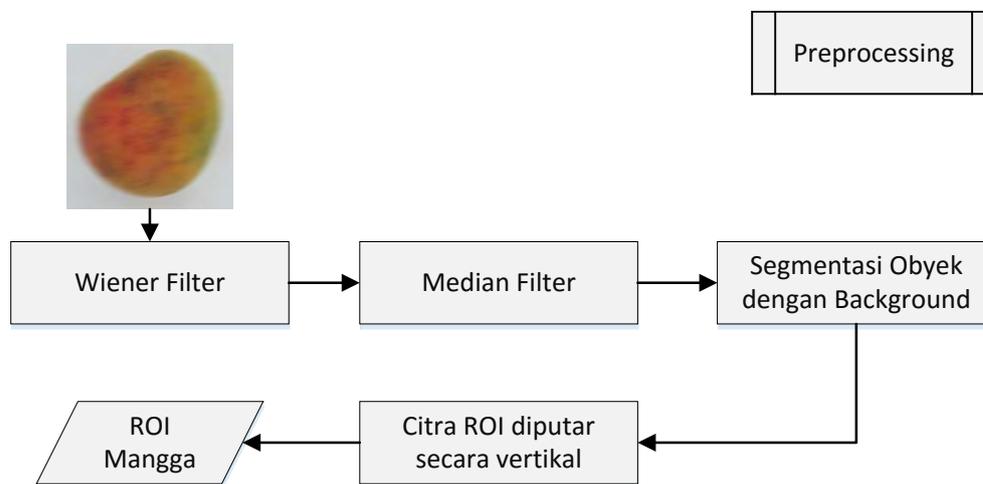


Gambar 3.4 Desain Algoritma yang Diusulkan

Contoh dari citra yang mengalami *motion blur* ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a) normal/diam, (b) $len=20$, $theta=40$, (c) $len=40$, $theta=80$. Secara keseluruhan proses dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4. Citra mangga yang mengalami *motion blur* masuk tahap *preprocessing*. Hasil dari *preprocessing* akan menghasilkan ROI mangga, berikutnya dicari minor dan mayor axis. Titik potong mayor dan minor axis atau centroid diperlebar 30% dan diperpanjang 80% kemudian di *cropping*. Dicari *mean red* dan *mean green* pada bagian ROI crop tersebut. Ukuran mangga dihitung dengan cara menjumlahkan piksel yang ada pada

ROI. Jika sudah diketahui bercak aslinya, hitung dengan cara membandingkan jumlah bercak dibandingkan dengan jumlah piksel pada ROI.

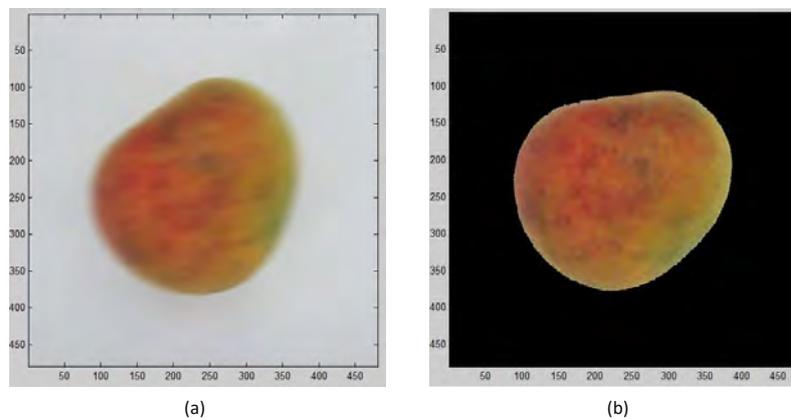
Proses *grading* mangga ini salah satu parameternya menggunakan perubahan warna yang ada pada kulit mangga. Tentu saja tidak semua mangga yang matang bisa dilihat dari kulitnya, oleh karena itu digunakanlah sampel mangga apel. Kematangan mangga ini bisa dilihat dari segi perubahan warna dari pangkal ke ujung. Mangga apel rasanya manis dan bentuknya hampir mirip dengan apel, jadi tidak begitu lonjong. Untuk tahapan dari *preprocessing* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Preprocessing

Dilakukan proses *debluring* menggunakan Wiener *filter* pada citra mangga karena mengalami *motion blur*. Parameter PSF (*Point Spread Function*) pada Wiener *filter* diperoleh dari parameter *motion blur* yang sebelumnya ditambahkan pada citra mangga di awal. Hasil dari Wiener *filter* ini masih terdapat derau, sehingga diperlukan metode penghilang derau. Untuk menghilangkan derau tersebut diusulkan menggunakan Median *filter*. Pada penelitian sebelumnya (Nandi dkk., 2014a) menggunakan Psudeomedian *filter* untuk menghilangkan derau. Derau mampu dihilangkan tetapi citra mangga menjadi sedikit agak pucat atau kekuningan. Langkah berikutnya, citra mangga dirubah ke *grayscale* lalu dilakukan segmentasi untuk memisahkan obyek dengan *background* menggunakan Otsu

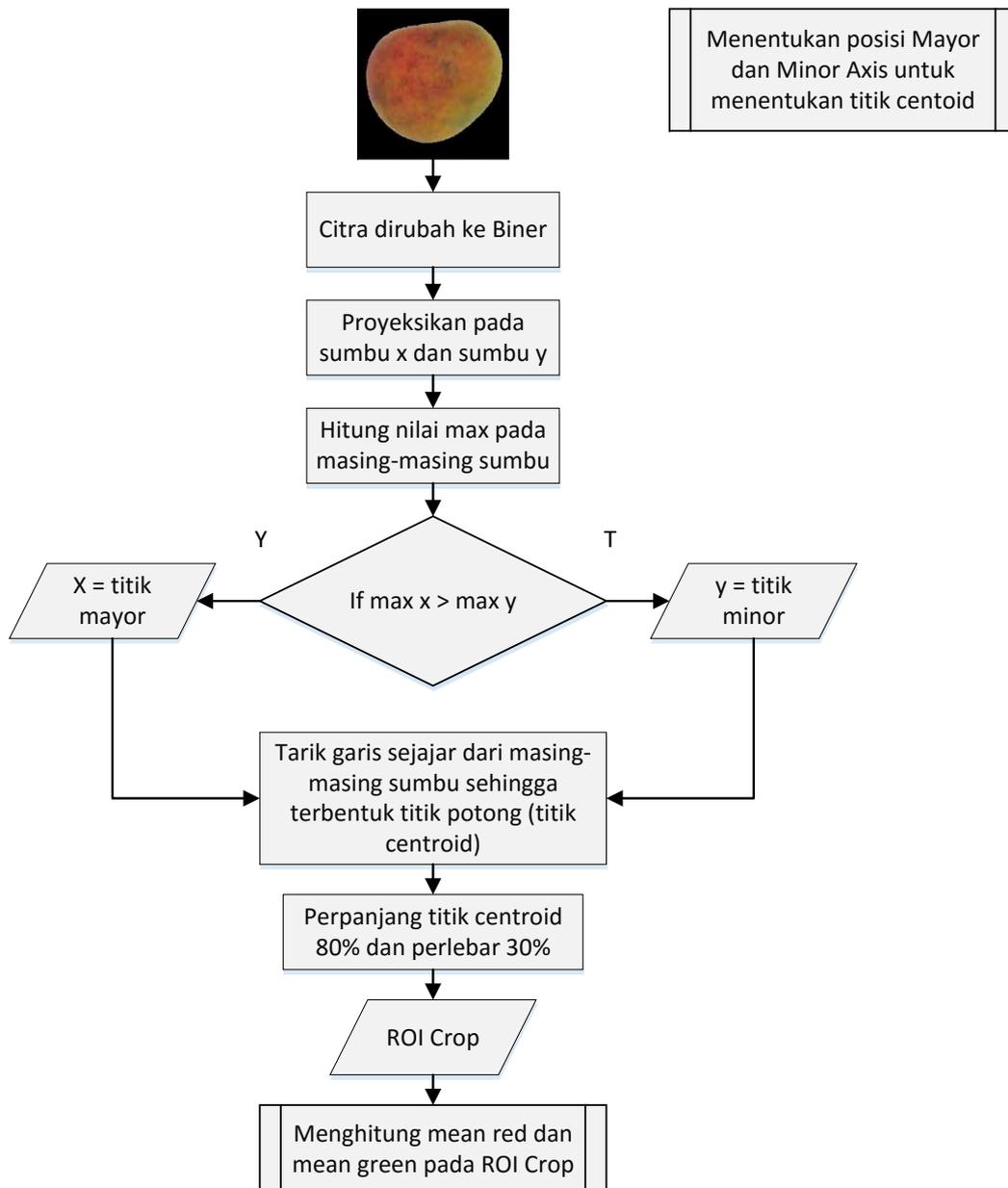
thresholding. Dalam kondisi yang nyata, tentunya mangga tidak selalu diletakkan dalam posisi yang selalu benar. Bisa saja mangga diletakkan miring atau terbalik, sebab itu dilakukan proses rotasi pada citra ROI secara vertikal dimana bagian pangkal mangga harus berada di atas. Secara alami warna kematangan mangga dimulai dari pangkal sampai ke ujung. Inilah yang menjadi alasan mengapa harus diputar dan dilakukan proyeksi untuk menghitung mean R dan G secara benar. Pada Gambar 3.6 (a) merupakan citra *input*, sedangkan 3.6 (b) merupakan ROI dari hasil *preprocessing*.



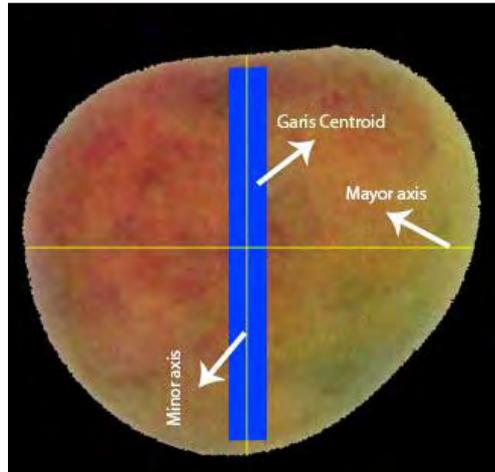
Gambar 3.6 Hasil Preprocessing

Tahap berikutnya adalah menghitung *mean red* dan *mean green* pada bagian ROI *crop*. Sebelum melakukan *cropping* ROI terlebih dahulu harus mengetahui titik centroid. Dimana centroid merupakan titik tengah atau titik potong antara minor dan mayor axis. Proses *cropping* pada ROI detail lengkapnya ditunjukkan pada Gambar 3.7. Minor axis merupakan garis yang lebih pendek dibandingkan dari mayor axis. Untuk membentuk mayor axis dan minor axis, ROI mangga dirubah ke biner lalu diproyeksikan terhadap sumbu x dan sumbu y . Hitung nilai maksimal pada sumbu x dan sumbu y . Jika sumbu nilai max sumbu x lebih besar max sumbu y maka x merupakan mayor, begitu juga sebaliknya. Berikutnya tarik garis secara sejajar dari nilai max x dan max y sehingga terbentuk titik potong yang dinamakan titik potong centroid. Titik centroid ini kemudian diperlebar 30% dan diperpanjang 80% sehingga membentuk suatu garis ditunjukkan pada Gambar

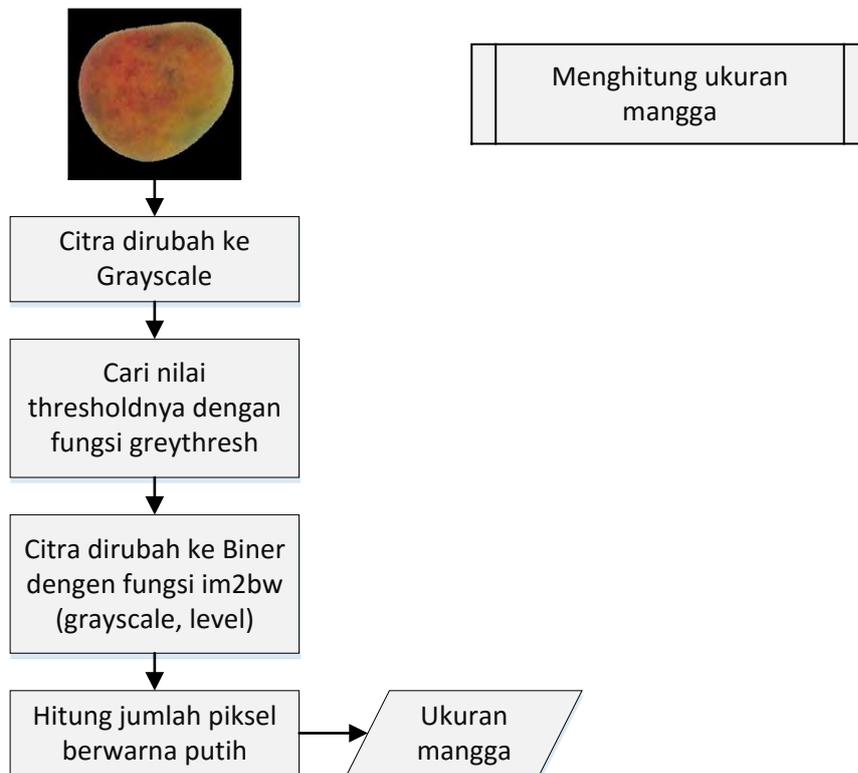
3.8. Setelah garis centroid terbentuk, dilakukan proses *cropping*. Dari ROI *crop* inilah nilai *mean red* dan *mean green* bisa dihitung.



Gambar 3.7 Diagram Alir Pembentukan Garis Centroid



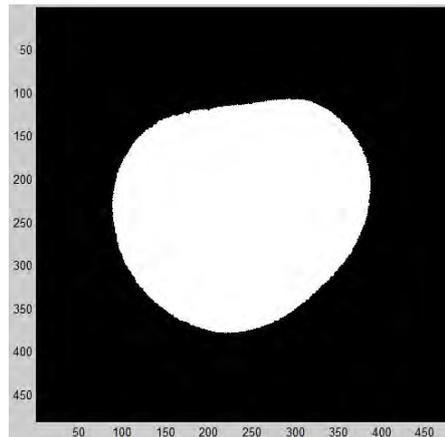
Gambar 3.8 Garis Centroid



Gambar 3.9 Diagram Alir Untuk Mengukur Mangga

Parameter *input* kedua adalah ukuran dari ROI mangga yaitu dengan cara mengubah ROI mangga ke citra biner. Diagram alir dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 3.9. Langkah awal adalah citra dirubah ke *grayscale*. Berdasarkan *grayscale* tersebut dicari levelnya menggunakan fungsi *greythresh* pada MATLAB

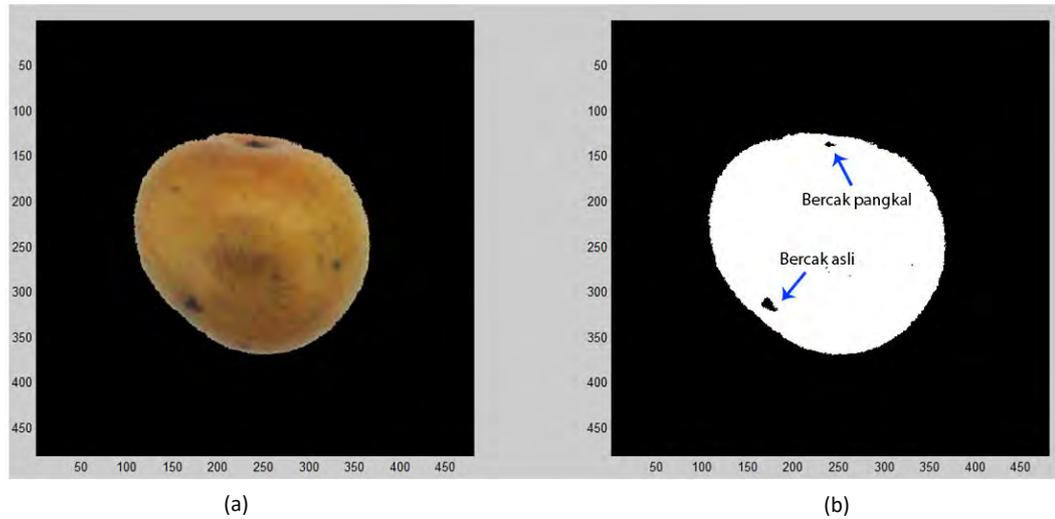
yang sejatinya adalah Otsu Thresholding. Nilai level dan citra *greyscale* akan menjadi paramter untuk fungsi `im2bw` di MATLAB yang mana mengubah citra menjadi citra biner. Hasil dari citra biner adalah obyek berupa putih dan *background* berupa hitam. Dengan menghitung jumlah piksel putih maka akan diperoleh ukuran dari mangga. Citra biner Mangga ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Citra Biner Mangga



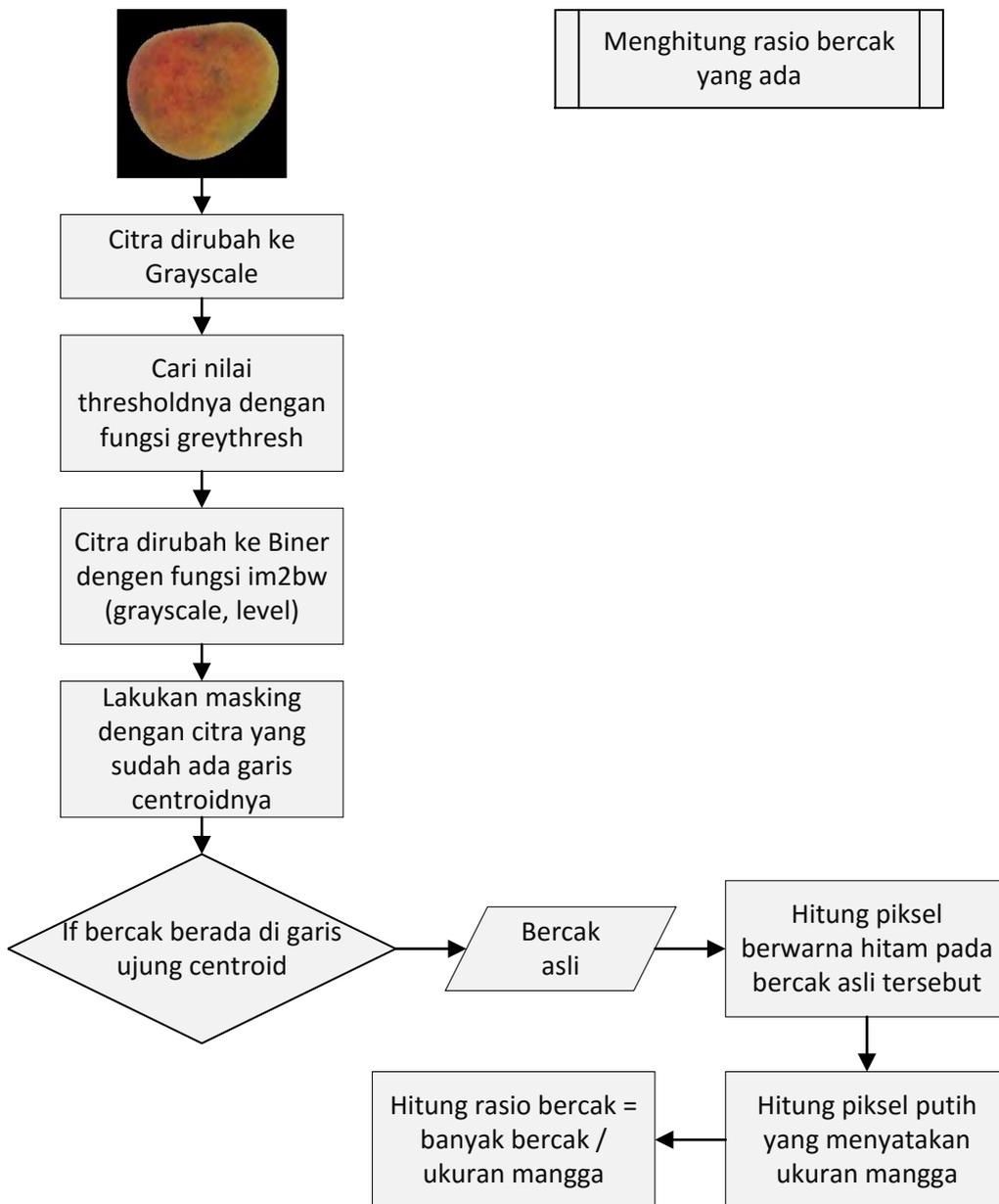
Gambar 3.11 Bercak pada Mangga



Gambar 3.12 Noda atau Pangkal Mangga

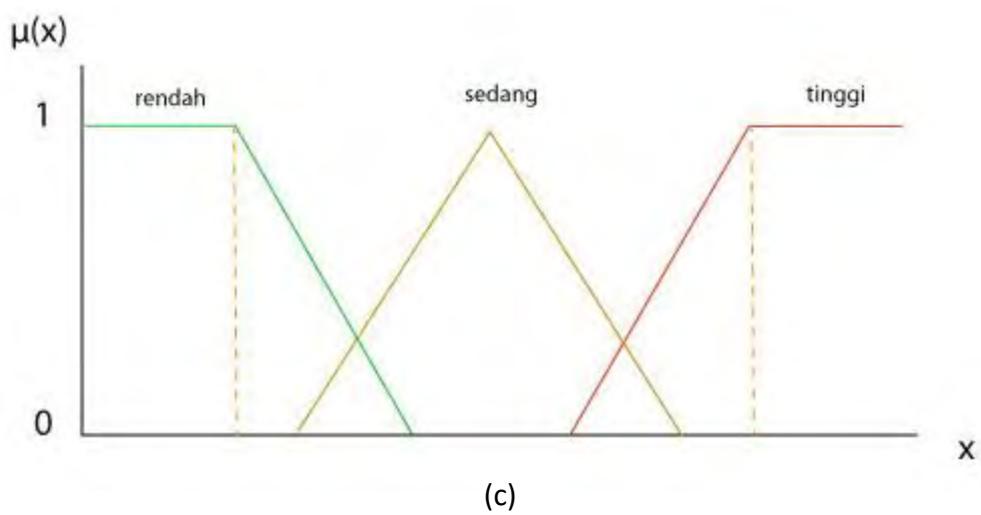
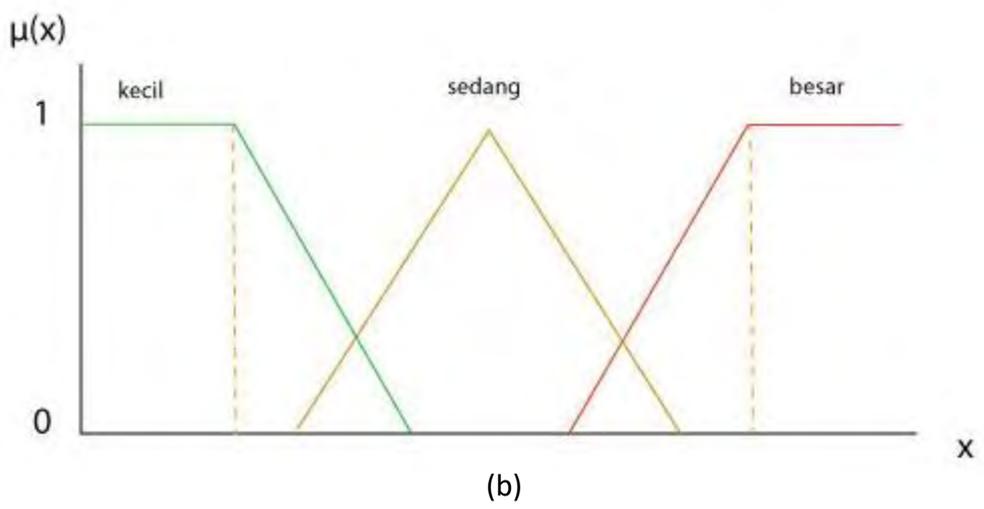
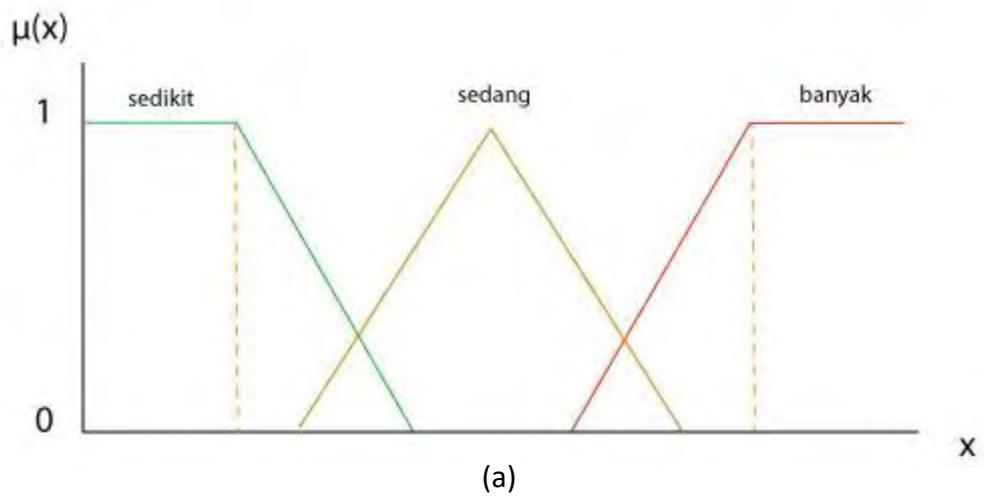
Spot atau bercak di mangga jika ada noda hitam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Untuk mencari rasio dari bercak ditunjukkan pada persamaan 3.1. Namun akan menjadi masalah jika bercak tersebut merupakan pangkal ataukah bercak asli mangga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 (a) ROI mangga, 3.12 (b) bagian yang menunjukkan bercak. Dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 maka bercak dapat dibedakan. Citra mangga dirubah ke *grayscale* lalu dicari levelnya menggunakan Otsu dan dirubah ke citra biner. Dari citra biner ini akan tampak warna hitam yang menandakan bercak, sebagai contoh ditunjukkan pada Gambar 3.12 (b). Untuk membedakan bercak asli dengan bercak pangkal adalah dengan melakukan masking citra biner ini dengan citra yang sudah ada garis centroid-nya. Jika bercak berada pada ujung atas dari garis centroid maka bercak tersebut dianggap sebagai bercak pangkal mangga, sehingga tidak dihitung sebagai bercak sedangkan yang lainnya dianggap sebagai bercak.

$$\text{Rasio bercak} = \frac{\text{jumlah bercak}}{\text{Jumlah piksel di ROI}} \quad (3.1)$$



Gambar 3.13 Diagram Alir Menghitung Rasio Bercak

Berdasarkan *mean red*, *mean green*, ukuran dan rasio bercak maka proses *grading* bisa dilakukan dengan menggunakan FIS Mamdani. Untuk himpunan *fuzzy mean red* atau *mean green* menggunakan bentuk ditunjukkan pada Gambar 3.14 (a). Untuk himpunan *fuzzy* ukuran dan rasio bercak ditunjukkan pada gambar 3.14 (b). Sedangkan himpunan *outputnya* ditunjukkan pada Gambar 3.14 (c).



Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Tiap *Input Fuzzy*

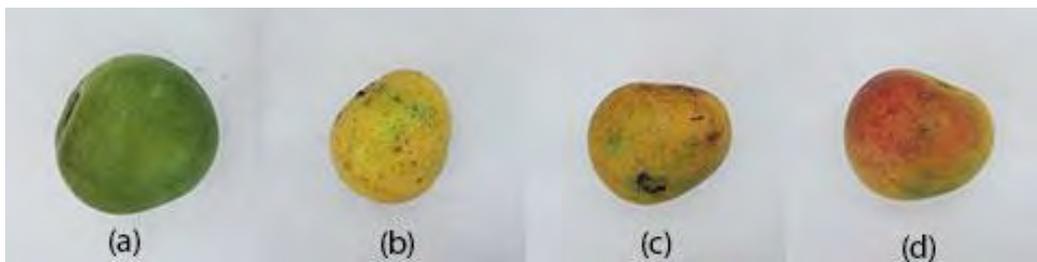
3.3 Implementasi Algoritma

Pada tahapan ini merupakan penerapan dari strategi yang diusulkan pada bagian sebelumnya. Menggunakan bantuan aplikasi MATLAB 2015a untuk mempermudah pengerjaan. Pemilihan aplikasi MATLAB 2015a dikarenakan memiliki operasi pengolahan citra yang dapat mendukung penelitian ini secara mudah dan cepat.

3.4 Rancangan Uji Coba

1.4.1 Data Uji Coba

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data mangga apel yang diambil di daerah Sedati, Sidoarjo Jawa Timur. Terdapat 55 sebagai data training dan 22 citra mangga sebagai data uji. Citra mangga diambil dengan menggunakan kamera 12 mega piksel pada dan meminimalisirkan cahaya matahari secara langsung. Citra tersebut diambil dengan berbagai sudut dan arah. Citra mangga dikelompokkan menjadi 4 macam yakni mentah, setengah matang, matang dan terlalu matang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15 (a) mentah, (b) setengah matang, (c) matang, (d) terlalu matang.



Gambar 3.15 Sampel Data Mangga Apel

1.4.2 Analisa dan Evaluasi

Tahapan analisa dan evaluasi merupakan tahapan dimana untuk mengetahui hasil dari implementasi algoritma yang telah diusulkan sebelumnya. Seperti yang dijelaskan pada subbab 1.3, tujuan dari penelitian ini adalah mengusulkan strategi baru pada *grading* buah mangga berdasarkan simulasi pergerakan *conveyer belt* dengan menggunakan FIS Mamdani berdasarkan fitur

karakteristik warna, ukuran dan bercak. Oleh karena itu dilakukan analisa dengan 4 skenario pengujian dimana dengan tingkat *motion blur* yang berbeda. Perubahan nilai *len* dan *theta* dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat *grading* yang dihasilkan dari sistem ini. Langkah akhir adalah tahap evaluasi, dimana pada tahap ini dihitung akurasi dari metode yang diusulkan terhadap keempat kondisi mangga apel tersebut. Pada persamaan 3.2 ditunjukkan proses perhitungan akurasi. Selain itu juga dilakukan analisa mengenai hal apa saja yang mempengaruhi hasil akurasinya dan perbandingan metode dengan decision tree.

$$Akurasi (\%) = \frac{\textit{klasifikasi yang benar}}{\textit{jumlah data uji}} \times 100 \quad (3.2)$$

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan pengumpulan dataset, kebutuhan sistem, pengujian dan analisa hasil penelitian berdasarkan metodologi yang telah dibangun.

4.1 Pengumpulan Dataset

Untuk dataset ini diambil secara langsung di kebun mangga yang ada daerah Sedati, Sidoarjo. Sebelum proses pengambilan citra, mangga apel yang sudah dipetik dikelompokkan terdahulu berdasarkan tingkat kematangannya. Terdapat empat tingkat kematangan yang berbeda yakni mentah, setengah matang, matang dan terlalu matang. Dari hasil pengambilan citra, dihasilkan 122 citra mangga apel, namun tidak semuanya dipakai untuk dataset. Ada beberapa citra yang kurang bagus untuk dijadikan dataset karena beberapa hal, seperti munculnya bayangan dibelakang mangga dan munculnya refleksi cahaya di permukaan mangga, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Refleksi cahaya tersebut muncul karena permukaan kulit dari mangga yang mengkilap. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengambilan citra dilakukan di pagi hari di luar ruangan namun tidak terkena sinar matahari secara langsung. Sebagai *background* dari citra mangga digunakanlah kertas berwarna putih agar seragam dan nantinya dapat mempermudah proses pengambilan ROI. Beberapa hasil dari pengambilan citra tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.2. Terlihat pada Gambar 4.2 warna antara citra mangga dengan *background* hampir sama kontrasnya, untuk itu dilakukan penambahan kecerahan. Hasil dari penambahan kecerahan ini ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil akhir terdapat 108 buah citra mangga, tetapi karena ada beberapa kriteria kurang sesuai dengan penyusunan penelitian ini, maka hanya digunakan 55 citra saja sebagai dataset dan 22 citra sebagai data uji. Kriteria yang kurang sesuai tersebut contohnya mangga apel yang dikategorikan pada tingkat kematangan yang terlalu matang, namun memiliki ukuran yang kecil. Hal tersebut bisa menjadi penciran pada hasil ekstraksi fiturnya.



Gambar 4.1 Citra Mangga yang Mengalami Refleksi dan Bayangan



Gambar 4.2 Kontras antara Citra Mangga dengan Background Kurang Jelas



Gambar 4.3 Contoh Citra yang Digunakan Sebagai Dataset

4.2 Pembentukan Groundtruth Mangga

Groundtruth dari mangga dilakukan dengan cara menglompokkan mangga berdasarkan jenis kematangan, ukuran serta bercaknya secara manual. Misalkan saja buah mangga tersebut memiliki tingkat kematangan mentah atau dapat dikatakan nilai *mean red* lebih sedikit dibandingkan *mean green*, ukurannya besar dan rasio bercaknya sedikit maka akan dikelompokkan menjadi mangga dengan *grade* yang jelek dapat dilihat pada Gambar 4.4 (a). Untuk *grade* biasa bisa dilihat dari mangga yang memiliki tingkat kematangan setengah matang atau matang, ukurannya sedang, rasio bercaknya sedang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (b). Apabila mangga tersebut terlalu matang dimana nilai *mean red* lebih

dominan dibanding *mean green*, ukurannya besar dan rasio bercaknya sedikit maka masuk dalam kategori *grade* super seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (c).



Gambar 4.4 Groundtruth Mangga Apel

4.3 Spesifikasi Sistem

Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer sebagai simulator dan kamera digital untuk pengambilan citra mangga apel. Untuk mensimulasikan penelitian ini, komputer yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. CPU : 2.5 GHz Intel Core i5
2. RAM : 8Gb 1600MHz DDR3
3. VGA : Nvidia GeForce : 2Gb
4. Sistem Operasi : Windows 10 64bit

Sedangkan untuk aplikasi penunjang dalam mensimulasikan penelitian ini adalah toolbox MATLAB R2015a.

4.4 Implementasi Preprocessing dan Ekstraksi Fitur

Sesuai dengan perancangan sistem, maka citra *input* dibagi menjadi empat macam kondisi, yakni :

1. Citra kondisi 1 dengan keadaan diam.
2. Citra kondisi 2 *motion blur* dengan nilai $len = 10$, $theta = 20$.
3. Citra kondisi 3 *motion blur* dengan nilai $len = 20$, $theta = 40$.
4. Citra kondisi 4 *motion blur* dengan nilai $len = 40$, $theta = 80$.

Kondisi *motion blur* ditambahkan dengan bantuan MATLAB. Penambahan *motion blur* untuk mensimulasikan kondisi sebenarnya dari mangga jika diletakkan di *conveyer belt*. Nilai *len* menyatakan kecepatan dari *blur*, sedangkan nilai *theta* merupakan sudut derajat *blur*-nya.

2.3.1 Proses Debluring

Pada proses *debluring* ini hanya diberlakukan pada citra yang mengalami derau *motion blur* saja, sedangkan untuk citra dengan kondisi diam tidak mengalami proses *debluring*. Derau berupa *motion blur* ini bisa di *debluring* dengan metode Wiener Filter. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 4.4 dimana citra tersebut mengalami *motion blur* dengan nilai *len* = 20 dan *theta* = 40. Dari gambar 4.5 tersebut dilakukan *debluring* dengan Wiener Filter agar citra menjadi mirip seperti keadaan pada aslinya. Untuk hasil dari proses *debluring* ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Citra Mangga yang Mengalami Motion blur



Gambar 4.6 Citra Mangga setelah di Debluring

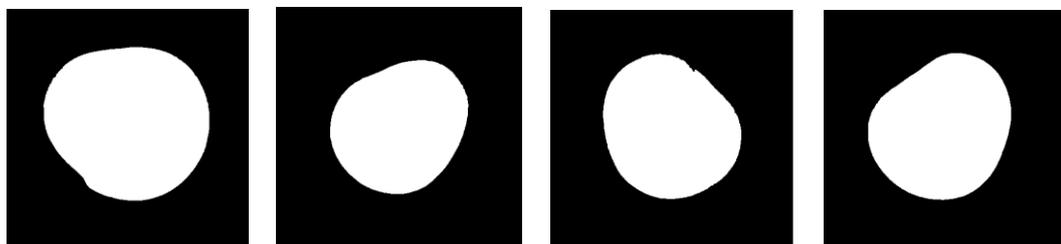
2.3.2 Proses Segmentasi dan Pengambilan ROI

Setelah citra mengalami proses *debluring*, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan segmentasi untuk mendapatkan ROI. Langkah awal mengubah

citra menjadi biner seperti yang ditunjukkan hasilnya pada Gambar 4.7. Citra biner yang dihasilkan dikalikan secara skalar dengan citra hasil *debluring* untuk mendapatkan ROI mangga. Hasil dari ROI mangga bisa dilihat pada Gambar 4.8.

Citra ROI, selanjutnya harus dirotasi sedemikian rupa supaya jelas mana bagian ujung dan bagian pangkal dari mangga apel ini. Berbeda dengan kebanyakan mangga lainnya yang biasanya berbentuk lonjong jadi lebih mudah dilakukan rotasi. Untuk mangga apel bentuk fisiknya hampir bulat seperti apel. Citra mangga harus diputar secara benar, sehingga bagian pangkalnya ada di atas dan ujungnya ada dibawah. Bagian ini harus diputar secara benar karena nantinya digunakan untuk proses ekstraksi fitur. Secara alamiah kebanyakan perubahan warna pada buah diawali dari pangkal sampai ke ujung. Pada buah mangga apel, warna dibagian pangkal akan memerah sedangkan ujungnya menguning hal ini menunjukkan mangga tersebut matang.

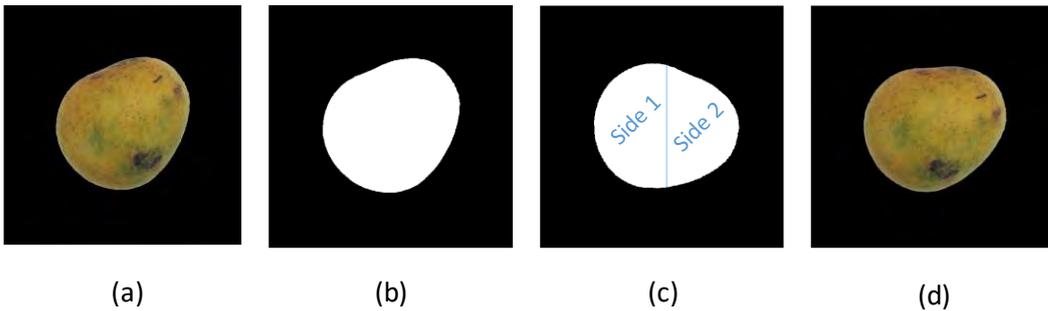
Dengan menghitung nilai *gradient* dari citra biner tersebut maka diperoleh berapa derajat citra biner tersebut harus dirotasi. Pada Gambar 4.9 (a) ditunjukkan ROI dari citra mangga dan gambar 4.9 (b) merupakan binernya. Citra biner yang sudah diputar diproyeksikan terhadap sumbu x dan sumbu y untuk menentukan garis tengah dari kedua sisi mangga. Pada Gambar 4.9 (c) mangga yang sisinya sudah terbagi menjadi dua dihitung masing-masing besarnya. Apabila *side 1* lebih besar dari *side 2*, maka derajat perputaran dari ROI ditambahkan, begitu juga sebaliknya. Pada Gambar 4.9 (d) ditunjukkan hasil dari ROI mangga yang sudah dilakukan rotasi.



Gambar 4.7 Citra Biner Mangga Apel



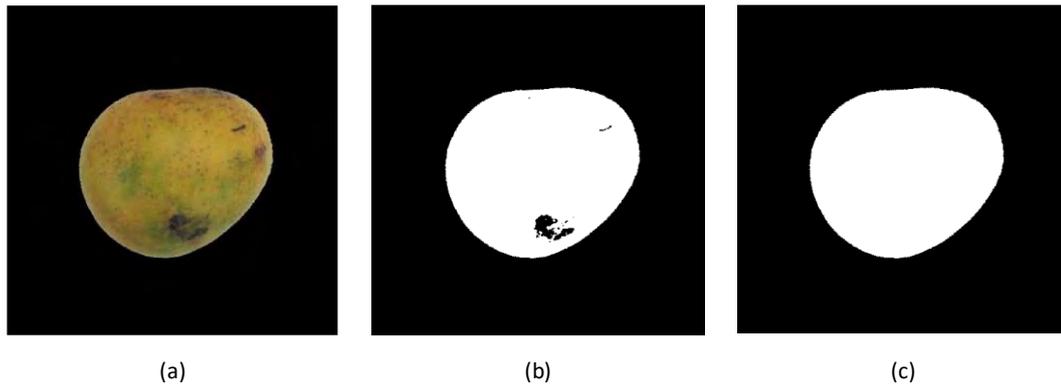
Gambar 4.8 Citra ROI Mangga Apel



Gambar 4.9 Proses Perputaran ROI Mangga

2.3.3 Ekstraksi Fitur Ukuran Mangga

Untuk fitur ukuran mangga diperoleh dari ROI mangga yang dirubah ke biner kemudian dihitung jumlah piksel yang berwarna putih. ROI dari mangga ditunjukkan pada Gambar 4.10 (a). Proses perubahan ROI mangga ke biner menggunakan Otsu Thresholding jadi ada lubang pada citra binernya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 (b). Dilakukan *hole filling* agar lubang tadi tertutupi. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.10 (c). Dari citra 206.jpg yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 (c) diperoleh ukuranya 53878. Namun ada beberapa citra yang ROI-nya tidak didapatkan secara maksimal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 yaitu untuk citra mangga 411.jpg. Terdapat beberapa bagian yang hilang akibat pengambilan ROI-nya, dimana seharusnya *background* ROI biru adalah ROI yang harusnya diperoleh.



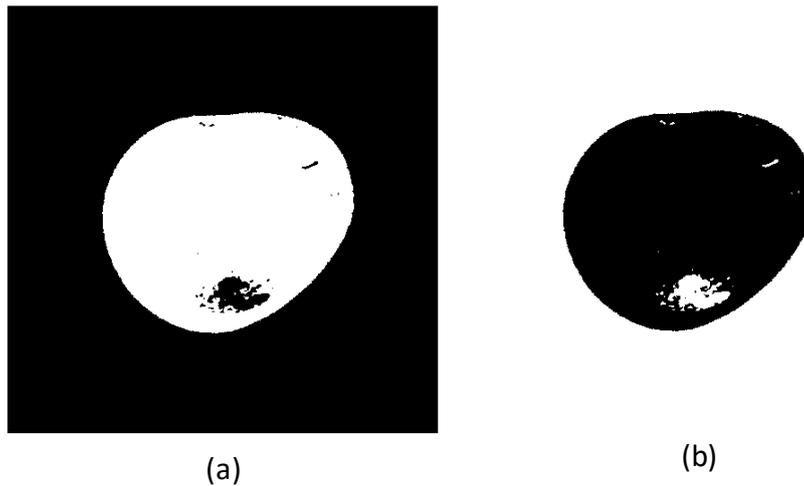
Gambar 4.10 Citra ROI Mangga untuk Ekstraksi Fitur Ukuran



Gambar 4.11 ROI Mangga yang Tidak Sempurna

2.3.4 Ekstraksi Fitur Rasio Bercak

Rasio bercak merupakan perbandingan jumlah bercak dengan ukuran dari mangga. Semakin kecil rasio bercak, semakin bagus mangga tersebut. Untuk memperoleh rasio bercak, ROI mangga ditingkatkan kontrasnya agar bercak benar-benar terlihat. Pada Gambar 4.12 (a) merupakan citra biner dari ROI mangga yang sudah ditingkatkan kontrasnya. Pada Gambar 4.12 (b) merupakan citra negasi atau kebalikan dari gambar 4.12 (a). Dengan mengurangi piksel putih yang ada pada Gambar 4.12 (a) dengan gambar 4.12 (b) maka diperoleh nilai bercak yaitu 1784. Sehingga rasio bercaknya $1784/53878 = 0.0331$.



Gambar 4.12 Citra ROI Mangga untuk Ekstraksi Fitur Rasio Bercak

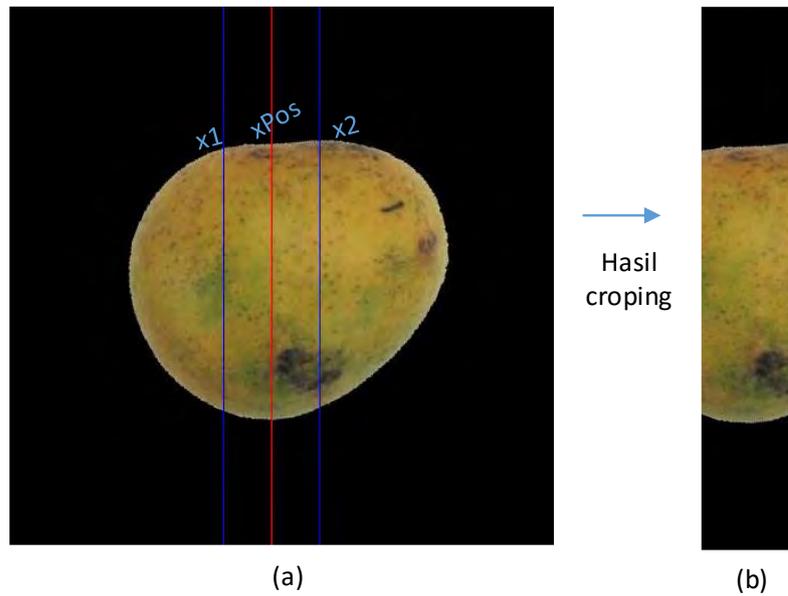
2.3.5 Ekstraksi Fitur Mean Red dan Mean Green

Sesuai dengan metode yang dijelaskan pada bab 3, untuk mendapatkan fitur *mean red* dan *mean green* diperoleh dari hasil *cropping* secara vertikal pada bagian tengah mangga. Untuk itu, ROI mangga diproyeksikan terhadap sumbu x untuk mendapatkan garis tengah dari ROI yang dinamakan $xPos$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 (a). Nilai dari $xPos$ dikalikan dengan 15% ke kanan dan ke kiri sehingga diperoleh nilai $x1$ dan $x2$. Proses *cropping* dimulai dari titik $x1,0$ sampai $x2,0$ yang menghasilkan citra *cropping* pada Gambar 4.13 (b).

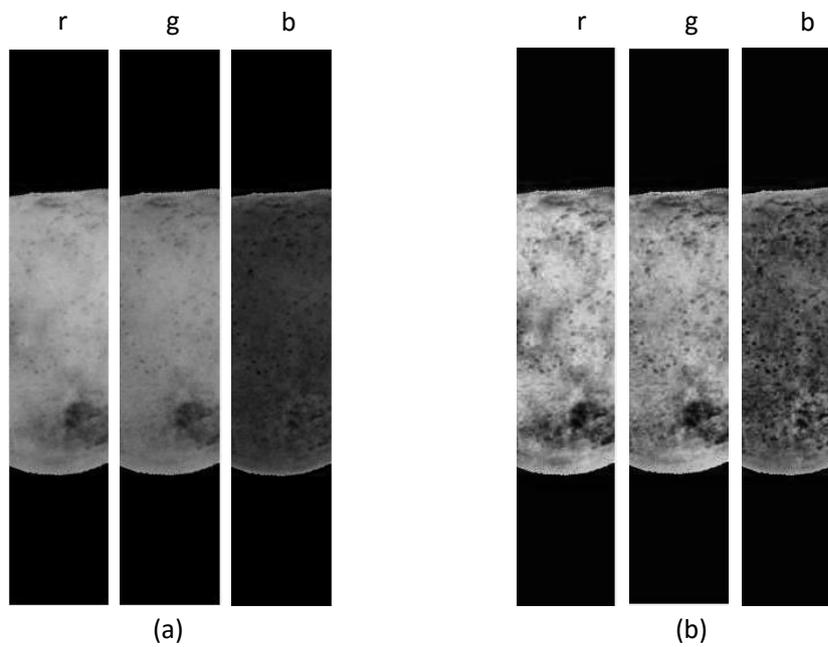
Citra hasil *cropping* dipisahkan masing-masing chanelnya. Setiap chanel dipertajam kontrasnya supaya bercak terlihat lebih jelas. Pada Gambar 4.14 (a) citra pada masing-masing chanel, sedangkan 4.14 (b) menunjukkan hasil dari tiap chanel yang sudah ditajamkan kontrasnya. Dari tiap chanel dijadikan biner dan disatukan kembali. Hasil dari citra *crop* biner dijadikan *mask* untuk mendapatkan citra *crop* yang sudah tidak ada bercaknya. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.15 (a) *mask* dan 4.15(b) citra *crop* hasil maskingnya. Citra hasil masking dipisahkan kembali chanelnya, namun yang dipakai hanya chanel *red* dan *green* saja. Tiap chanel dihitung nilai mean-nya, sebagai contoh pada citra mangga 206.jpg yang hasil maskingnya ditunjukkan pada Gambar 4.15 (b), dapat dihitung nilai *mean red* dan *mean green* menggunakan MATLAB sebagai berikut :

```
mean_r = mean(mean(im_masked(:,:,1)));  
        = 68.1338
```

```
mean_g = mean(mean(im_masked(:,:,2)));  
        = 57.7430
```



Gambar 4.13 Cropping pada Citra ROI Mangga



Gambar 4.14 Citra Cropping Sebelum dan Sesudah Dipertajam



Gambar 4.15 Citra Crop Mask dan Hasil Maskingnya

4.5 Implementasi Fuzzy Inference System

2.4.1 Pembentukan Membership function

Pada penelitian ini variabel *input* terdiri dari 4 macam yakni fitur ukuran, bercak, *mean red* dan *mean green*. Variabel *output*nya hanya satu yaitu apakah mangga tersebut masuk *grade* jelek, biasa, super. Untuk membangun FIS diperlukan semesta pembicara seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Implementasi algoritma *fuzzy inference system* pada penelitian ini menggunakan tools yang dari MATLAB 2015a. Data training digunakan untuk membentuk *membership function* dan *rule*. Terdapat 55 data training dari citra mangga yang sudah dikelompokkan berdasarkan tingkat kematangannya. Berdasarkan data training ini dilakukan pengujian terhadap target sampai ditemukan nilai akurasi diatas 70%. Jika nilai akurasi kurang dari 70% maka dilakukan perbaikan secara manual dengan melakukan pergeseran pada *membership function*. Pada Tabel 4.2 ditunjukkan sebagian data training dari 55 citra mangga dengan kondisi diam. Nilai pada tabel tersebut sudah dilakukan

normalisasi, sehingga *range* interval tiap variabel antara 0 sampai 1. Detail lengkap dari data training disertakan pada lampiran 1.A.

Tabel 4.1 Semesta Pembicara Grading Mangga Apel

Fungsi	Variabel	Notasi	Semesta Pembicara	Keterangan
<i>Input</i>	Sz	w1	[0 - 1]	Ukuran mangga
	Rb	w2	[0 - 1]	Rasio bercak
	Mr	w3	[0 - 1]	Mean red
	Mg	w4	[0 - 1]	Mean green
<i>Output</i>	Gr	z	[0 - 1]	Grade mangga

Tabel 4.2 Data Training Grading Mangga Apel

Image name	Mr	Mg	Sz	Rb
101.jpg	0.161961419	0.83046402	1	0.039952217
102.jpg	0	0.574863077	0.912686927	0.034933917
103.jpg	0.461984352	0.94966852	0.488438656	0.110777705
104.jpg	0.109214446	0.405500872	0.667953047	0.156947432
105.jpg	0.297340503	0.618503943	0.873645281	0.084044983
106.jpg	0.261670987	0.561002127	0.912912044	0.175643453
109.jpg	0.78763907	0.755643825	0.153336549	0.023643446
110.jpg	0.452283353	0.515792502	0.081492201	0.031283623
119.jpg	0.340624572	0.378887924	0	0.058941843
207.jpg	0.931835996	0.731092718	0.580639974	0.041998424
208.jpg	0.982903994	0.173389656	0.736292008	0.120283557
210.jpg	0.737431967	0.153545375	0.405499276	0.36910171
211.jpg	0.869999168	0.202341322	0.60527416	0.044344345
301.jpg	0.671186115	0.201114079	0.444783542	0.734494148
302.jpg	0.968788012	0.560426422	0.557997061	0.185966916
303.jpg	0.974055213	0.531694677	0.591183452	0.817141689
304.jpg	0.589867632	0.150915896	0.423895106	0.912252833
407.jpg	0.955419156	0.166367106	0.593896236	0.182254776
408.jpg	0.66461153	0.104525274	0.30674805	0.707385193
410.jpg	0.676365128	0.063236262	0.293523228	1

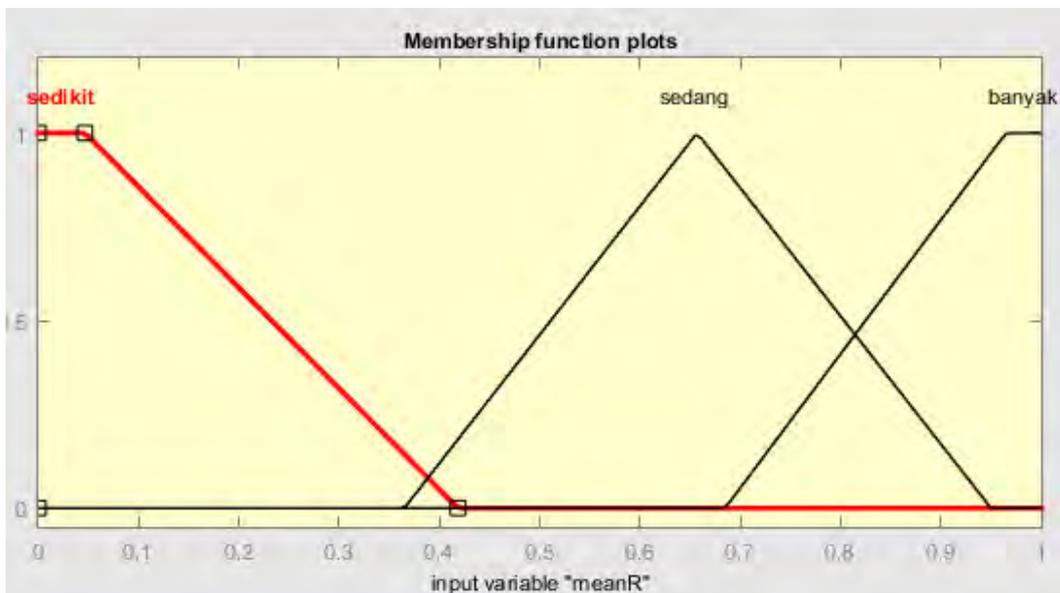
Variabel *Mr* yang merupakan rerata nilai *red* yang dikategorikan menjadi tiga derajat keanggotaan yakni sedikit, sedang dan banyak. Semakin sedikit maka mangga tersebut mentah, begitu juga sebaliknya. Representasi untuk mangga

dengan nilai yang sedikit digambarkan dengan bentuk linear turun. Sedangkan untuk representasi sedang menggunakan bentuk kurva segitua. Fungsi keanggotaan yang banyak digambarkan dalam bentuk linear naik. Pada Gambar 4.16 ditunjukkan *membership function* dari *mean red*. Nilai fungsi keanggotannya ditunjukkan pada persamaan 4.1.

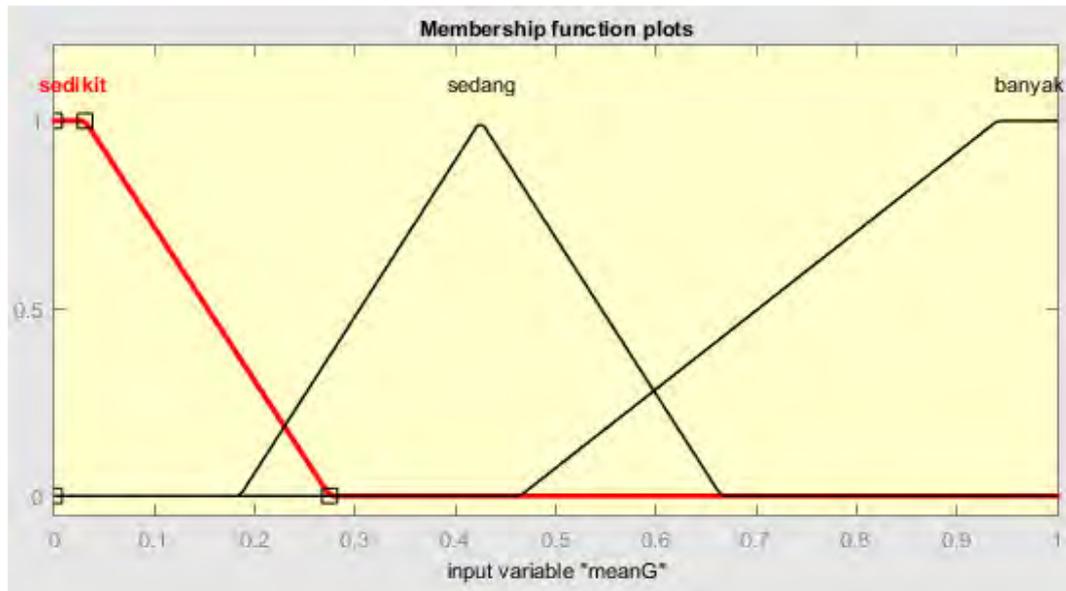
$$\mu_{sedikit}(w_1) = \begin{cases} 1, & w_1 \leq 0 \\ \frac{0.4185 - w_1}{0.4185 - 0.0465}, & 0.0465 \leq w_1 \leq 0.4185 \\ 0, & w_1 \geq 0.4185 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(w_1) = \begin{cases} 0, & w_1 \leq 0.365 \text{ atau } w_1 \geq 0.95 \\ \frac{w_1 - 0.365}{0.657 - 0.365}, & 0.365 \leq w_1 \leq 0.657 \\ \frac{0.95 - w_1}{0.95 - 0.657}, & 0.657 \leq w_1 \leq 0.95 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\mu_{banyak}(w_1) = \begin{cases} 0, & w_1 \leq 0.685 \\ \frac{w_1 - 0.685}{0.965 - 0.685}, & 0.685 \leq w_1 \leq 0.965 \\ 1, & w_1 \geq 0.965 \end{cases}$$



Gambar 4.16 Membership Function Mean Red

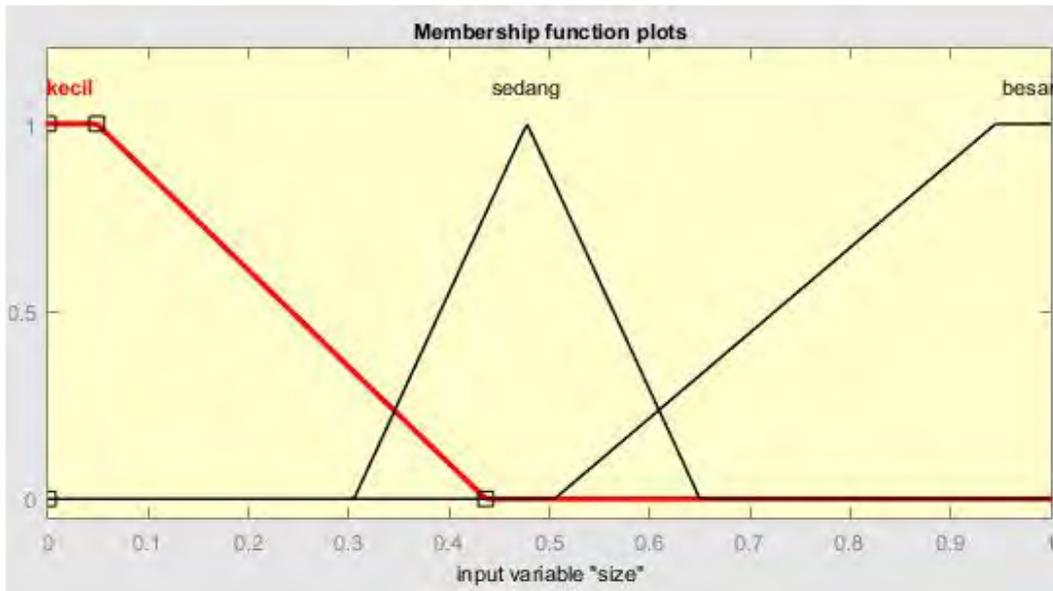


Gambar 4.17 Membership Function Mean Green

Bentuk himpunan *fuzzy* rerata *green* ditunjukkan pada Gambar 4.17. Sama halnya dengan variabel *Mr* bedanya variabel *Mg* merupakan rerata *green*. Pada rerata *green* derajat keanggotaanya dikategorikan juga menjadi tiga yakni sedikit, sedang dan banyak. Semakin sedikit nilainya maka mangga matang. Bentuk linear turun digunakan untuk merepresentasikan sedikit, sedangkan linear naik merepresentasikan banyak. Fungsi keanggotaan yang sedang menggunakan representasi kurva segitiga. Fungsi keanggotaanya ditunjukkan pada persamaan 4.2.

$$\begin{aligned}
 \mu_{sedikit}(w_2) &= \begin{cases} 1, & w_2 \leq 0.0305 \\ \frac{0.2745 - w_2}{0.2745 - 0.0305}, & 0.0305 \leq w_2 \leq 0.2745 \\ 0, & w_2 \geq 0.2745 \end{cases} \\
 \mu_{sedang}(w_2) &= \begin{cases} 0, & w_2 \leq 0.187 \text{ atau } w_2 \geq 0.667 \\ \frac{w_2 - 0.187}{0.427 - 0.187}, & 0.187 \leq w_2 \leq 0.427 \\ \frac{0.667 - w_2}{0.667 - 0.427}, & 0.427 \leq w_2 \leq 0.667 \end{cases} \\
 \mu_{banyak}(w_2) &= \begin{cases} 0, & w_2 \leq 0.4645 \\ \frac{w_2 - 0.4645}{0.9405 - 0.4645}, & 0.4645 \leq w_2 \leq 0.9405 \\ 1, & w_2 \geq 0.9405 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Untuk fungsi keanggotaan variabel Sz dibagi menjadi tiga kategori kecil, sedang, besar. Bentuk derajat keanggotaan linear turun untuk representasi ukuran yang kecil dan linear naik untuk representasi ukuran besar. Derajat keanggotaan segitiga untuk ukuran mangga yang sedang. Himpunan *fuzzy*-nya ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan fungsi keanggotaannya ditunjukkan pada persamaan 4.3.

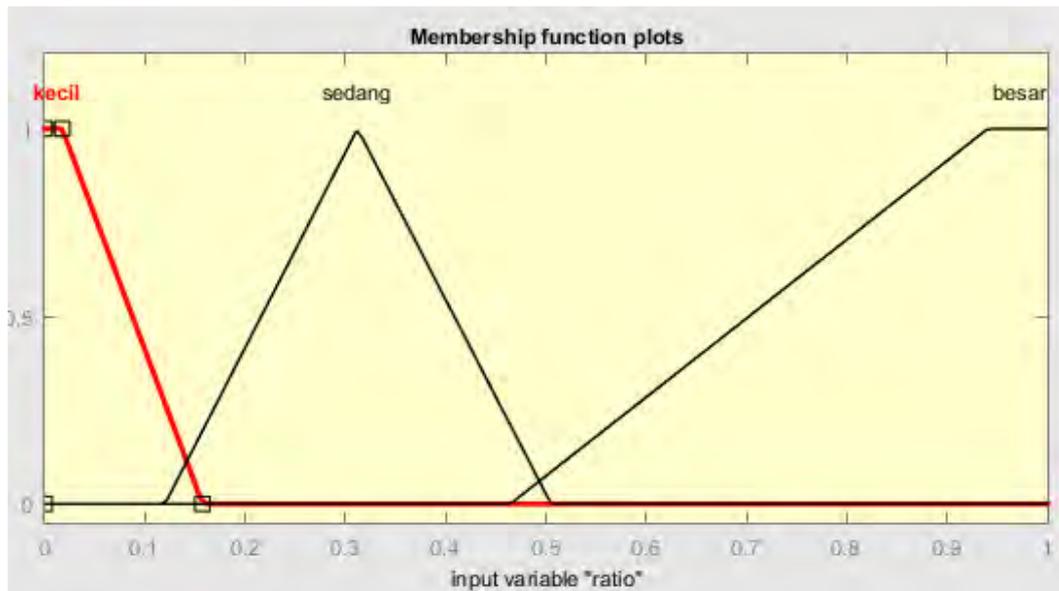


Gambar 4.18 Membership Function Ukuran Mangga

$$\begin{aligned}
 \mu_{kecil}(w_3) &= \begin{cases} 1, & w_3 \leq 0.0485 \\ \frac{0.4365 - w_3}{0.4365 - 0.0485}, & 0.0485 \leq w_3 \leq 0.4365 \\ 0, & w_3 \geq 0.4365 \end{cases} \\
 \mu_{sedang}(w_3) &= \begin{cases} 0, & w_3 \leq 0.305 \text{ atau } w_3 \geq 0.65 \\ \frac{w_3 - 0.305}{0.4775 - 0.305}, & 0.305 \leq w_3 \leq 0.4775 \\ \frac{0.65 - w_3}{0.65 - 0.4475}, & 0.4475 \leq w_3 \leq 0.65 \end{cases} \\
 \mu_{besar}(w_3) &= \begin{cases} 0, & w_3 \leq 0.505 \\ \frac{w_3 - 0.505}{0.945 - 0.505}, & 0.505 \leq w_3 \leq 0.945 \\ 1, & w_3 \geq 0.945 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Variabel Rb yang merupakan rasio bercak yang dikategorikan menjadi tiga yakni bercaknya kecil, sedang, besar. Representasi linear turun untuk rasio yang

sedikit, sedangkan linear naik digunakan untuk merepresntasikan rasio yang memiliki bercak besar. Derajat keanggotaan sedang direpresentasikan dengan bentuk kurva segitia. Bentuk dari himpunan *fuzzy* rasio bercak ditunjukkan pada Gambar 4.19, sedangkan fungsi keanggotaanya pada persamaan 4.4.

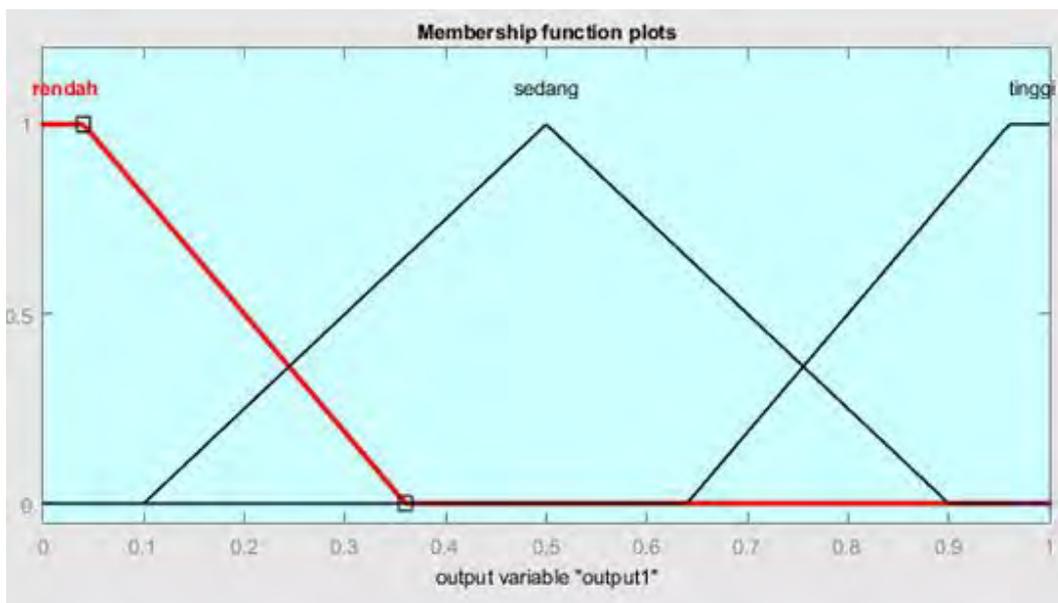


Gambar 4.19 Membership Function Rasio Bercak

$$\begin{aligned}
 \mu_{kecil}(w_4) &= \begin{cases} 1, & w_4 \leq 0.0175 \\ \frac{0.1575 - w_4}{0.1575 - 0.0175}, & 0.0175 \leq w_4 \leq 0.1575 \\ 0, & w_4 \geq 0.1575 \end{cases} \\
 \mu_{sedang}(w_4) &= \begin{cases} 0, & w_4 \leq 0.12 \text{ atau } w_4 \geq 0.505 \\ \frac{w_4 - 0.12}{0.312 - 0.12}, & 0.12 \leq w_4 \leq 0.312 \\ \frac{0.505 - w_4}{0.505 - 0.312}, & 0.312 \leq w_4 \leq 0.505 \end{cases} \\
 \mu_{besar}(w_4) &= \begin{cases} 0, & w_4 \leq 0.4645 \\ \frac{w_4 - 0.4645}{0.9405 - 0.4645}, & 0.4645 \leq w_4 \leq 0.9405 \\ 1, & w_4 \geq 0.9405 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel *output* yaitu untuk *grading* memiliki 3 derajat keanggotaan yakni rendah, sedang dan tinggi. Himpunan keanggotaan untuk himpunan rendah direpresentasikan dengan bentuk linear turun. Untuk keanggotaan

himpunan tinggi direpresentasikan dengan bentuk linear naik. Sementara untuk himpunan sedang direpresentasikan dengan bentuk kurva segitiga. Bentuk dari himpunan *fuzzy* variabel *output* ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan fungsi keanggotaannya ditunjukkan pada persamaan 4.5. Dari hasil nilai *output* selanjutnya akan dilakukan *grading* apakah mangga tersebut merupakan mangga dengan kualitas jelek, biasa atau super.



Gambar 4.20 Membership Function Output

$$\begin{aligned}
 \mu_{rendah}(z) &= \begin{cases} 1, & z \leq 0.04 \\ \frac{0.36 - z}{0.36 - 0.04}, & 0.04 \leq z \leq 0.36 \\ 0, & z \geq 0.36 \end{cases} \\
 \mu_{sedang}(z) &= \begin{cases} 0, & z \leq 0.1 \text{ atau } z \geq 0.9 \\ \frac{z - 0.1}{0.5 - 0.1}, & 0.1 \leq z \leq 0.5 \\ \frac{0.9 - z}{0.9 - 0.5}, & 0.5 \leq z \leq 0.9 \end{cases} \\
 \mu_{tinggi}(z) &= \begin{cases} 0, & z \leq 0.64 \\ \frac{z - 0.64}{0.96 - 0.64}, & 0.64 \leq z \leq 0.96 \\ 1, & z \geq 0.96 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

2.4.2 Pembentukan Rule

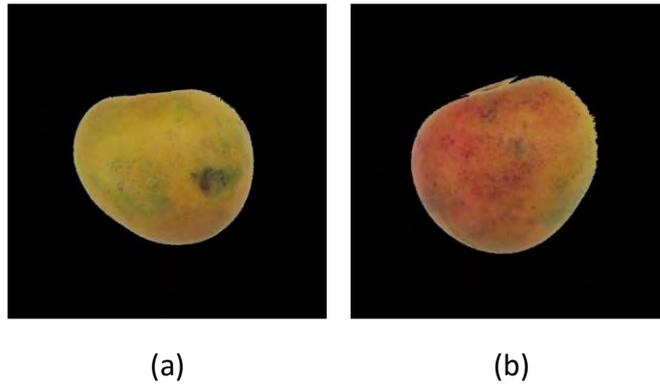
Rule yang dibentuk merupakan hasil dari pengamatan data training. Parameter *input* ada 4 dan masing-masing terdapat 3 kategori, jadi terdapat 81 *rule*. Pada Tabel 4.3 ditunjukkan sebagian dari *rule* yang menjadi aturan umum yang bisa digunakan. Untuk detail *rule* secara keseluruhan disertakan pada lampiran 1.B.

Tabel 4.3 Rule Grading Mangga Apel

ID Rule	Variabel Input				Keputusan
	Mr	Mg	Sz	Rb	
R1	sedikit	sedikit	kecil	kecil	rendah
R2	sedikit	sedikit	kecil	sedang	rendah
R4	sedikit	sedikit	sedang	kecil	rendah
R5	sedikit	sedikit	sedang	sedang	rendah
R25	sedikit	banyak	besar	kecil	rendah
R26	sedikit	banyak	besar	sedang	rendah
R27	sedikit	banyak	besar	besar	rendah
R28	sedang	sedikit	kecil	kecil	sedang
R29	sedang	sedikit	kecil	sedang	sedang
R30	sedang	sedikit	kecil	besar	rendah
R34	sedang	sedikit	besar	kecil	tinggi
R35	sedang	sedikit	besar	sedang	sedang
R43	sedang	sedang	besar	kecil	tinggi
R44	sedang	sedang	besar	sedang	sedang
R61	banyak	sedikit	besar	kecil	tinggi

4.6 Analisa Hasil Rotasi pada ROI Mangga

Setelah dilakukan langkah *preprocessing* akan diperoleh mangga yang sudah dirotasi berdasarkan letak ujung dan pangkalnya. Namun terdapat beberapa mangga yang hasil segmentasinya tidak cukup bagus yang mempengaruhi hasil dari rotasi ROI mangga. Pada Gambar 4.21 (a) ditunjukkan ROI mangga yang sudah dirotasi secara tepat, sementara pada Gambar 4.21 (b) hasil rotasinya kurang begitu tepat. Ketika ROI mangga tidak dirotasi secara tepat, maka proses cropping pun kurang maksimal sehingga data ekstraksi fiturnya tidak sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 4.21 Analisa ROI Citra Mangga Apel

4.7 Analisa Hasil Uji Coba Grading Menggunakan FIS

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui akurasi dari sistem *grading* mangga apel menggunakan *fuzzy inference system* berdasarkan fitur *mean red*, *mean green*, ukuran, dan rasio bercak terhadap pengaruh *motion blur*. Terdapat empat kondisi pengujian pada seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.3. Hasil dari ekstraksi fitur pada pengujian empat kondisi ini dilampirkan pada lampiran 2. Dari hasil ekstraksi fitur tersebut di proses dengan FIS Mamdani untuk menghasilkan nilai *output* fuzzy yang akan menentukan apakah mangga apel tersebut masuk kategori jelek, biasa atau super.

Berdasarkan dari hasil training, untuk nilai *output* < 0.2 dikategorikan sebagai *grade* jelek. Jika nilai *output* ≥ 0.2 atau ≤ 0.425 dikategorikan sebagai *grade* biasa, dan jika nilainya > 0.425 dikategorikan *grade* super. Hasil dari pengujian *grading* mangga apel secara berturut turut untuk kondisi 1, 2, 3 dan 4 ditunjukkan pada Tabel 4.4 sampai 4.7.

Tabel 4.4 Pengujian Grading Mangga Kondisi 1

Image name	Output	Grading Output	Grading Target	True/False
107.jpg	0.159869277	1	1	TRUE
108.jpg	0.145112906	1	1	TRUE
110.jpg	0.14270014	1	1	TRUE
111.jpg	0.161452511	1	1	TRUE
114.jpg	0.59137646	3	1	FALSE
115.jpg	0.495067776	3	1	FALSE

217.jpg	0.144887664	1	1	TRUE
219.jpg	0.132159076	1	1	TRUE
220.jpg	0.150357396	1	1	TRUE
224.jpg	0.152953099	1	1	TRUE
316.jpg	0.491663547	3	2	FALSE
319.jpg	0.433936073	3	3	TRUE
321.jpg	0.427076498	3	3	TRUE
326.jpg	0.148919159	1	1	TRUE
327.jpg	0.451142033	3	3	TRUE
331.jpg	0.48696918	3	3	TRUE
332.jpg	0.221502488	2	3	FALSE
408.jpg	0.539334333	3	3	TRUE
412.jpg	0.5	3	3	TRUE
415.jpg	0.5	3	3	TRUE
417.jpg	0.5	3	3	TRUE
421.jpg	0.401978679	2	3	FALSE

Tabel 4.5 Pengujian Grading Mangga Kondisi 2

Image name	Output	Grading Output	Grading Target	True/False
107.jpg	0.160656326	1	1	TRUE
108.jpg	0.145183802	1	1	TRUE
110.jpg	0.155525535	1	1	TRUE
111.jpg	0.155374451	1	1	TRUE
114.jpg	0.6181658	3	1	FALSE
115.jpg	0.586868859	3	1	FALSE
217.jpg	0.144570479	1	1	TRUE
219.jpg	0.131641462	1	1	TRUE
220.jpg	0.151531123	1	1	TRUE
224.jpg	0.151481385	1	1	TRUE
316.jpg	0.489371155	3	2	FALSE
319.jpg	0.384671509	2	3	FALSE
321.jpg	0.434300241	3	3	TRUE
326.jpg	0.150590126	1	1	TRUE
327.jpg	0.464633249	3	3	TRUE
331.jpg	0.486139115	3	3	TRUE
332.jpg	0.235329401	2	3	FALSE
408.jpg	0.540991319	3	3	TRUE
412.jpg	0.5	3	3	TRUE
415.jpg	0.5	3	3	TRUE
417.jpg	0.510753616	3	3	TRUE
421.jpg	0.413925429	2	3	FALSE

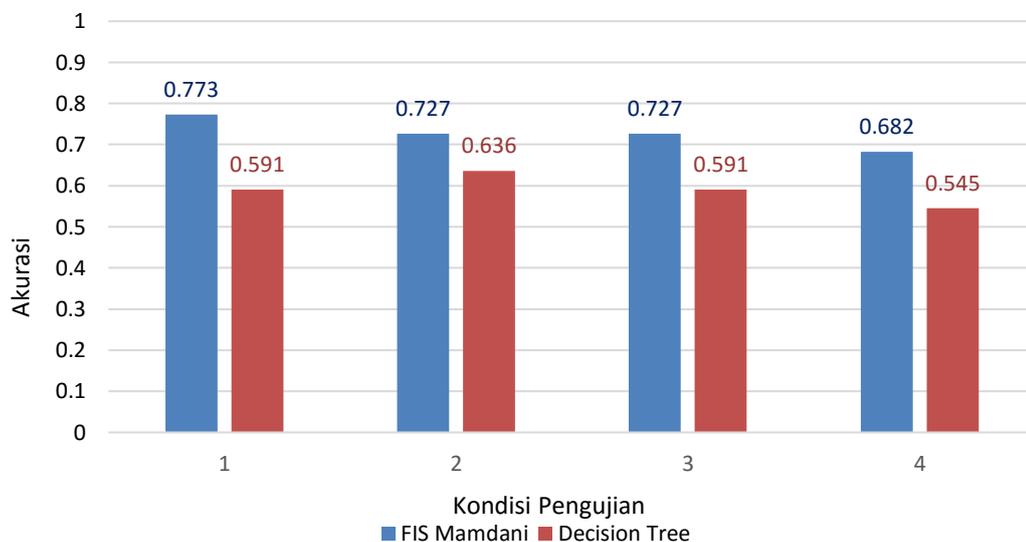
Tabel 4.6 Pengujian Grading Mangga Kondisi 3

Image name	Output	Grading Output	Grading Target	True/False
107.jpg	0.160874466	1	1	TRUE
108.jpg	0.145167639	1	1	TRUE
110.jpg	0.140232537	1	1	TRUE
111.jpg	0.156891779	1	1	TRUE
114.jpg	0.618548395	3	1	FALSE
115.jpg	0.61729093	3	1	FALSE
217.jpg	0.145594195	1	1	TRUE
219.jpg	0.131702735	1	1	TRUE
220.jpg	0.151143955	1	1	TRUE
224.jpg	0.151639613	1	1	TRUE
316.jpg	0.488183991	3	2	FALSE
319.jpg	0.393744198	2	3	FALSE
321.jpg	0.463407791	3	3	TRUE
326.jpg	0.151080833	1	1	TRUE
327.jpg	0.46572182	3	3	TRUE
331.jpg	0.48610514	3	3	TRUE
332.jpg	0.241131575	2	3	FALSE
408.jpg	0.540875202	3	3	TRUE
412.jpg	0.5	3	3	TRUE
415.jpg	0.5	3	3	TRUE
417.jpg	0.510460555	3	3	TRUE
421.jpg	0.400850783	2	3	FALSE

Tabel 4.7 Pengujian Grading Mangga Kondisi 4

Image name	Output	Grading Output	Grading Target	True/False
107.jpg	0.160720952	1	1	TRUE
108.jpg	0.145183544	1	1	TRUE
110.jpg	0.139626974	1	1	TRUE
111.jpg	0.156387148	1	1	TRUE
114.jpg	0.596933505	3	1	FALSE
115.jpg	0.623881256	3	1	FALSE
217.jpg	0.143125938	1	1	TRUE
219.jpg	0.131850231	1	1	TRUE
220.jpg	0.151394788	1	1	TRUE
224.jpg	0.15155152	1	1	TRUE
316.jpg	0.48561617	3	2	FALSE
319.jpg	0.384898032	2	3	FALSE

321.jpg	0.424708534	2	3	FALSE
326.jpg	0.151145729	1	1	TRUE
327.jpg	0.453268104	3	3	TRUE
331.jpg	0.486238799	3	3	TRUE
332.jpg	0.211893809	2	3	FALSE
408.jpg	0.540870051	3	3	TRUE
412.jpg	0.5	3	3	TRUE
415.jpg	0.5	3	3	TRUE
417.jpg	0.509736144	3	3	TRUE
421.jpg	0.401770528	2	3	FALSE



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Hasil Akurasi

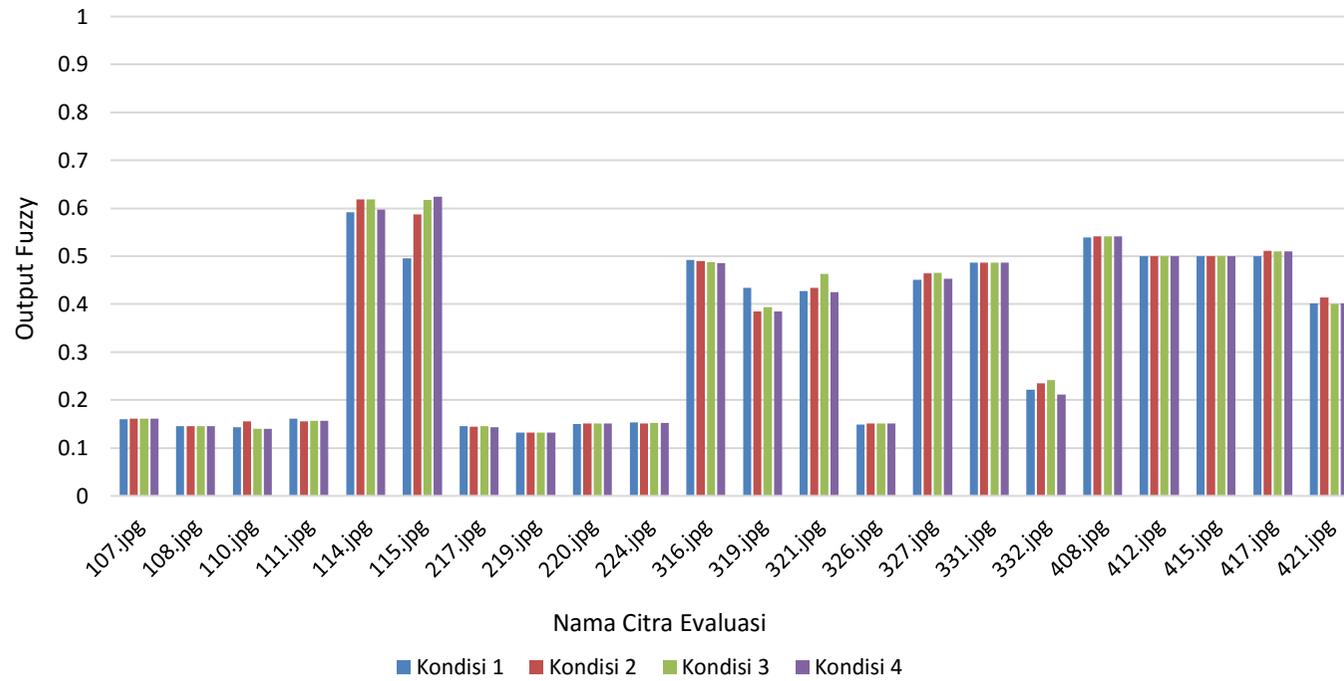
Dari hasil yang pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 sampai 4.7 dihitung setiap nilai akurasi. Dari hasil analisa *grading* mangga apel menggunakan *fuzzy inference system* diketahui bahwa algoritma *fuzzy* yang dihasilkan memiliki akurasi tertinggi 0.773 atau 77% untuk mangga kondisi 1. Pada mangga kondisi 2 dan 3 memiliki nilai akurasi yang sama yaitu 0.727 atau 72%. Sedangkan akurasi pada kondisi 4 adalah 0.682 atau 68%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar grafik 4.22.

Digunakanlah decision tree sebagai metode pembandingan dengan sistem FIS Mamdani yang telah diusulkan untuk mengetahui seberapa bagus hasil akurasi. Terlihat bahwa pada Gambar grafik 4.22 nilai akurasi *fuzzy* setiap kondisi pengujian selalu lebih tinggi dibandingkan dengan hasil dari decision tree.

Setiap kondisi pengujian pada decision tree juga semakin menurun nilai akurasinya sebanding dengan penambahan *motion blur* kecuali pada kondisi 2 yang nilainya lebih tinggi dari pada kondisi 1 dan kondisi 3.

Untuk hasil akurasi *fuzzy* dari grafik yang ditunjukkan gambar 4.22, nilai akurasi mangga kondisi 2 sama dengan 3 namun sebenarnya *output fuzzy*-nya berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar grafik 4.23. Perbedaan dari hasil *output* tiap kondisi hanya selisih beberapa desimal saja, sehingga jika di kategorikan terhadap *grade*-nya dan dihitung akurasinya yang terlihat adalah sama nilainya.

Dari hasil grafik 4.22 juga dapat diketahui juga bahwa nilai akurasinya semakin menurun. Penurunan akurasi pada sistem *grading* mangga ini disebabkan karena citra mengalami derau *motion blur* yang berlebih, yang ditunjukkan dengan penambahan nilai pada parameter *len* dan *theta*. Nilai *len* menyatakan seberapa cepat citra tersebut mengalami *motion blur*, sedangkan *theta* menyatakan derajat terhadap arah *blur*. Dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini penambahan derau pada citra mempengaruhi hasil akurasi *grading*, semakin cepat peregerakan *motion blur* maka hasilnya akan semakin menurun begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Output Fuzzy

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN 1

Lampiran 1.A Fitur Pada Data Training

Image Name	Mr	Mg	Sz	Rb
101.jpg	0.510309491	0.919828275	1	0.038347204
102.jpg	0.32614703	0.768062762	0.837843337	0.067650715
103.jpg	0.224090213	0.616352549	0.649621341	0.06173713
104.jpg	0.31336182	0.674236416	0.77110885	0.049047909
105.jpg	0.16230055	0.385084474	0.60678196	0.058399707
106.jpg	0	0.278416499	0.39373799	0.062634962
109.jpg	0.507813732	0.772254746	0.427760823	0.709452418
110.jpg	0.574689695	0.845894825	0.395659546	0.186025216
119.jpg	0.797269585	1	0.443472364	0.021239194
120.jpg	0.764845323	0.964841208	0.400926868	0.02137778
201.jpg	0.74921532	0.53575535	0.254481745	0.213500995
202.jpg	0.87627723	0.856285363	0.592517237	0.027930747
203.jpg	0.715202049	0.643339275	0.375042387	0.068611527
204.jpg	0.533369124	0.296179993	0.341720357	0.267483025
205.jpg	0.767557336	0.557411438	0.565185939	0.093968703
206.jpg	0.60947991	0.38083211	0.390708715	0.426088766
207.jpg	0.513455241	0.284186232	0.282219962	0.480331029
208.jpg	0.561573958	0.33515353	0.199683509	0.353771416
210.jpg	0.568033077	0.531311367	0.29605516	0.030768567
211.jpg	0.368157968	0.315646159	0.176760484	0.036755042
212.jpg	0.672990818	0.570200384	0.266734486	0.07348051
213.jpg	0.436239716	0.436272597	0.237617271	0.018369324
214.jpg	0.366911566	0.325225577	0.136814739	0.036750381
215.jpg	0.431948276	0.394397617	0.097524585	0.03264082
216.jpg	0.773293613	0.66979499	0.148004973	0.03245722
301.jpg	0.671186115	0.201114079	0.444783542	0.734494148
302.jpg	0.968788012	0.560426422	0.557997061	0.185966916
303.jpg	0.974055213	0.531694677	0.591183452	0.817141689
304.jpg	0.589867632	0.150915896	0.423895106	0.912252833
305.jpg	0.98565014	0.668358851	0.557793602	0.300833985
306.jpg	0.764800598	0.311023349	0.432824686	0.509105598
307.jpg	0.79242805	0.36953164	0.56498248	0.725975993
308.jpg	0.873621225	0.31097065	0.37280434	0.069366043
309.jpg	0.777269645	0.208037907	0.23442975	0.074347438
310.jpg	0.836571837	0.241348352	0.30616028	0.06293474

311.jpg	0.77479845	0.25719615	0.262642704	0.083400594
312.jpg	0.699706401	0.531769515	0.325534079	0.096315903
312.jpg	0.670210747	0.318553638	0.400361705	0.142118046
313.jpg	0.536694922	0.191100689	0.280117554	0.170667387
314.jpg	0.669436725	0.351624274	0.314795976	0.069016498
315.jpg	0.850519416	0.259068834	0.482717305	0.138174559
405.jpg	0.984381466	0.234175504	0.652808862	0.107979517
406.jpg	1	0.097927781	0.613270035	0.206110107
407.jpg	0.955419156	0.166367106	0.593896236	0.182254776
408.jpg	0.66461153	0.104525274	0.30674805	0.707385193
410.jpg	0.676365128	0.063236262	0.293523228	1
411.jpg	0.764975546	0.173512246	0.353385328	0.691030164
413.jpg	0.78976992	0.153155778	0.39439358	0.12936499
414.jpg	0.878689381	0.265372051	0.354086131	0.145248591
415.jpg	0.875270957	0.213368493	0.487261218	0.073468952
421.jpg	0.872727935	0.292519807	0.338487623	0.071445772
422.jpg	0.758464564	0.21560575	0.233570702	0.131694145
423.jpg	0.54417234	0	0	0.106008974
424.jpg	0.755190319	0.179465471	0.146784221	0.12440326
425.jpg	0.805881187	0.157413347	0.311631061	0.082378511

Lampiran 1.B Rule Grading Mangga Apel

ID Rule	Variabel Input				Keputusan
	Mr	Mg	Sz	Rb	
R1	sedikit	sedikit	kecil	kecil	rendah
R2	sedikit	sedikit	kecil	sedang	rendah
R3	sedikit	sedikit	kecil	besar	rendah
R4	sedikit	sedikit	sedang	kecil	rendah
R5	sedikit	sedikit	sedang	sedang	rendah
R6	sedikit	sedikit	sedang	besar	rendah
R7	sedikit	sedikit	besar	kecil	rendah
R8	sedikit	sedikit	besar	sedang	rendah
R9	sedikit	sedikit	besar	besar	rendah
R10	sedikit	sedang	kecil	kecil	rendah
R11	sedikit	sedang	kecil	sedang	rendah
R12	sedikit	sedang	kecil	besar	rendah
R13	sedikit	sedang	sedang	kecil	rendah
R14	sedikit	sedang	sedang	sedang	rendah
R15	sedikit	sedang	sedang	besar	rendah
R16	sedikit	sedang	besar	kecil	rendah
R17	sedikit	sedang	besar	sedang	rendah

R18	sedikit	sedang	besar	besar	rendah
R19	sedikit	banyak	kecil	kecil	rendah
R20	sedikit	banyak	kecil	sedang	rendah
R21	sedikit	banyak	kecil	besar	rendah
R22	sedikit	banyak	sedang	kecil	rendah
R23	sedikit	banyak	sedang	sedang	rendah
R24	sedikit	banyak	sedang	besar	rendah
R25	sedikit	banyak	besar	kecil	rendah
R26	sedikit	banyak	besar	sedang	rendah
R27	sedikit	banyak	besar	besar	rendah
R28	sedang	sedikit	kecil	kecil	sedang
R29	sedang	sedikit	kecil	sedang	sedang
R30	sedang	sedikit	kecil	besar	rendah
R31	sedang	sedikit	sedang	kecil	sedang
R32	sedang	sedikit	sedang	sedang	sedang
R33	sedang	sedikit	sedang	besar	rendah
R34	sedang	sedikit	besar	kecil	tinggi
R35	sedang	sedikit	besar	sedang	sedang
R36	sedang	sedikit	besar	besar	sedang
R37	sedang	sedang	kecil	kecil	rendah
R38	sedang	sedang	kecil	sedang	rendah
R39	sedang	sedang	kecil	besar	rendah
R40	sedang	sedang	sedang	kecil	sedang
R41	sedang	sedang	sedang	sedang	sedang
R42	sedang	sedang	sedang	besar	rendah
R43	sedang	sedang	besar	kecil	tinggi
R44	sedang	sedang	besar	sedang	sedang
R45	sedang	sedang	besar	besar	rendah
R46	sedang	banyak	kecil	kecil	rendah
R47	sedang	banyak	kecil	sedang	rendah
R48	sedang	banyak	kecil	besar	rendah
R49	sedang	banyak	sedang	kecil	rendah
R50	sedang	banyak	sedang	sedang	rendah
R51	sedang	banyak	sedang	besar	rendah
R52	sedang	banyak	besar	kecil	sedang
R53	sedang	banyak	besar	sedang	rendah
R54	sedang	banyak	besar	besar	rendah
R55	banyak	sedikit	kecil	kecil	sedang
R56	banyak	sedikit	kecil	sedang	sedang
R57	banyak	sedikit	kecil	besar	rendah
R58	banyak	sedikit	sedang	kecil	sedang
R59	banyak	sedikit	sedang	sedang	sedang
R60	banyak	sedikit	sedang	besar	rendah

R61	banyak	sedikit	besar	kecil	tinggi
R62	banyak	sedikit	besar	sedang	sedang
R63	banyak	sedikit	besar	besar	rendah
R64	banyak	sedang	kecil	kecil	rendah
R65	banyak	sedang	kecil	sedang	rendah
R66	banyak	sedang	kecil	besar	rendah
R67	banyak	sedang	sedang	kecil	sedang
R68	banyak	sedang	sedang	sedang	sedang
R69	banyak	sedang	sedang	besar	rendah
R70	banyak	sedang	besar	kecil	sedang
R71	banyak	sedang	besar	sedang	sedang
R72	banyak	sedang	besar	besar	rendah
R73	banyak	banyak	kecil	kecil	rendah
R74	banyak	banyak	kecil	sedang	rendah
R75	banyak	banyak	kecil	besar	rendah
R76	banyak	banyak	sedang	kecil	rendah
R77	banyak	banyak	sedang	sedang	rendah
R78	banyak	banyak	sedang	besar	rendah
R79	banyak	banyak	besar	kecil	sedang
R80	banyak	banyak	besar	sedang	sedang
R81	banyak	banyak	besar	besar	rendah

LAMPIRAN 2

Lampiran 2.A Hasil Ekstraksi Fitur Mangga Kondisi 1 (Diam)

Image Name	Mr	Mg	Sz	Rb
107.jpg	0.333691281	0.736920283	0.759923872	0.032738229
108.jpg	0.209651216	0.526468592	0.698409462	0.028626061
110.jpg	0.563467386	0.835068547	0.399515135	0.090775085
111.jpg	0.293294389	0.387022461	0.525987856	0.128608157
114.jpg	0.437372951	0.562400752	0.670903571	0.068869368
115.jpg	0.410055031	0.515056035	0.698568062	0.143928324
217.jpg	0.812873897	0.675316298	0.163426681	0.019374258
219.jpg	0.556037762	0.47783222	0.112810404	0.025634883
220.jpg	0.470522566	0.365110414	0.055396955	0.048298986
224.jpg	0.975513023	0.876509493	0.360907196	0.034241858
316.jpg	0.501286422	0.193862215	0.244177089	0.331250686
319.jpg	0.734053698	0.384640842	0.334375566	0.138469104
321.jpg	0.853940358	0.596859225	0.458990393	0.15973389
326.jpg	0.598364383	0.291490965	0.288086823	0.819434607
327.jpg	0.829981265	0.534007674	0.439187964	0.126892332
331.jpg	0.670952478	0.384080423	0.404771615	0.055532788
332.jpg	0.923308815	0.655101889	0.464473446	0.034414962
408.jpg	0.962419844	0.19591128	0.574134493	0.09856451
412.jpg	0.774422194	0.179572285	0.34108211	0.302454715
415.jpg	0.875950351	0.219748935	0.481828893	0.036337291
417.jpg	0.931508578	0.053149106	0.497009244	0.109576508
421.jpg	0.845953091	0.269521474	0.338544499	0.03282198

Lampiran 2.B Hasil Ekstraksi Fitur Mangga Kondisi 2 ($len = 10, theta = 20$)

Image Name	Mr	Mg	Sz	Rb
107.jpg	0.337412382	0.741150055	0.759130356	0.032437266
108.jpg	0.207360343	0.518009821	0.69795245	0.023005337
110.jpg	0.570269419	0.830017287	0.395656301	0.11718139
111.jpg	0.288917297	0.381148199	0.528362864	0.116897911
114.jpg	0.438759864	0.538836178	0.66875339	0.068121776
115.jpg	0.427083174	0.526356688	0.697568252	0.129761589
217.jpg	0.815228084	0.677575206	0.15426686	0.020506891
219.jpg	0.558833283	0.475100106	0.115688845	0.023776086
220.jpg	0.465697817	0.354768277	0.055753932	0.038312985

224.jpg	1	0.882475823	0.36460405	0.025493462
316.jpg	0.501280163	0.196004419	0.243242632	0.328107306
319.jpg	0.71121361	0.369958356	0.334139396	0.109110194
321.jpg	0.809915956	0.533838575	0.461218586	0.138969471
326.jpg	0.641796808	0.333755588	0.297595372	0.779896579
327.jpg	0.820627805	0.521495571	0.435273911	0.122082946
331.jpg	0.708832232	0.445209581	0.403204665	0.050886641
332.jpg	0.923062445	0.652943908	0.461873983	0.041788819
408.jpg	0.935319803	0.130277168	0.584817393	0.094026355
412.jpg	0.748492202	0.162479612	0.352580908	0.304143556
415.jpg	0.869976371	0.221121462	0.487140662	0.031905163
417.jpg	0.876925585	0.01360593	0.530464654	0.09595219
421.jpg	0.830713246	0.23852263	0.338275176	0.030237466

Lampiran 2.C Hasil Ekstraksi Fitur Mangga Kondisi 3 ($len = 20, theta = 40$)

Image Name	Mr	Mg	Sz	Rb
107.jpg	0.338638477	0.743988066	0.759050847	0.032111455
108.jpg	0.216374491	0.537924645	0.698056497	0.023252633
110.jpg	0.573915408	0.837497976	0.395909605	0.08530458
111.jpg	0.291422728	0.388934702	0.528429379	0.119872463
114.jpg	0.439423973	0.539282209	0.669084746	0.064681413
115.jpg	0.426950104	0.526391644	0.697355932	0.101489735
217.jpg	0.815867653	0.670198916	0.154644068	0.02179174
219.jpg	0.558501252	0.477259801	0.115570621	0.021361232
220.jpg	0.467249124	0.356711607	0.055751412	0.037330711
224.jpg	1	0.881265899	0.364225989	0.026154666
316.jpg	0.501592508	0.197079035	0.243276836	0.315789943
319.jpg	0.711779555	0.372224205	0.33439548	0.123356156
321.jpg	0.790786447	0.512932869	0.46160452	0.130079352
326.jpg	0.631006065	0.323378436	0.300293785	0.798807617
327.jpg	0.82203614	0.524640964	0.435322034	0.117850855
331.jpg	0.708226457	0.446382853	0.403141243	0.050063838
332.jpg	0.921500204	0.651976306	0.461988701	0.035698801
408.jpg	0.93789908	0.127316553	0.584700565	0.088265843
412.jpg	0.758971516	0.172754516	0.352971751	0.300166731
415.jpg	0.868007928	0.221316129	0.487322034	0.032347598
417.jpg	0.880148168	0	0.531118644	0.090866142
421.jpg	0.832102152	0.246428506	0.338237288	0.029748087

Lampiran 2.D Hasil Ekstraksi Fitur Mangga Kondisi 3 ($len = 40, theta = 80$)

Image Name	Mr	Mg	Sz	Rb
107.jpg	0.337779173	0.747832614	0.759059568	0.033201816
108.jpg	0.212719876	0.53317635	0.697954109	0.020531035
110.jpg	0.574689695	0.845894825	0.395659546	0.079556524
111.jpg	0.293107941	0.393840405	0.528179044	0.118851917
114.jpg	0.436268841	0.554571587	0.668972533	0.066113956
115.jpg	0.437909502	0.533680679	0.69768283	0.105910707
217.jpg	0.816638561	0.688773165	0.154515655	0.023953804
219.jpg	0.557704689	0.480822391	0.11588109	0.025982755
220.jpg	0.466239721	0.356998407	0.056335481	0.034713279
224.jpg	1	0.88771696	0.364439923	0.02530576
316.jpg	0.502280998	0.199220547	0.243404544	0.310899855
319.jpg	0.713687629	0.375732248	0.334192382	0.116792031
321.jpg	0.855633942	0.604465711	0.461512377	0.125080849
326.jpg	0.631578495	0.327171365	0.300644286	0.813422465
327.jpg	0.820136612	0.525467145	0.43501752	0.130259279
331.jpg	0.710766062	0.447821396	0.40339098	0.04529994
332.jpg	0.920910685	0.656536241	0.462167967	0.040474528
408.jpg	0.936459738	0.134023994	0.584695377	0.089727667
412.jpg	0.755497365	0.173512246	0.353385328	0.295529601
415.jpg	0.864426198	0.213368493	0.487261218	0.031420119
417.jpg	0.882257112	0	0.530123206	0.087755793
421.jpg	0.861914683	0.303151251	0.338487623	0.030554875

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini diulas mengenai kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Selain itu diuraikan juga mengenai saran yang dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari percobaan dan evaluasi dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mangga yang mengalami *motion blur* yaitu mangga kondisi 2, 3 dan 4 berhasil di *restore* dengan baik menggunakan Wiener *filter*.
2. Dari hasil evaluasi diperoleh akurasi tertinggi yaitu 77% untuk grading pada mangga kondisi 1. Untuk mangga kondisi 2 dan 3 memiliki akurasi yang sama yaitu 72%, sedangkan mangga kondisi 4 akurasinya 68%. Untuk mangga yang mengalami derau *motion blur* hasil akurasinya cenderung turun, hal ini dikarena nilai fitur-fiturnya juga turun akibat dari kurang efektifnya bagian *preprocessing*. Semakin citra mangga tersebut mengalami derau *motion blur* atau dalam kondisi nyata pergerakan dari *conveyer belt* semakin cepat maka proses *grading*-nya tidak begitu bagus.
3. Hasil akurasi dipengaruhi oleh keempat fitur yang digunakan yaitu *mean red*, *mean green*, ukuran, dan rasio bercak. Dilakukan segmentasi dengan Otsu Thresholding untuk mendapatkan ROI. Namun ada beberapa citra yang hasil segmentasinya tidak begitu bagus, akibatnya beberapa bagian dari citra ada yang hilang. Hilangnya beberapa bagian citra menyebabkan rotasi dari ROI yang kurang tepat sehingga data ekstraksi fiturnya kurang begitu mendukung.

5.2 Saran

Untuk tahapan pengembangan selanjutnya, perlu dilakukan perbaikan dan penambahan fitur supaya hasilnya lebih akurat namun perlu diperhitungkan seberapa cepat sistem dapat melakukan *grading* karena nantinya bisa diterapkan secara *realtime*. Selain itu perlu dilakukan proses tambahan pada bagian *preprocessing* dibagian segmentasi seperti pembentukan kembali bagian dari ROI mangga yang hilang disisi tepiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Brezmes, J., Fructuoso, M. L. L., Llobet, E., Vilanova, X., Recasens, I., Orts, J., Correig, X. (2005). Evaluation of an Electronic Nose to Assess Fruit Ripeness. *Sensors Journal IEEE*, 5(1), 97 - 108. doi: 10.1109/JSEN.2004.837495
- Christensen, C. M. (1983). *Journal of Food Science*, 48(3), 787-790. doi: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb14899.x
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing*
- Jiang, X., Cheng, D.-C., Wachenfeld, S., & Rothaus, K. (2005). *Motion Deblurring*. Paper presented at the Image Processing and Pattern Recognition.
- Mansor, A. R., Othman, M., Bakar, M. N. A., Ahmad, K. A., & Razak, T. R. (2014). *Fuzzy Ripening Mango Index Using RGB Colour Sensor Model*. *Journal of Arts, Science & Commerce*, 5(2).
- Nandi, C. S., Tudu, B., & Koley, C. (2014a). A Machine Vision-Based Maturity Prediction System for Sorting of Harvested Mangoes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(7), 1722 - 1730. doi: 10.1109/TIM.2014.2299527
- Nandi, C. S., Tudu, B., & Koley, C. (2014b). *Machine Vision Based Automatic Fruit Grading System using Fuzzy Algorithm*. Paper presented at the International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC).
- Ohali, Y. A. (2011). Computer Vision Based Date Fruit Grading System : Design and Implementation. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 23, 29-36. doi: 10.1016/j.jksuci.2010.03.003
- Putra, D. (2010). *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Rupanagudi, S. R., B.S, R., Nagaraj, P., & Bhat, V. G. (2014). *A cost Effective Tomato Maturity Grading System Using Image Processing for Farmers*. Paper presented at the Contemporary Computing and Informatics (IC3I).
- Saeed, O. M. B., Sankaran, S., Shariffa, A. R. M., Shafri, H. Z. M., Ehsani, R., Alfatni, M. S., & Hazir, M. H. M. (2012). Classification Of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Based On Their Maturity Using Portable Four-Band Sensor System. *Computers and Electronics in Agriculture*, 82, 55-60.

- Savakar, D. (2012). Identification and Classification of Bulk Fruits Images using Artificial Neural Networks. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 1(3), 36-40.
- Sri, K. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy* Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Vyas, A. M., Talati, B., & Naik, S. (2014). Quality Inspection and Classification of Mangoes using Color and Size Features. *International Journal of Computer Applications*, 98(1), 1-5.
- Zheng, H., & Lu, H. (2012). A Least-Squares Support Vector Machine (LS-SVM) Based on Fractal Analysis and CIELab Parameters for The Detection of Browning Degree on Mango. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83, 47-51. doi: 10.1016/j.compag.2012.01.012

BIODATA PENULIS

Saiful Nur Budiman adalah putra keempat dari empat bersaudara yang lahir di Ngunut, Tulungagung pada tahun 1988. Lulusan dari SMA Negeri 1 Ngunut pada tahun 2007. Ditahun yang sama pula melanjutkan studi ke Universitas Brawijaya dengan jurusan Ilmu Komputer. Di tahun 2012 menyangang gelar S.Kom dan sempat *freelance* menjadi *Programmer Java*.



Di tahun 2012, bersama salah satu teman yang satu angkatan di Ilmu komputer berhasil mengembangkan dua aplikasi desktop untuk POS (*Point of Sale*) dalam skala UKM. Selang setahun kemudian melanjutkan kuliah S2 di Teknik Infomatika ITS mengambil jurusan KCV Pengolahan Citra Digital. Saat ini penulis tertarik dan sedang mengembangkan aplikasi dan game pada *platform* android dan web. Penulis bisa dihubungi melalui email berikut sync.saifulnb@gmail.com.