

SKRIPSI

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE
CANNY DAN *FUZZY LOGIC* DALAM DETEKSI
KEASLIAN MATA UANG RUPIAH KERTAS
BERDASARKAN WATERMARK**

Disusun dan diajukan oleh

SITI RABIATUL ADAWIYAH

H071171308



**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE
CANNY DAN *FUZZY LOGIC* DALAM DETEKSI
KEASLIAN MATA UANG RUPIAH KERTAS
BERDASARKAN WATERMARK**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer pada Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

**SITI RABIATUL ADAWIYAH
H071171308**

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Rabiatal Adawiyah

NIM : H071171308

Program Studi : Sistem Informasi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

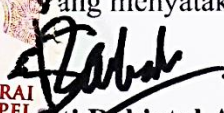
**Analisis Perbandingan Kinerja Metode *Canny* dan *Fuzzy Logic* dalam
Deteksi Keaslian Mata Uang Rupiah Kertas Berdasarkan *Watermark***

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Agustus 2021

Yang menyatakan,


Siti Rabiatal Adawiyah
NIM. H071171308



**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE
CANNY DAN *FUZZY LOGIC* DALAM DETEKSI
KEASLIAN MATA UANG RUPIAH KERTAS
BERDASARKAN *WATERMARK***

Disusun dan diajukan oleh

SITI RABIATUL ADAWIYAH

H071171308

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.
NIP. 19760102 200212 1 001

Pembimbing Pertama

Supri Bin Hj. Amir, S.Si., M.Eng.
NIP. 19880504 201903 1 012

Ketua Program Studi,

Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc.
NIP. 19630720 198903 1 003



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Siti Rabiatul Adawiyah
NIM : H071171308
Program Studi : Sistem Informasi
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kinerja Metode *Canny* dan *Fuzzy Logic* dalam Deteksi Keaslian Mata Uang Rupiah Kertas berdasarkan *Watermark*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

		Tanda tangan
Ketua	: Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.	(.....)
Sekretaris	: Supri Bin Hj. Amir, S.Si., M.Eng.	(.....)
Anggota	: A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si.	(.....)
Anggota	: Andi Muhammad Anwar, S.Si., M.Si.	(.....)

Ditetapkan di : Makassar
Tanggal : 18 Agustus 2021



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subbhanahu Wa Ta'ala* karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan pendidikan jenjang Strata 1 pada Program Studi Sistem Informasi, Universitas Hasanuddin. Alhamdulillah, skripsi dengan judul “Analisis Perbandingan Kinerja Metode *Canny* dan *Fuzzy Logic* dalam Deteksi Keaslian Mata Uang Rupiah Kertas berdasarkan *Watermark*” yang disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Komputer (S.Kom.) pada Program Studi Sistem Informasi, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin ini dapat dirampungkan.

Penulis menyadari bahwa telah mendapatkan banyak bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga pada tahap akhir penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A.** beserta jajarannya; Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si.** beserta jajarannya; Ketua Departemen Matematika, Bapak **Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.** beserta jajarannya; Ketua Program Studi Sistem Informasi, Bapak **Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc.** beserta jajarannya; serta Bapak/Ibu dosen Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas ilmu-ilmu dan bantuannya dalam berbagai bentuk.
2. Ayahanda **Dr. Suhasman, S.Hut., M.Si.**, Ibunda **Dermayana Aarsal, S.Hut., MP., Ph.D.**, Nenek tercinta **Hj. Musri**, adik tersayang **Sulhelmi Ahmad Fadhil**, dan keluarga lainnya atas segala do'a, motivasi dan bantuannya hingga penulis dapat sampai di titik yang luar biasa ini.
3. Bapak **Dr. Hendra, S.Si., M.Kom.** sebagai pembimbing utama dan Bapak **Supri Bin Hj Amir, S.Si., M.Eng.** sebagai pembimbing pertama sekaligus pendamping akademik atas kesediaan, kesabaran, dan waktu yang telah diluangkan untuk membimbing penulis selama proses penyusunan tugas akhir; Bapak **A. Muh. Amil Siddik, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Andi Muhammad**

Anwar, S.Si., M.Si. atas waktu dan kesediaannya sebagai penguji untuk tugas akhir. Terima kasih pula untuk ilmu-ilmu yang telah diberikan selama proses perkuliahan.

4. **Muhammad Syahrial Gharissah** sebagai sahabat, teman seperjuangan, saudara, penenang, penghibur, sekaligus tempat berbagi keluh kesah untuk segala bentuk pengorbanan, bantuan, motivasi dan do'anya.
5. **Muhammad Fitrah** sebagai teman sekaligus guru atas segala bimbingan, waktu, ilmu, serta petuahannya yang sangat berguna dan **Andi Amalia Dwi Ayu Sarjani** sebagai teman yang senantiasa mengingatkan, membantu, dan menemani sejak awal perkuliahan sampai penuntasan skripsi ini.
6. Teman-teman **Bangsta** yaitu **Bayti** dan **Rina** dengan segala dukungan, motivasi, dan penyemangatnya meski terhalang jarak; **Audi** dan **Ica** sebagai teman-teman sesama pejuang skripsi; **Dewayu** atas segala arahannya; serta **Fadlun** dan **Nabilah** sebagai teman-teman baik yang selalu ada sejak kecil. Terima kasih pula kepada **Fuad** dan **Autika** yang sudah menjadi sahabat penulis sejak SMA.
7. Teman-teman **Gepeng** yaitu **Dhila, Firda, Zarah, Cici, Muthi, Mira, Geby, Ekur** serta **Efit**; teman yang selalu ada dalam kondisi dan situasi apapun, **Edo**; teman-teman yang pernah sekedar menghibur atau membantu tugas selama proses perkuliahan yaitu **Ken, Alka, Rafly, Amir, Khaiz, Arizki, Nur**; dan saudara-saudara sesama mahasiswa **Sistem Informasi** khususnya **Angkatan 2017** atas kebersamaan dan segala suka dukanya selama menjadi mahasiswa Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala bentuk kontribusi, partisipasi, serta motivasi yang diberikan kepada penulis selama ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulis. Akhir kata, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini dan semoga membawa manfaat bagi pembaca.

Makassar, 18 Agustus 2021



Siti Rabiatal Adawiyah

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Rabiatal Adawiyah
NIM : H071171308
Program Studi : Sistem Informasi
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Analisis Perbandingan Kinerja Metode Canny dan Fuzzy Logic dalam
Deteksi Keaslian Mata Uang Rupiah Kertas berdasarkan Watermark**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal 18 Agustus 2021

Yang menyatakan



(Siti Rabiatal Adawiyah)

ABSTRAK

Salah satu bentuk kriminalitas akibat perkembangan teknologi adalah pemalsuan uang. Peredaran uang palsu dari tahun ke tahun terus mengalami kenaikan, sehingga identifikasi keaslian uang kertas rupiah perlu dilakukan. Identifikasi keaslian uang kertas rupiah dapat dilakukan menggunakan teknik berbasis *image processing* atau pengolahan citra. Pengolahan citra khususnya bidang digital telah berkembang kegunaannya untuk dapat dimanfaatkan dalam pengenalan kemungkinan gangguan kriminalitas, misalnya pemalsuan uang. Penelitian ini membandingkan kinerja metode deteksi tepi *canny* dengan penerapan algoritma *fuzzy logic* dalam mendeteksi tanda air pada uang rupiah kertas yang merupakan salah satu ciri keaslian uang rupiah. Citra yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 70 citra yang terdiri dari 8 gambar uang asli dan 2 gambar uang palsu untuk masing-masing nominal, yang dimulai dari nominal 1.000 sampai 100.000. Dengan menggunakan jumlah kontur yang merupakan *output* dari hasil deteksi tepi *canny* dan penerapan algoritma *fuzzy logic* terhadap tanda air uang kertas rupiah, didapatkan akurasi sebesar 96.43% untuk metode deteksi tepi *canny* dan akurasi sebesar 100% untuk penerapan algoritma *fuzzy logic*.

Kata kunci: Deteksi Tepi, *Canny*, Logika *Fuzzy*, Uang Kertas, Uang Palsu, Pemalsuan Uang, Rupiah, Tanda Air, Pengolahan Citra Digital

ABSTRACT

One form of crime due to technological developments is counterfeiting money. The circulation of counterfeit money from time to time continues to increase, so it is a necessary to identify the authenticity of rupiah's paper money. Identification of the authenticity of rupiah's paper money can be done using image processing-based techniques. Image processing, especially in the digital field, has developed its usefulness to be used in the identification of possible criminal activities or disturbances, such as counterfeiting money. This study compares the performance of the canny edge detection method with the implementation of fuzzy logic algorithms in detecting watermarks on rupiah's paper money which is one of the characteristics of the rupiah's paper money's authenticity. The images used in this study in total are 70 images, consisting of 8 images of real money and 2 images of counterfeit money for each nominal, starting from 1.000 to 100.000. By using the number of contours which were the output of the canny edge detection and the implementation of fuzzy logic algorithm to the watermark of rupiah's paper money, it is concluded that the canny edge detection obtained an accuracy of 96.43% and the implementation of fuzzy logic algorithm obtained an accuracy of 100%.

Keywords: Edge Detection, Canny, Fuzzy Logic, Paper Money, Fake Money, Counterfeiting Money, Rupiah, Watermark, Digital Image Processing

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Uang	5
2.2 Citra	7
2.2.1 Pengolahan Citra Digital	8
2.2.2 Akuisisi Citra	9
2.2.3 Segmentasi Citra	9
2.2.4 Preprocessing	10
2.2.5 Thresholding	10
2.3 Deteksi Tepi	11
2.3.1 Canny	11
2.3.2 Fuzzy Logic	14
2.4 Python.....	17
2.4.1 Open Source Computer Vision (OpenCV)	19
2.4.2 Tkinter	20

BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Tahapan Penelitian	21
3.2.1 Tahap Pra Penelitian	21
3.2.2 Tahap Penelitian.....	21
3.3 Deskripsi Data	23
3.4 Alur Penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisis Bahan Penelitian.....	25
4.2 Akuisisi Citra.....	25
4.3 <i>Preprocessing</i>	26
4.4 Perancangan Sistem.....	28
4.5 Pengujian	28
4.6 Penarikan Kesimpulan.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Security Thread</i>	6
Gambar 2.2. <i>Intaglio</i>	6
Gambar 2.3. <i>Rectoverso</i>	6
Gambar 2.4. <i>Optically Variable Ink</i>	6
Gambar 2.5. <i>Invisible Ink</i>	7
Gambar 2.6. <i>Latent Image</i>	7
Gambar 2.7. Koordinat Citra Digital	8
Gambar 2.8. Sebelum dan Sesudah <i>Canny Edge Detection</i>	12
Gambar 2.9. Contoh Kadar Gaussian dengan $\theta = 1,4$	12
Gambar 2.10. Pembagian Warna Arah Tepi	13
Gambar 2.11. Sebelum dan Sesudah <i>Fuzzy Logic Edge Detection</i>	15
Gambar 2.12. Proses <i>Computer Vision</i> mendapatkan Persepsi	19
Gambar 3.1. Tahapan Umum Penelitian	21
Gambar 3.2. Pengambilan Citra	22
Gambar 3.3. Alur Penelitian	24
Gambar 4.1. Hasil Akuisisi Citra	25
Gambar 4.2. Data Gambar Penelitian Sebelumnya	26
Gambar 4.3. Alat Pengambilan Citra	26
Gambar 4.4. Data Gambar Baru	26
Gambar 4.5. Proses <i>Cropping</i> Citra	27
Gambar 4.6. Hasil <i>Cropping</i> Citra dari Data Penelitian Sebelumnya	27
Gambar 4.7. Hasil <i>Cropping</i> Citra dari Data Baru	27
Gambar 4.8. Tampilan Awal Program	28
Gambar 4.9. Kondisi Awal	29
Gambar 4.10. Hasil Eksekusi	29

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Jumlah Kontur.....	30
Tabel 4.2. Hasil Uji	31
Tabel 4.3. Kesimpulan	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi saat ini terus berkembang dengan pesat, khususnya di bidang informatika. Saat ini, informasi yang dibutuhkan oleh setiap orang sangat mudah didapatkan. Hal ini berlaku di segala aspek kehidupan sehari-hari. Akan tetapi, perkembangan teknologi informasi saat ini juga secara langsung maupun tidak langsung menjadi pedang bermata dua. Alasannya adalah karena selain memberikan kontribusi dan kemudahan bagi peningkatan kesejahteraan serta kemajuan dalam peradaban manusia, hal tersebut sekaligus menjadi sarana efektif melakukan perbuatan melawan hukum (Agus & Riskawati, 2016). Seiring dengan kemajuan teknologi informasi, tindakan kriminal yang timbul dengan memanfaatkan kemajuan teknologi juga meningkat. Kriminalitas yang dimaksud merupakan tindakan yang melanggar aturan undang-undang yang dapat meresahkan masyarakat (Dewi dkk, 2018). Salah satu tindakan kriminal yang memanfaatkan kemajuan teknologi adalah pembuatan uang palsu.

Peredaran uang palsu dari tahun ke tahun terus mengalami kenaikan. Dikatakan bahwa kenaikan ini dikarenakan oleh mudahnya mendapatkan informasi cara membuat uang palsu di internet dengan perkembangan teknologi saat ini. Terlebih lagi dengan perkembangan teknologi *printer* berwarna yang bahkan mempermudah para pelaku tindak kejahatan pemalsuan uang (Sani dkk, 2016). Uang palsu yang banyak beredar terdiri dari pecahan Rp. 20.000 hingga pecahan Rp. 100.000. Sulitnya membedakan uang asli dengan palsu mengharuskan masyarakat untuk meningkatkan kewaspadaannya terhadap keaslian uang yang dimiliki.

Akibatnya, identifikasi keaslian uang kertas rupiah perlu dilakukan. Berdasarkan catatan *detikFinance* yang dirangkum dari data resmi Bank Indonesia, pada tahun 2016 rasio uang palsu mencapai 13 per satu juta uang yang beredar, kemudian turun pada 2017 menjadi 9 per satu juta uang yang beredar. Di keseluruhan tahun 2018, rasio peredaran uang palsu kembali meningkat menjadi 12 uang palsu per satu juta uang yang beredar. Pada tahun 2019 rasio peredaran uang

palsu turun menjadi 8 lembar per satu juta uang yang beredar (Laucereno, 2020). Uang asli itu sendiri memiliki salah satu ciri khas berupa *watermark*, sehingga diperlukan suatu teknologi yang bisa digunakan untuk mengetahui ada tidaknya *watermark* pada uang kertas rupiah.

Dalam pengidentifikasian keaslian uang kertas rupiah ada beberapa teknik yang bisa dilakukan, misalnya yang berbasis *image processing* atau biasa disebut pengolahan citra digital. Pengolahan citra digital merupakan teknik mengolah citra yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin komputer yang dapat berupa foto maupun gambar bergerak (Effendi dkk, 2017). Pada proses segmentasi berbasis pengolahan citra digital, deteksi tepi merupakan pendekatan yang paling umum untuk pendeteksian diskontinuitas nilai intensitas (Wibowo dkk, 2014). Metode dalam pendeteksian tepi cukup banyak, sehingga kita terkadang kesulitan untuk menentukan metode manakah yang paling sesuai untuk aplikasi yang akan dibuat. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk menganalisis perbandingan kinerja antar salah satu metode pendeteksian tepi yaitu metode *canny* dan metode logika *fuzzy* untuk menentukan implementasi yang paling akurat dalam deteksi keaslian mata uang rupiah kertas berdasarkan *watermark*nya. Digunakan metode *canny* sebagai acuan karena metode tersebut dinilai sangat baik digunakan untuk mendeteksi tepi citra (Mamta & Singh, 2009).

Adapun dalam penelitian ini menggunakan beberapa sumber pustaka baik digunakan sebagai referensi, pedoman, maupun pembanding dalam melakukan penelitian. Penggunaan pustaka tersebut dapat ditinjau dari beberapa aspek seperti objek penelitian, metode yang digunakan serta hasil dan kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian.

E. K. Kaur dkk (2010) mengenai deteksi tepi citra berbasis logika *fuzzy* menggunakan matlab membangun sistem deteksi tepi dengan inferensi *fuzzy* kemudian membandingkan hasilnya dengan metode *sobel*, dan hasil yang didapatkan adalah bahwa deteksi tepi dengan inferensi algoritma logika *fuzzy* memiliki kinerja yang lebih baik daripada metode *sobel*.

P. A. Khaire dkk (2012) menerapkan inferensi logika *fuzzy* untuk deteksi tepi dan memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode deteksi

tepi *canny*. Berdasarkan penelitian ini, deteksi menggunakan algoritma logika *fuzzy* mampu mereduksi jumlah kesalahan piksel tepi yang dihasilkan dan menghasilkan jumlah tepi rangkap yang minimum.

Rusydi Umar dkk (2018) mengenai sistem identifikasi keaslian uang kertas rupiah menggunakan metode *k-means clustering* mengemukakan bahwa untuk mengidentifikasi keaslian uang kertas rupiah dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi ciri *local binary pattern* dan metode klasifikasi *k-means cluster* dengan menggunakan rumus *Euclidean Distance* dari hasil ekstraksi fitur, baik berupa warna, tekstur, dan angka pada citra uang kertas dan sangat mempengaruhi tingkat akurasi yang dihasilkan dengan akurasi tertinggi yaitu 96,67 %. Selain itu, proses cropping pada citra uang dan ukuran pixel gambar, juga mempengaruhi tingkat akurasi yang dihasilkan. Semakin besar ukuran pixel gambar maka dapat mencapai akurasi tertinggi. Begitu juga sebaliknya, jika ukuran pixel gambar kecil, maka akurasi yang dihasilkan akan menjadi buruk.

Miladiah dkk (2019) mengenai implementasi *local binary pattern* untuk deteksi keaslian mata uang rupiah mengemukakan bahwa perhitungan rata-rata hasil pengujian untuk seluruh data dengan metode klasifikasi *k-nearest neighbour* (*k-nn*) diperoleh nilai akurasi 95% dengan $k=1$, dimana 95% terdeteksi benar dan 5% terdeteksi salah.

Agung Rilo Pambudi dkk (2020) mengenai deteksi keaslian uang kertas berdasarkan *watermark* dengan pengolahan citra digital menggunakan metode deteksi tepi *canny* dalam prosesnya dan menyimpulkan bahwa hasil evaluasi dari deteksi keaslian uang kertas rupiah mencapai 85,71% tingkat keberhasilan atau akurasinya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dipecahkan melalui penelitian ini pada dasarnya tidak lepas dari ruang lingkup latar belakang yang telah dijelaskan, yaitu:

1. Bagaimana implementasi teknik deteksi tepi dengan metode *canny* dan metode logika *fuzzy* dalam deteksi keaslian uang kertas rupiah berdasarkan *watermarknya*?
2. Bagaimana akurasi performa metode *canny* dan logika *fuzzy* dalam deteksi keaslian uang kertas rupiah berdasarkan *watermarknya*?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah tetap berada dalam batasan yang diinginkan dan tidak menyimpang terlalu jauh melewati batas yang akan dibahas dari permasalahan sebenarnya, maka batasan masalah yang dititikberatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Kondisi uang kertas yang digunakan untuk penelitian ini dalam keadaan baik, tidak terlipat dan tidak ada coretan.
2. Citra yang diambil berupa tampilan kertas tepat di posisi *watermark* berada.
3. *Dataset* yang digunakan diambil dari penelitian sebelumnya yang sejenis, berjudul “Deteksi Keaslian Uang Kertas Berdasarkan *Watermark* dengan Pengolahan Citra Digital”.
4. Citra uang palsu merupakan citra uang asli yang di-*scan*.
5. Metode yang digunakan hanya metode *canny* dan logika *fuzzy*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat sistem deteksi keaslian uang kertas rupiah menggunakan metode *canny* dan logika *fuzzy*.
2. Membandingkan kinerja metode *canny* dan logika *fuzzy* dalam deteksi keaslian uang kertas rupiah.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat membantu masyarakat Indonesia dalam menentukan keaslian uang kertas rupiah serta memudahkan penelitian terkait dalam menentukan metode terbaik yang bisa digunakan dalam deteksi keaslian uang kertas rupiah berdasarkan tingkat akurasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uang

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia atau yang biasa disingkat KBBI, uang adalah alat bantu tukar atau standar dari pengukur nilai (kesatuan hitungan) yang sah, dikeluarkan oleh pemerintah suatu negara berupa kertas, emas, perak atau logam-logam lain yang dicetak dengan bentuk dan gambar tertentu. Hampir semua kegiatan ekonomi menggunakan uang dalam transaksinya. Tanpa uang, perekonomian akan sulit berkembang. Uang yang dikenal terutama adalah uang kertas, uang logam, uang giral, serta berbagai jenis uang lain yang mempunyai daya beli seperti uang (Hasoloan, 2010).

Uang kertas rupiah adalah uang dalam bentuk lembaran yang terbuat dari bahan kertas atau bahan lainnya (yang menyerupai kertas) yang dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia, dalam hal ini Bank Indonesia, dimana penggunaannya dilindungi oleh UU No.23 tahun 1999 dan sah digunakan sebagai alat tukar pembayaran di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (Wicaksono, 2008)

Untuk mengamankan uang rupiah dari tindakan pemalsuan, uang rupiah memiliki beberapa tanda tertentu secara khusus. Dikutip dari data Bank Indonesia, dikatakan bahwa penetapan ciri-ciri uang menganut suatu prinsip bahwa semakin besar nilai nominal uang maka semakin banyak pula unsur pengaman atau *security features* dari uang tersebut. Secara umum, ciri-ciri keaslian uang rupiah dapat dikenali berupa unsur pengaman yang tertanam pada bahan uang dan teknik cetak yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. *Watermark* (tanda air) berupa gambar yang dapat dilihat saat diterawang dengan bantuan cahaya.
2. *Security thread* (benang pengaman) yang ditanam atau dianyam di tengah kertas hingga terlihat seperti garis lurus yang vertikal serta berpendar jika disinari ultraviolet. Ilustrasi *Security Thread* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1. *Security Thread*

3. *Intaglio* (cetak dalam) yang akan terasa kasar saat diraba. Ilustrasi *Intaglio* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2. *Intaglio*

4. *Rectoverso* (gambar saling isi) yaitu teknik pencetakan suatu bentuk di bagian depan dan belakang yang akan saling menyatu atau mengisi saat diterawang dengan bantuan cahaya. Ilustrasi *Rectoverso* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3. *Rectoverso*

5. *Optically variable ink* (tinta berubah warna) yaitu tinta yang warnanya akan berubah saat dilihat dari sudut pandang yang berbeda-beda. Ilustrasi *Optically Variable Ink* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Gambar 2.4. *Optically Variable Ink*

6. *Invisible ink* (tinta tidak tampak) yang hanya akan terlihat dan berpendar saat disinari ultraviolet. Ilustrasi *Invisible Ink* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Gambar 2.5. *Invisible Ink*

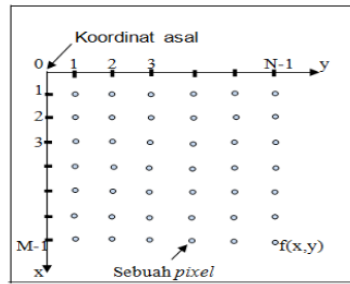
7. *Latent image* (gambar tersembunyi) yang didalamnya meliputi gambar tersembunyi yang hanya bisa dilihat dari sudut pandang tertentu. Ilustrasi *Latent Image* pada uang kertas rupiah yang asli dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6. *Latent Image*

2.2 Citra

Citra pada dasarnya adalah suatu gambaran atau representasi kemiripan dari suatu objek. Citra analog tidak dapat direpresentasikan dalam komputer, sehingga tidak bisa diproses dengan komputer secara langsung. Agar bisa diolah dengan komputer, sebuah citra analog harus dikonversi menjadi citra digital. Citra digital yang dimaksud adalah citra yang bisa diolah menggunakan komputer (Andono dkk, 2017). Citra sebagai keluaran suatu sistem perekaman data dapat bersifat optik berupa foto, bersifat analog berupa sinyal-sinyal video seperti gambar pada monitor televisi atau bersifat digital yang dapat langsung disimpan pada suatu media penyimpanan (Putra, 2010).

Citra dapat didefinisikan sebagai fungsi $f(x,y)$ berukuran M baris dan N kolom, dengan x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitudo f di titik koordinat (x,y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada citra tersebut (Putra, 2010). Apabila nilai x , y , dan nilai amplitudo f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut citra digital. Adapun koordinat citra digital dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Koordinat Citra Digital

Fungsi $f(x,y)$ adalah perkalian antara kekuatan sumber cahaya (iluminasi) $r(x,y)$ terhadap objek dengan komponen refleksi objek $i(x,y)$, yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$f(x, y) = i(x, y) * r(x, y)$$

Citra digital merupakan suatu matriks dimana indeks baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya (yang disebut sebagai elemen gambar/*pixel*/piksel/*pels*/*picture element*) menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut. Matriks yang dinyatakan citra digital yaitu dengan matriks berukuran N (baris/tinggi) x M (kolom/lebar).

Pengolahan citra dilakukan dengan komputer digital, maka citra yang akan diolah terlebih dahulu ditransformasikan ke dalam bentuk besaran-besaran diskrit dari nilai tingkat keabuan pada titik-titik elemen citra. Bentuk citra ini disebut citra digital. Setiap citra digital memiliki beberapa karakteristik, antara lain ukuran citra, resolusi dan format lainnya. Umumnya citra digital berbentuk persegi panjang yang memiliki lebar dan tinggi tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam banyaknya titik atau piksel (Utama, 2011).

2.2.1 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra merupakan bidang yang bersifat multi disiplin yang terdiri dari beberapa aspek, seperti fisika (optik, nuklir, gelombang, dll), elektronika, matematika, seni, fotografi dan teknologi komputer (Muwardi & Fadlil, 2018). Secara umum, pengolahan citra digital itu sendiri merujuk pada pemrosesan gambar dua dimensi yang menggunakan komputer sebagai basisnya. Dalam konteks yang lebih luas, pengolahan citra digital mengacu pada pemrosesan data dua dimensi. Citra digital merupakan sebuah *array* yang berisi nilai-nilai *real* maupun kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu (Putra, 2010).

Pengolahan citra digital berkaitan erat dengan disiplin ilmu yang mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan perbaikan kualitas gambar, transformasi gambar, melakukan pemilihan ciri citra yang optimal untuk tujuan analisis, melakukan proses penarikan informasi atau deskripsi objek atau pengujian objek yang terkandung pada citra, melakukan kompresi atau reduksi data untuk tujuan penyimpanan data, transmisi data, dan waktu proses data. *Input* dari pengolahan citra adalah citra, sedangkan *output*-nya adalah citra hasil pengolahan (Annisa dkk, 2020).

2.2.2 Akuisisi Citra

Akuisisi citra biasanya merupakan tahap awal untuk mendapatkan citra digital. Akuisisi citra bertujuan untuk menentukan data yang dibutuhkan dan memilih metode mana yang akan digunakan dalam perekaman citra digital. Tahap ini dimulai dari persiapan alat-alat sampai pada pencitraan (Kusumadewa & Supatman, 2018). Pencitraan itu sendiri merupakan kegiatan transformasi dari citra yang tampak misalnya foto, gambar, lukisan, patung dan lain-lain menjadi citra digital yang biasanya dilakukan melalui kamera digital, *scanner* dan kamera konvensional.

2.2.3 Segmentasi Citra

Segmentasi citra adalah pemisahan objek yang satu dengan objek yang lain dalam suatu citra atau antara objek dengan latar yang terdapat dalam sebuah citra. Dengan proses segmentasi tersebut, masing-masing objek pada citra dapat diambil secara individu sehingga dapat digunakan sebagai input di proses lainnya. Segmentasi citra juga bisa diartikan sebagai proses pengolahan citra yang bertujuan memisahkan wilayah (*region*) objek dengan wilayah latar belakang agar objek mudah dianalisis dalam rangka mengenali objek yang banyak melibatkan persepsi visual (Nafi'iyah, 2015).

Bisa dikatakan bahwa segmentasi citra dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan objek-objek yang terkandung di dalam citra atau membagi citra ke dalam beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah memiliki kemiripan atribut. Pada citra yang mengandung hanya satu objek, objek dibedakan dari latar belakangnya. Segmentasi juga biasa dilakukan sebagai langkah awal untuk

melaksanakan klasifikasi objek. Setelah segmentasi citra dilaksanakan, fitur yang terdapat pada objek diambil. Sebagai contoh, fitur objek dapat berupa perbandingan lebar dan panjang objek, warna rata-rata objek, atau bahkan tekstur pada objek. Selanjutnya, melalui klasifikasi, jenis objek dapat ditentukan.

2.2.4 Preprocessing

Preprocessing merupakan sebuah tahap yang dilakukan untuk memperoleh citra yang lebih baik dibandingkan dengan citra asli yang kemudian dimanfaatkan untuk diolah sesuai kebutuhan. Teknik *preprocessing* digunakan untuk mempersiapkan citra agar dapat menghasilkan citra yang lebih baik pada tahap pemisahan proses penngujian pola. Teknik pra-pemrosesan sangat berkaitan dengan pengujian pola. Pengujian pola secara umum merupakan suatu ilmu yang mengklasifikasikan atau menggambarkan sesuatu berdasarkan pengukuran kuantitatif ciri atau sifat dari objek. Pola sendiri merupakan suatu entitas yang terdefinisi dan dapat diidentifikasi dan diberi nama. Salah satu contoh dari pola yaitu sidik jari. Pola merupakan kumpulan dari hasil pengukuran atau pemantauan dan dapat dinyatakan dalam notasi *vector* atau matriks (Putra, 2010).

2.2.5 Thresholding

Secara umum proses *thresholding* terhadap citra *grayscale* bertujuan menghasilkan citra biner yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Dengan $g(x, y)$ adalah citra biner dari citra *grayscale* $f(x, y)$, dan T menyatakan nilai *threshold*. Nilai T ditentukan dengan menggunakan metode *thresholding global* dan *thresholding local*. *Thresholding global* sendiri merupakan metode dengan seluruh *pixel* pada citra dikonversi menjadi hitam dan putih dengan satu nilai *thresholding* (Putra, 2010).

Analisis menerapkan *thresholding* merupakan cara mengenali citra berdasarkan nilai ambangnya. Salah satu metode mendapatkan nilai *threshold* adalah metode *Otsu* (Gusa, 2013). Metode *otsu* merupakan metode populer di antara semua metode *thresholding* dan merupakan metode terbaik dalam mendapatkan nilai *threshold* secara otomatis (Fang, Yue, & Yu, 2009).

2.3 Deteksi Tepi

Deteksi tepi yaitu suatu proses yang berfungsi untuk menentukan lokasi titik-titik yang merupakan tepi pada objek. Deteksi tepi menggunakan operasi yang dijalankan untuk mendeteksi garis tepi (*edges*) yang membatasi dua wilayah citra homogen yang memiliki tingkat kecerahan yang berbeda (Romindo & Khairina, 2017). Mencirikan batas objek dan berguna untuk proses segmentasi dan identifikasi objek adalah salah satu tujuan deteksi tepi.

Deteksi tepi adalah perubahan nilai intensitas derajat keabuan yang mendadak dalam jarak yang singkat (Reja & Santoso, 2013). Untuk mendeteksi tepi-tepi pada citra sendiri dapat menggunakan berbagai macam metode seperti metode *Sobel*, *Prewitt*, *Robert*, *Laplacian of a Gaussian*, *Canny*, dan lain-lain.

2.3.1 *Canny*

Salah satu algoritma deteksi tepi modern adalah deteksi tepi dengan menggunakan metode *Canny*. Deteksi tepi *Canny* ditemukan oleh Marr dan Hildreth yang meneliti pemodelan persepsi visual manusia. Ada beberapa kriteria pendeteksi tepian paling optimum yang dapat dipenuhi oleh algoritma *Canny* (Reja & Santoso, 2013), antara lain sebagai berikut:

1. Mendeteksi dengan baik (*low error rate*). Kemampuan untuk meletakkan dan menandai semua tepi yang ada sesuai dengan pemilihan parameter-parameter konvolusi yang dilakukan. Sekaligus juga memberikan fleksibilitas yang sangat tinggi dalam hal menentukan tingkat deteksi ketebalan tepi sesuai yang diinginkan.
2. Melokalisasi dengan baik. Dengan *Canny* dimungkinkan dihasilkan jarak yang minimum antara tepi yang dideteksi dengan tepi yang asli.
3. Respon yang jelas. Hanya ada satu respon untuk tiap tepi. Sehingga mudah dideteksi dan tidak menimbulkan kerancuan pada pengolahan citra selanjutnya.

Adapun contoh pemrosesan citra digital menggunakan deteksi tepi *Canny* dengan citra *grayscale* sebagai citra asli dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Gambar 2.8. Sebelum dan Sesudah *Canny Edge Detection*

Dalam implementasinya, deteksi tepi *Canny* terdiri dari lima langkah (Zalukhu, 2016), yaitu sebagai berikut:

1. *Image smoothing*. Dilakukan *filtering* terhadap citra dengan tujuan untuk menghilangkan *noise* menggunakan *filter Gaussian* dengan kadar sederhana, dengan ketentuan kadar yang digunakan berukuran jauh lebih kecil dari ukuran citra. Contoh kadar *Gaussian* dapat dilihat pada Gambar 2.9.

$1/15$

2	4	5	4	2
4	9	12	9	4
5	12	15	12	5
4	9	12	9	4
2	4	5	4	2

Gambar 2.9. Contoh Kadar Gaussian dengan $\theta = 1,4$

2. *Finding gradien*. Setelah *filtering* gambar terhadap *noise* dilakukan, selanjutnya dilakukan proses kekuatan tepi atau *edge strength* dengan menggunakan operator *Gaussian*. Tepian harus ditandai pada gambar yang memiliki gradien yang besar. Digunakan operator gradien dan dilakukan pencarian secara horizontal dan vertikal.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

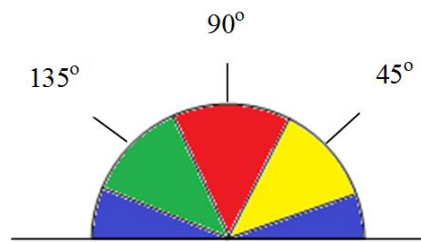
Hasil dari kedua operator kemudian digabungkan dengan rumus:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Selanjutnya menentukan arah tepian dengan menggunakan rumus:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Setelah arah tepi diperoleh, arah tepi dengan sebuah arah yang dapat dilacak dari citra perlu dihubungkan. Adapun pembagian warna arah tepi diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Pembagian Warna Arah Tepi

Semua arah tepi yang berkisar antara 0 dan 22,5 serta 157,5 dan 180 derajat (warna biru) diubah menjadi 0 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 22,5 dan 67,5 derajat (warna kuning) diubah menjadi 45 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 67,5 dan 112,5 derajat (warna merah) diubah menjadi 90 derajat. Semua arah tepi yang berkisar antara 112,5 dan 157,5 derajat (warna hijau) diubah menjadi 135 derajat.

3. *Non-maximum Suppression*. Dilakukan di sepanjang tepi dan menghasilkan piksel-piksel yang tidak dianggap sebagai tepi. Hanya nilai maksimum yang ditandai sebagai tepi. Sehingga didapatkan garis tepi yang lebih ramping.
4. *Double Thresholding*. Untuk membuat gambar biner, diterapkan dua buah *thresholding* yaitu *low thresholding* (T_1) dan *high thresholding* (T_2). Nilai yang kurang dari T_1 akan diubah menjadi hitam (nilai 0) dan nilai yang lebih dari T_2 diubah menjadi putih (nilai 255).
5. *Edge Tracking by Hysteresis*. Tepian final ditentukan dengan menekan semua sisi yang tidak terhubung dengan tepian yang kuat. Semua piksel yang terhubung dengan piksel putih yang memiliki nilai lebih besar dari T_1 juga dianggap sebagai tepi.

2.3.2 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* atau *fuzzy logic* merupakan pengembangan dari teori himpunan *fuzzy* yang diprakasai oleh Prof. Lofti Zadeh dari Universitas California USA, pada tahun 1965. Logika *Fuzzy* berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu : Ya_Tidak atau *ON_OFF* atau *High_Low* atau “1”_”0”. Sedangkan logika *fuzzy* meniru cara berfikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai (Simanjuntak, 2012).

Logika *fuzzy* merupakan modifikasi dari teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai antara 0 sampai 1. Sejak ditemukan pertama kali oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, logika *fuzzy* telah digunakan pada lingkup domain permasalahan yang cukupluas, seperti kendali, proses, klasifikasi dan pencocokan pola, manajemen dan pengambil keputusan, riset operasi, ekonomi dan lain-lain. Sejak tahun 1985, terjadi perkembangan yang sangat pesat pada logika *fuzzy*, terutama dalam hubungan yang bersifat *non-linear*, *ill-defined*, *time-varying* dan situasi-situasi yang sangat kompleks (Husni dkk, 2013).

Logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika klasik (*crisp*)/tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan (Nasution, 2012).

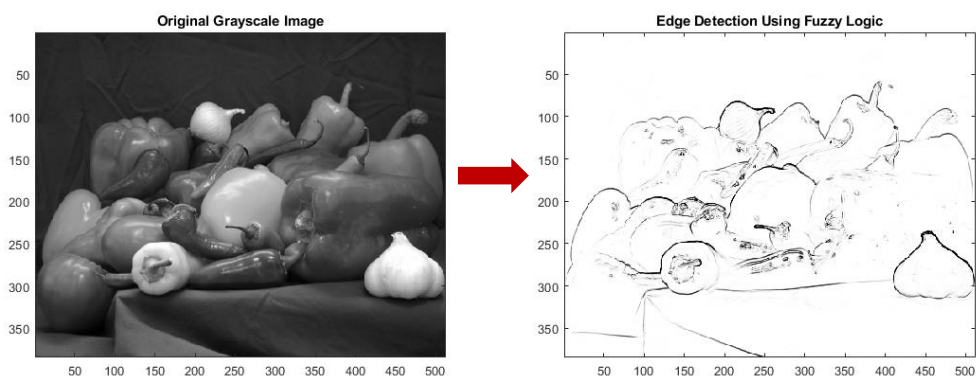
Logika *fuzzy* dipakai dalam banyak bidang termasuk pengolahan citra. *Fuzzy image processing* merupakan kumpulan pendekatan *fuzzy* pada bidang pengolahan citra untuk memahami, mempresentasikan, mengolah citra, segmentasi citra dan bagian-bagiannya sebagai himpunan *fuzzy*. *Fuzzy image processing* ada tiga tahapan utama yaitu prosesfuzzifikasi, aturan-aturan (*rules based*) dan defuzzifikasi (Putra dkk, 2017).

Logika *Fuzzy* pada dasarnya bukan merupakan salah satu dari banyaknya metode deteksi tepi, akan tetapi merupakan susunan algoritma yang dapat diterapkan dalam proses deteksi tepi. Deteksi tepi melibatkan tingkat keabuan citra yang mengarahkan pada ketidakjelasan dan ambiguitas, dua hal yang dapat

ditangani dengan baik oleh pendekatan menggunakan Logika *Fuzzy* (Nachtegael dkk, 2003).

Logika *fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Sedangkan logika klasik (*crisp*)/tegas, suatu nilai hanya mempunyai dua kemungkinan, yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan (Nasution, 2012).

Fuzzy Image Processing adalah koleksi dari semua pendekatan yang memahami, menghadirkan dan memproses citra, corak dan segmen sebagaipenetapan *fuzzy*. Penyajian dan proses tergantung pada teknik pemilihan *fuzzy* dan masalah untuk dipecahkan. *Fuzzy Image Processing* mempunyai tiga tahap utama: pertama, *image fuzzyfication* yaitu menentukan derajat dari setiap *input* pada himpunan *fuzzy* yang sesuai. Kedua, modifikasi nilai-nilai keanggotaan dengan menggunakan aturan yang sesuai. Terakhir, *image defuzzyfication* yaitu mengubah besaran *fuzzy* yang disajikan dalam bentuk *output* himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya atau nilai real. Selanjutnya *fuzzy output* akan dimasukkan pada proses defuzzifikasi untuk menghasilkan *crisp output* (Nasution, 2012). Adapun contoh pemrosesan citra digital menggunakan logika *fuzzy* dengan citra *grayscale* sebagai citra asli dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Sebelum dan Sesudah *Fuzzy Logic Edge Detection*

Metode kerja Logika *Fuzzy* meliputi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. **Fuzzifikasi**, Fuzzifikasi adalah pengubahan seluruh variabel *input / output* ke bentuk himpunan *fuzzy*. Rentang nilai variabel *input* dikelompokkan menjadi beberapa himpunan *fuzzy* dan tiap himpunan mempunyai derajat keanggotaan tertentu (Yulianto dkk, 2009). Pada tahap ini yaitu menentukan *crisp input* x_1 dan y_1 kemudian menentukan derajat atau tingkatan dari setiap *input* pada himpunan *fuzzy* yang sesuai. *Crisp input* selalu memiliki nilai kuantitatif yang dibatas oleh himpunan semesta (Thedean & Sugiarto, 2008). Bentuk fuzzifikasi menentukan derajat keanggotaan suatu nilai rentang *input/output*. Derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* dihitung dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan dari segitiga fuzzifikasi (Yulianto dkk, 2009).

Adapun penentuan batas warna dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{Black} [x_1] = \begin{cases} 1 & x_1 \leq 0 \\ \frac{(127,5 - x_1)}{(127,5 - 0)} & 0 \leq x_1 \leq 127,5 \\ 0 & x_1 \geq 127,5 \end{cases}$$

$$\mu_{Gray} [x_1] = \begin{cases} 0 & x_1 \leq 0 \text{ atau } x_1 \geq 255 \\ \frac{(x_1 - 0)}{(127,5 - 0)} & 0 \leq x_1 \leq 127,5 \\ \frac{(255 - x_1)}{(255 - 127,5)} & 127,5 \leq x_1 \leq 255 \end{cases}$$

$$\mu_{White} [x_1] = \begin{cases} 0 & x_1 \leq 127,5 \\ \frac{(x_1 - 127,5)}{(255 - 127,5)} & 127,5 \leq x_1 \leq 255 \\ 1 & x_1 \geq 255 \end{cases}$$

Melalui rumusan tersebut dijelaskan bahwa *black* digunakan untuk batas warna hitam pada himpunan *fuzzy*, *gray* untuk batas warna abu-abu himpunan *fuzzy*, dan *white* untuk batas warna putih himpunan *fuzzy*

(Yulianto dkk, 2009). Adapun $x1$ merupakan *pixel* gambar, kemudian penentuan batas warna dilakukan *pixel per pixel* untuk menentukan *pixel* yang diuji masuk ke dalam himpunan warna hitam, abu-abu atau putih.

2. **Rule Based.** Aturan dasar (*rule based*) pada logika fuzzy merupakan suatu bentuk aturan relasi / implikasi “Jika-maka” atau “*If-then*” (Prasetyo, 2011). Aturan dasar ini merupakan proses pengambilan keputusan (*inference*) yang berdasarkan aturan-aturan yang ditetapkan pada basis aturan (*rules based*) untuk menghubungkan antar peubah-peubah *fuzzy input* dan peubah *fuzzy output*. Aturan-aturan ini berbentuk jika ... maka (*IF ... THEN*). Pada tahap ini, hasil dari fuzzifikasi pada setiap *rule* akan dilihat kembali. Apabila *rule* ditemukan “AND” maka akan dicari nilai minimumnya, sedangkan jika ditemukan “OR” maka akan dicari nilai maksimumnya (Thedean & Sugiarto, 2008).

$$\mu_{a \cup b}(x) = \max [\mu_A(x) \mu_B(x)]$$

atau

$$\mu_{a \cap b}(x) = \min [\mu_A(x) \mu_B(x)]$$

3. **Defuzzifikasi.** *Input* dari proses defuzzifikasi adalah himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut, sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai keluarannya (Sutikno & Waspada, 2016).

2.4 Python

Bahasa pemrograman *python* ini pertama kali dibuat oleh Guido van Rossum pada awal tahun 1990 di negeri Belanda sebagai pengganti bahasa pemrograman yang disebut ABC. Walaupun Guido adalah orang yang pertama kali menciptakan bahasa pemrograman ini, tetapi bahasa pemrograman *python* yang digunakan sekarang merupakan kontribusi dari berbagai sumber. Bahasa pemrograman *python* merupakan bahasa pemrograman yang dapat dikembangkan oleh siapa saja karena bersifat *Open Source* atau dengan kata lain bahasa

pemrograman ini gratis, dapat digunakan tanpa lisensi, dan dapat dikembangkan semampu yang dapat dilakukan (Kurniawan dkk, 2011).

Python adalah salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat *interpreter, interactive, object oriented*, dan dapat beroperasi hampir di semua platform: Mac, Linux, dan Windows. *Python* termasuk bahasa pemrograman yang mudah dipelajari karena sintaks yang jelas, dapat dikombinasikan dengan penggunaan modul-modul siap pakai, dan struktur data tingkat tinggi yang efisien (Kadir, 2005).

Python adalah bahasa pemrograman yang bersifat *open source*. Bahasa pemrograman ini dioptimalisasikan untuk *software quality, developer productivity, program portability*, dan *component integration*. *Python* telah digunakan untuk mengembangkan berbagai macam perangkat lunak, seperti internet *scripting*, *systems programming, user interfaces, product customization, numeric programming* dll (Lutz, 2010).

Menurut Lutz, bahasa pemrograman *python* memiliki beberapa fitur yang dapat digunakan oleh pengembang perangkat lunak. Berikut adalah beberapa fitur yang ada pada bahasa pemrograman *python*:

1. *Multi Paradigm Design*
2. *Open Source*
3. *Simplicity*
4. *Library Support*
5. *Portability*
6. *Extendable*
7. *Scalability*

Sebenarnya bahasa pemrograman *python* ini mudah dipelajari karena penulisan sintaks yang lebih fleksibel. Selain itu, bahasa pemrograman *python* ini memiliki efisiensi tinggi untuk struktur data level tinggi, pemrograman berorientasi objek lebih sederhana tetapi efektif, dapat bekerja pada multi platform, dan dapat digabungkan dengan bahasa pemrograman lain untuk menghasilkan aplikasi yang diinginkan.

2.4.1 Open Source Computer Vision (OpenCV)

Vision secara bahasa bisa diartikan penglihatan. *Vision* juga bisa diartikan sebagai suatu proses pengamatan apa yang ada pada dunia nyata melalui panca indra penglihatan manusia. Adapun *computer vision* adalah suatu pembelajaran menganalisis gambar dan video untuk memperoleh hasil sebagaimana yang bisa dilakukan manusia. Pada hakikatnya, *computer vision* mencoba meniru cara kerja sistem visual manusia (*human vision*). Manusia melihat objek dengan indera penglihatan (mata), lalu citra objek diteruskan ke otak untuk diinterpretasi sehingga manusia mengerti objek apa yang tampak dalam pandangan matanya. Hasil interpretasi ini mungkin digunakan untuk pengambilan keputusan (Irianto, 2010). Adapun proses *computer vision* mendapatkan persepsi dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Proses *Computer Vision* mendapatkan Persepsi

OpenCV sendiri merupakan singkatan dari *Intel Open Source Computer Vision Library* yang sekurang-kurangnya terdiri dari 300 fungsi-fungsi C, bahkan bisa lebih. *Software* ini gratis, dapat digunakan dalam rangka komersil maupun non komersil, tanpa harus membayar lisensi ke intel. *OpenCV* dapat beroperasi pada komputer berbasis windows ataupun linux.

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) adalah *library computer vision open source* dan merupakan *software pembelajaran*. *OpenCV* dibangun untuk menyediakan infrastruktur umum untuk aplikasi *computer vision* dan untuk mempercepat penggunaan persepsi mesin dalam produk aplikasi komersial. *OpenCV* memudahkan bisnis dalam melakukan pemanfaatan dan pemodifikasian. Kode *library* ini memiliki lebih dari 2500 algoritma yang dapat dioptimalkan, yang mencakup satu set lengkap *computer vision* klasik dan *state-of-the-art computer vision* serta algoritma *machine learning*. *OpenCV* adalah metode yang paling cepat dan memiliki *library* paling lengkap untuk *computer vision* (Mistry & Saluja, 2016).

Library OpenCV adalah suatu cara penerapan bagi komunitas *open source vision* yang sangat membantu dalam kesempatan meng-*update* penerapan *computer vision* sejalan dengan pertumbuhan PC (*Personal Computer*) yang terus berkembang. *Software* ini menyediakan sejumlah fungsi-fungsi *image processing*, seperti halnya dengan fungsi-fungsi analisis gambar dan pola (Irianto, 2010).

Beberapa contoh aplikasi dari *OpenCV* adalah pada *Human-Computer Interaction* (Interaksi Manusia-Komputer); *Object Identification* (Identifikasi Objek), *Segmentation* (Segmentasi), dan *Recognition* (Pengenalan); *Face Recognition* (Pengenalan Wajah); *Gesture Recognition* (Pengenalan Gerak Isyarat), *Motion Tracking* (Penjajakan Gerakan), *Ego Motion* (Gerakan Ego), dan *Motion Understanding* (Pemahaman Gerakan); *Structure From Motion* (Gerakan Dari Struktur); dan *Mobile Robotics* (Robot-Robot Yang Bergerak).

2.4.2 Tkinter

Library yang secara langsung diringkas di dalam *python* dan bisa bekerja berdasarkan *toolkit* namun juga tersedia di dalam *python* itu sendiri disebut *library Tkinter*. *Tool Command Language* (TCL) mempunyai *graphic interface* dari *Tkinter* yang memudahkan pembuatan program ataupun menjalankan program karena *interface* yang digunakan termasuk mudah untuk dipahami.

Tkinter merupakan *graphic library* yang dapat memberikan kemudahan dalam pembuatan program berbasis grafis. Setiap GUI *toolkit* menyediakan *widget*, yaitu objek *user interface* seperti *button*, *scrollbar*, *listbox*, *checkboxbutton*, *label text* dan lain sebagainya (Anam dkk, 2021).

Library Tkinter merupakan *library* standar yang digunakan untuk membuat aplikasi berbasis GUI (*Graphic User Interface*) pada bahasa pemrograman *python*. Di dalam pembuatan sebuah GUI biasanya terdapat berbagai macam objek atau *widget*. *Widget* adalah objek yang ditampilkan dalam sebuah GUI untuk berinteraksi dengan *user*. *Tkinter* menyediakan suatu *widget* tombol (*TkinterButton*), *widget* label (*TkinterLabel*) dan sebagainya. Namun sebelum membuat aplikasi berbasis GUI yang menggunakan *library Tkinter*, *library* tersebut terlebih dahulu harus di-*import* agar dapat diakses (Erik dkk, 2008).

BAB III

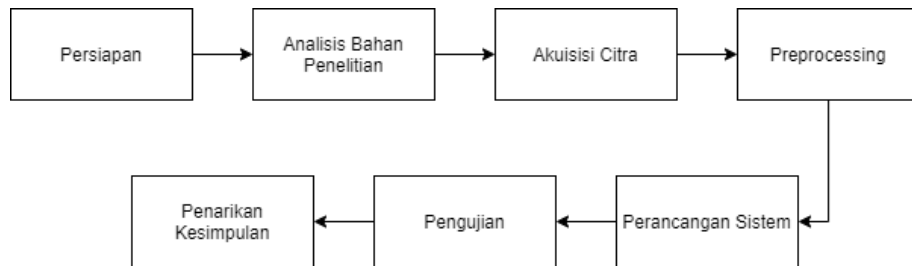
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan April sampai dengan bulan Juni 2021. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Objek Digital Program Studi Sistem Informasi, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini terbagi atas dua tahap, yaitu tahap persiapan dan tahap penelitian. Tahap persiapan atau pra-penelitian dilaksanakan sebelum melakukan penelitian yang merupakan tahap terpenting dimana dalam tahap ini akan dilakukan pengolahan citra digital sesuai dengan metode dan algoritma yang telah ditetapkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sebabakibat dari suatu kejadian. Adapun tahapan penelitian secara umum dan keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tahapan Umum Penelitian

3.2.1 Tahap Pra Penelitian

Pada tahap ini dilakukan perancangan, pelaksanaan secara konseptual, operasional, persiapan instrumen penelitian dan sebagainya. Dilakukan pula penentuan tema atau topik penelitian, merumuskan masalah yang terkait dengan penelitian, menentukan variabel, pengumpulan referensi atau literatur seperti jurnal dan buku yang dapat mendukung proses penelitian.

3.2.2 Tahap Penelitian

Tahap ini akan melewati beberapa tahap penelitian, yaitu: