

**IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR
MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN ISI
ULANG MENGGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR
DETECTION**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Kelulusan
Jenjang Strata Satu pada Program Studi Teknik Informatika**

Oleh
Ardeka Pransiska
2255201046



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN
IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR MINUM
DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN IS ULANG
MENGGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR DETECTION

Oleh
Ardeka Fransiska
2255201046

Tugas Akhir ini telah Diterima dan Disahkan
untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Gelar
SARJANA KOMPUTER (S.Kom)

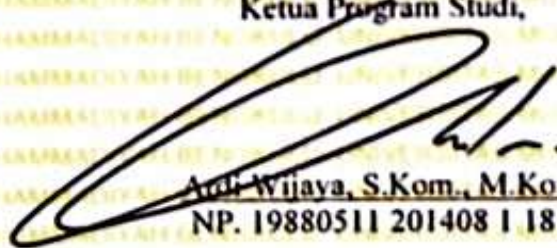
Pada
PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

Bengkulu, 06 Agustus 2026

Disetujui oleh

Ketua Program Studi,

Dosen Pembimbing,


Andi Wijaya, S.Kom., M.Kom
NP. 19880511 201408 1 181


Yuza Re-awan, S.Kom., M.Kom
NIDN. 0214117801

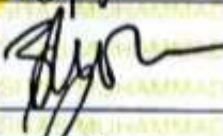
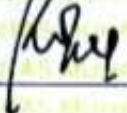
LEMBAR PERSETUJUAN HASIL REVISI

IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN IS ULANG MENGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR DETECTION

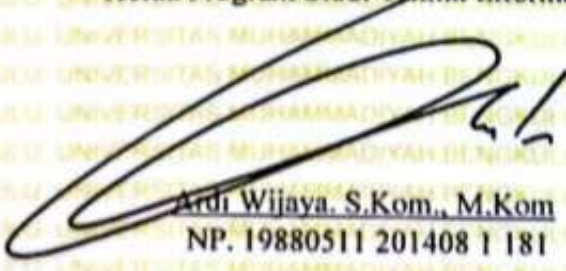
Oleh
Ardeka Pransiska
2255201046

Telah Melakukan Revisi Sesuai dengan Perubahan
dan Perbaikan yang Diminta Pada Saat Sidang Tugas Akhir.

Bengkulu, 01 September 2026
Menyetujui

No	Nama Dosen	Keterangan	Tanda Tangan
1.	Dr. Erwin Dwika Putra, S.Kom., M.Kom	Ketua Penguji	
2.	Muntahanah, S.Kom., M.Kom	Penguji 1	
3.	Yuza Reswan, S.Kom., M.Kom	Penguji 2	

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Informatika


Ardi Wijaya, S.Kom., M.Kom
NP. 19880511 201408 1 181

LEMBAR PENGESAHAN

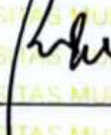
IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN IS ULANG MENGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR DETECTION

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Kelulusan
Jenjang Strata Satu Pada Program Studi Teknik Informatika

Oleh
Ardeka Pransiska
2255201046

Bengkulu, 01 September 2026

No	Nama Dosen	Keterangan	Tanda Tangan
1.	Dr. Erwin Dwika Putra, S.Kom., M.Kom	Ketua Penguji	
2.	Muntahanah, S.Kom., M.Kom	Penguji 1	
3.	Yuza Reswan, S.Kom., M.Kom	Penguji 2	

Mengesahkan
Dean Fakultas Teknik



RG Guntur Alam, M.Kom., Ph.D
NP. 19730101 200004 1 040

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

- 1) Naskah Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Muhammadiyah Bengkulu maupun perguruan tinggi lainnya.
- 2) Skripsi ini murni merupakan karya penelitian saya sendiri dan tidak menjiplak karya pihak lain. Dalam hal ada bantuan atau arahan dari pihak lain maka telah saya sebutkan identitas dan jenis bantuannya di dalam lembar ucapan terima kasih.
- 3) Seandainya ada karya pihak lain yang ternyata memiliki kemiripan dengan karya saya ini, maka hal ini adalah di luar pengetahuan saya dan terjadi tanpa kesengajaan dari pihak saya.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terbukti adanya kebohongan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai norma yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

Bengkulu, 01 Agustus 2026

Hormat Saya,



Ardeka
Ardeka Pransiska
2255201046

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Identitas Pribadi



Nama : Ardeka Pransiska
TTL : Lawang-Agung 03 Novenber 2004
Agama : Islam
Anak Ke : 5
Alamat : Lawang-Agung
Email : ardekapransiska0@gmail.com

2. Nama Orang Tua

Ayah : Maslan
Pekerjaan : Pegawai Negeri Sipil (PNS)
Ibu : Ludi Hartuti
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga

3. Riwayat Pendidikan

1. SDN 68 Kedurang : 2010-2016
2. SMPN 08 Kedurang : 2016-2019
3. SMAN 04 Kedurang : 2019-2022
4. Universitas Muhammadiyah Bengkulu : 2022-2026

MOTTO

"Allah memang tidak menjanjikan hidupmu akan selalu mudah, tapi dua kali Allah berjanji bahwa: fa inna ma'al- 'usri yusra, inna ma'al-usri yusra"

(QS. Al-Insyirah 94: 5-6)

"Setetes keringat perjuangan orang tuaku yang jatuh, ada beribu langkah untuk maju"



ABSTRAK

IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN ISI ULANG MENGGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR DETECTION

Nama : Ardeka Pransiska
NPM : 2255201046
Dosen Pembimbing : Yuza Reswan, S.Kom., M.Kom

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang dapat ditemukan pada air minum. Proses identifikasi mikroplastik melalui pengamatan mikroskop secara manual membutuhkan waktu dan dapat mengalami keterbatasan dalam proses pengamatan. Penelitian ini bertujuan menerapkan algoritma *Contour Detection* berbasis OpenCV untuk mendeteksi dan menghitung partikel mikroplastik berdasarkan karakteristik visual pada citra digital. Proses identifikasi dilakukan melalui beberapa tahapan pengolahan citra, yaitu *resize*, konversi citra ke *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, operasi morfologi *opening* dan *closing*, deteksi kontur menggunakan fungsi *findContours()*, serta seleksi kontur berdasarkan karakteristik geometris objek. Hasil deteksi kemudian digunakan untuk menghitung jumlah partikel, luas (*area*), dan diameter partikel. Pengujian dilakukan menggunakan 22 citra yang mewakili dua sampel penelitian, yaitu 11 citra air minum kemasan bermerek dan 11 citra air galon isi ulang. Hasil deteksi sistem dibandingkan dengan *Ground Truth* berdasarkan koordinat objek untuk memperoleh nilai *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), *True Negative* (TN), dan *False Negative* (FN). Berdasarkan 21 citra yang memiliki data hasil pengujian dari total 22 citra uji, diperoleh 128 titik *Ground Truth* dengan TP = 101, FP = 3, TN = 0, dan FN = 37. Hasil evaluasi menunjukkan nilai *Precision* sebesar 97,12%, *Recall* sebesar 73,19%, *Accuracy* sebesar 71,63%, dan *F1-Score* sebesar 83,47%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma *Contour Detection* dapat digunakan untuk mendeteksi dan menghitung partikel mikroplastik pada citra digital. Namun, masih terdapat beberapa objek yang belum berhasil terdeteksi, terutama objek yang berukuran kecil, tipis, atau memiliki bentuk dan batas yang kurang jelas.

Kata kunci: Mikroplastik, *Contour Detection*, OpenCV, *Digital Image Processing*, *Computer Vision*.

ABSTRACT
IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR
MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN ISI
ULANG MENGGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR
DETECTION

Name : Ardeka Pransiska
Student ID : 2255201046
Supervisor : Yusa Reswan, S.kom.,M.Kom

Microplastics are plastic particles measuring less than 5 mm that can be found in drinking water. The manual identification of microplastics through microscopic observation requires time and may have limitations during the observation process. This study aims to apply the OpenCV-based Contour Detection algorithm to detect and count microplastic particles based on their visual characteristics in digital images. The identification process is carried out through several image processing stages, namely resize, conversion of the image to grayscale, Gaussian Blur, thresholding, morphological operations of opening and closing, contour detection using the findContours() function, and contour selection based on the geometric characteristics of the objects. The detection results are then used to calculate the number of particles, area, and diameter of the detected particles. Testing was conducted using 22 images representing two research samples, namely 11 images of branded bottled drinking water and 11 images of refill drinking water. The system detection results were compared with the Ground Truth based on object coordinates to obtain the values of True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), and False Negative (FN). Based on 21 images with test results out of a total of 22 test images, 128 Ground Truth points were obtained, with $TP = 101$, $FP = 3$, $TN = 0$, and $FN = 37$. The evaluation results showed a Precision value of 97.12%, Recall of 73.19%, Accuracy of 71.63%, and F1-Score of 83.47%. These results indicate that the Contour Detection algorithm can be used to detect and count microplastic particles in digital images. However, several objects were still not successfully detected, particularly objects that were small, thin, or had unclear shapes and boundaries.

Keywords: Microplastics, Contour Detection, OpenCV, Digital Image Processing, Computer Vision.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, wr. wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas berkat, rahmat, ridho dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul ***"IDENTIFIKASI PARTIKEL MIKROPLASTIK PADA AIR MINUM DALAM KEMASAN GALON BERMEREK DAN ISI ULANG MENGGUNAKAN ALGORITMA CONTOUR DETECTION"*** Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam yang selalu menjadi tauladan bagi kita semua. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas bantuan dan bimbingan dalam pembuatan skripsi ini, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Susiyanto, MSi selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Bengkulu
2. Bapak RG Guntur Alam, M.Kom, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu
3. Ardi Wijaya, S.Kom., M.Kom selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Bengkulu
4. Yuza Reswan, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan proposal skripsi.
5. Serta seluruh Dosen dan staf Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
6. Kedua orang tua dan kakak penulis, yang senantiasa memberikan doa,

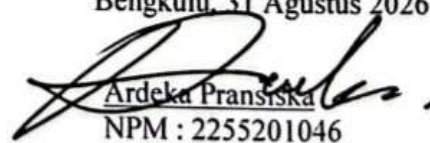
dukungan, kasih sayang, serta semangat selama proses penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas segala pengorbanan dan bantuan yang telah diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini. Secara khusus, penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghormatan kepada Almarhum Ardo Pragoyo, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di perguruan tinggi. Segala kebaikan dan jasa yang telah diberikan akan selalu penulis kenang dan menjadi bagian dari perjalanan pendidikan penulis.

7. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan, semangat, bantuan, dan menemani penulis selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini. Secara khusus, terima kasih kepada manusia favorit penulis dalam segala hal, yang selalu memberikan semangat, perhatian, dan warna dalam perjalanan penulis hingga sampai pada tahap ini.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'alaselalu membalas apa yang mereka berikan untuk penulis dengan imbalan yang berlipat ganda. Penulis menyadari di dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Sehingga dapat bermanfaat dan berguna untuk pengembangan ilmu pengetahuan, amin.

Wassalamu'alaikum, wr. wb

Bengkulu, 31 Agustus 2026


Ardeka Pransiska
NPM : 2255201046

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan karunia-Nya, penulis masih diberikan kesempatan untuk dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"Identifikasi Partikel Mikroplastik Pada Air Minum Dalam Kemasan Galon Bermerek Dan Isi Ulang Menggunakan Algoritma Contour Detection"** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

1. Kedua orang tuaku tersayang, Bapak Adi yusmantoro dan Ibu Eti susanti. Terimakasih semua pengorbanan, peluh, usaha kasih, waktu doa, kesabaran dan ridho yang diberikan kepadaku.
2. Bapak Dekan RG Guntur Alam, M.Kom., Ph.D selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Bengkulu.
3. Bapak Ardi Wijaya, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Prodi Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
4. Pahrizal, S.Kom.,M.Kom selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama tiap semester
5. Yuza Reswan, S.Kom.,M.Kom selaku Dosen Pembimbing Utama skripsi saya yang telah membimbing saya dengan sabar dan teliti selama proses penulisan skripsi ini. Terima kasih pula atas segala ilmu, bantuan serta didikannya.

Bengkulu, 31 Agustus 2026



Ardeka Pransiska
NPM : 2255201046

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN HASIL REVISI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN	v
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	x
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat penelitian.....	4
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	4
1.4.2 Manfaat Praktis.....	4
1.5 Framework Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN LITERATUR.....	9
2.1 Penelitian Terdahulu	9
2.2 Pengelolahan Citra Digital	11
2.3 Citra Digital.....	12

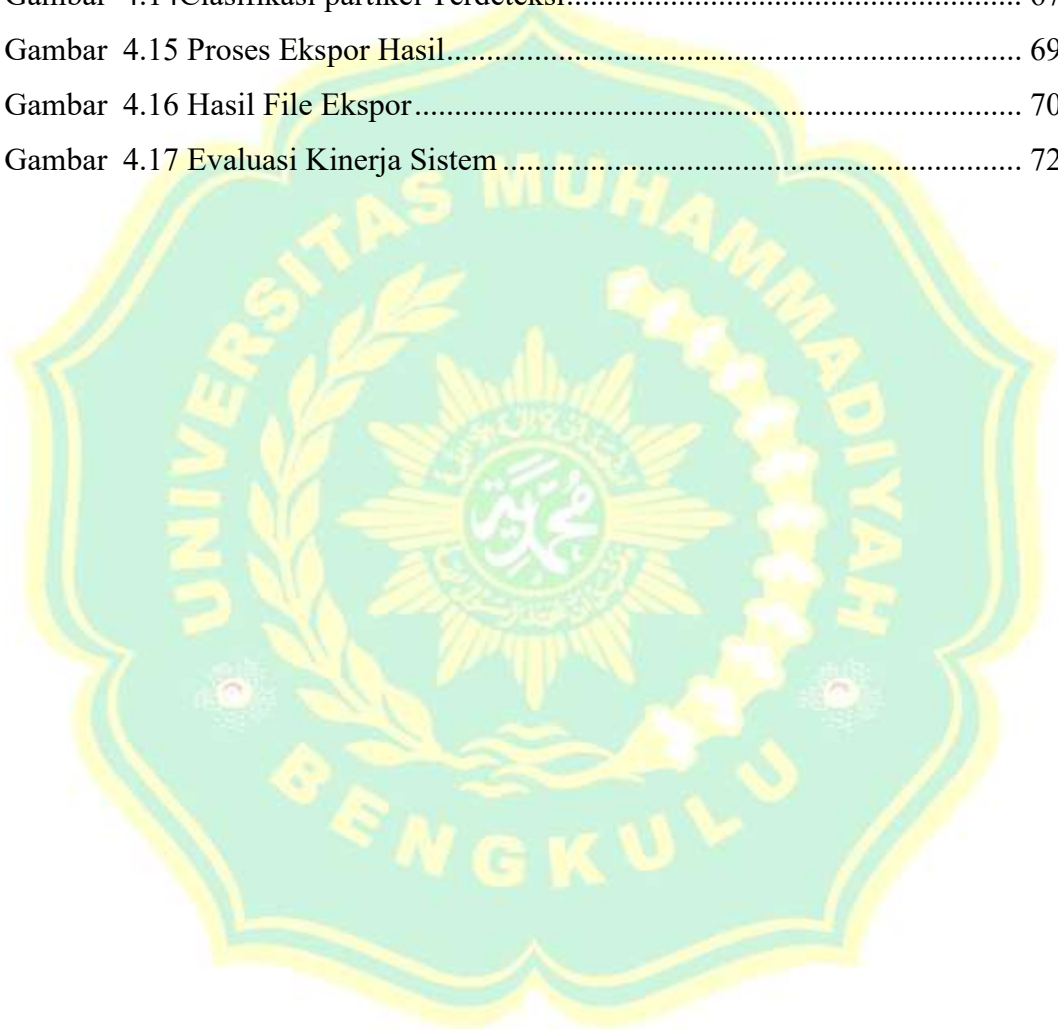
2.4 Grayscale	12
2.5 Thresholding.....	13
2.6 Contour Detection	14
2.7 OpenCV.....	15
2.8 Python.....	16
2.9 Deteksi Objek	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Analisis Masalah	18
3.2 Metode Pengumpulan Data	18
3.2.1 Studi Literatur.....	19
3.2.2 Pengumpulan Dataset Citra Mikroplastik.....	19
3.2.3 Seleksi Dataset.....	21
3.2.4 Ground Truth	21
3.3 Perancangan Sistem.....	22
3.3.1 Objek Penelitian.....	23
3.3.2 Preprocessing Citra.....	24
3.3.3 Contour detection.....	30
3.3.4 Filtering Partikel	32
3.3.5 Analisis Partikel.....	33
3.3.6 Output Siste	36
3.4 Perancangan Antarmuka.....	37
3.4.1 Halaman Beranda.....	37
3.4.2 Halaman Identifikasi Citra.....	38
3.4.3 Halaman Hasil Identifikasi	38
3.5 Implementasi Aplikasi.....	39
3.5.1 Perangkat Keras (Hardware).....	40
3.5.2 Perangkat Lunak (Software)	40

3.5.3 Implementasi Program.....	41
3.6 Pengujian Sistem	41
3.6.1 Pengujian Black Box	42
3.6.2 Evaluasi Hasil Identifikasi.....	43
BAB IV IMPLEMENTASI DAN UJI COBA.....	44
4.1 Implementasi Sistem Deteksi Partikel Mikroplastik	44
4.1.1 Halaman Utama Sistem	47
4.1.2 Proses Upload Gambar	49
4.1.3 Parameter Pemrosesan	50
4.1.4 Tahapan Preprocessing	52
4.2 Pengujian Fungsional Sistem	74
4.3 Hasil Pengujian Menggunakan Data Uji	77
4.4 Analisis Hasil Pengujian	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88

DAFTAR GAMBAR

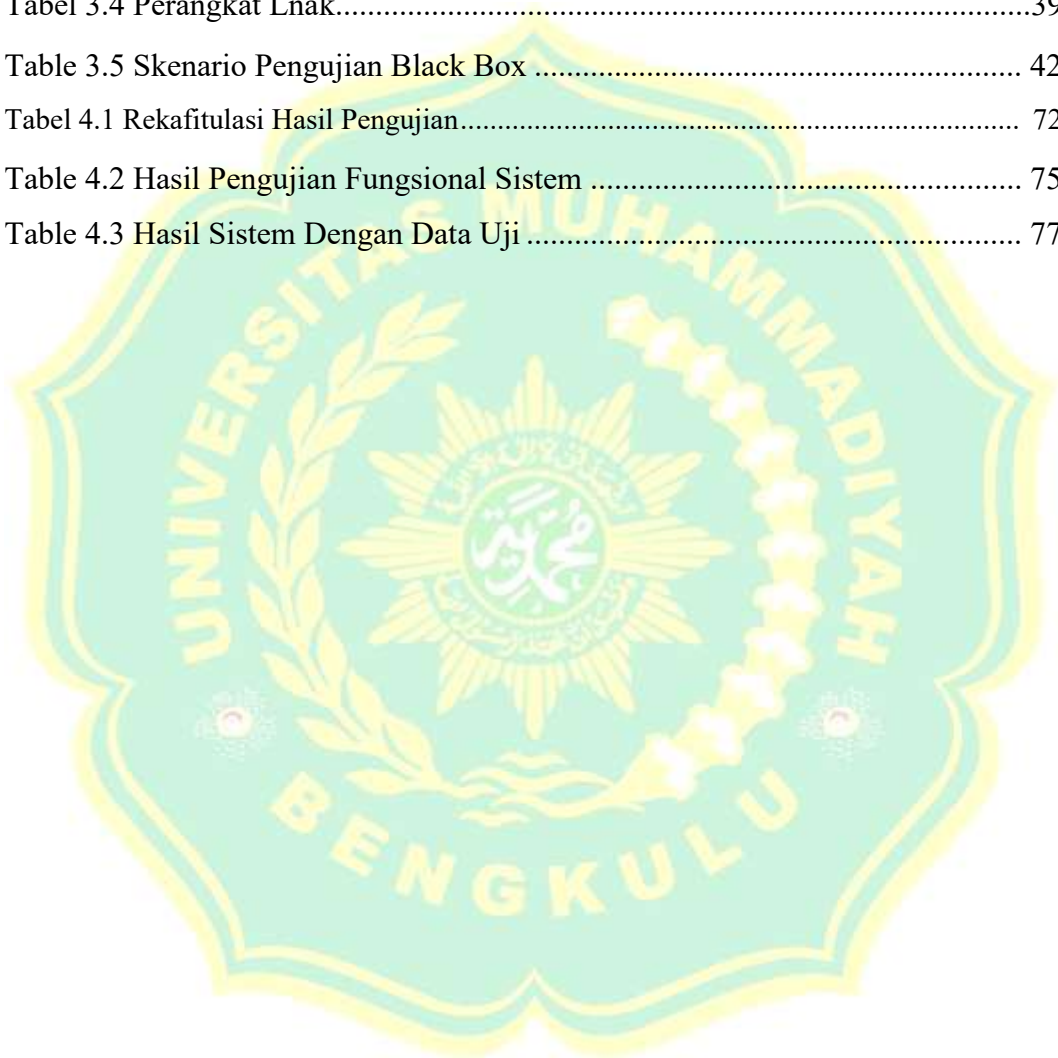
Gambar 3.1 Diagram alur sistem	23
Gambar 3.2 Objek Yang Diteliti	24
Gambar 3.3 Alir Resize Citra.....	23
Gambar 3.4 Grayscale.....	24
Gambar 3.5 Alir Grayscale.....	24
Gambar 3.6 Gusion Blur.....	25
Gambar 3.7 Alir Gusion Blur.....	25
Gambar 3.8 Thresholding.....	27
Gambar 3.9 Alir Thershholding.....	27
Gambar 3.10 Alir Morpologi.....	28
Gambar 3.11 Alir Contour Detection.....	29
Gambar 3.12 Objek Yang Di Beri Contour.....	30
Gambar 3.13 Alir Filtering.....	31
Gambar 3.14 Perhitungan Jumlah, Area, Dan Deameter.....	32
Gambar 3.15 Perhitungan Jumlah Partikel.....	33
Gambar 3.16 Perhitungan Luar Partikel.....	34
Gambar 3.17 outpot Sistem.....	35
Gambar 3.18 Halaman Antar Muka.....	36
Gambar 3.19 Halaman Menu Tols.....	37
Gambar 3.20 Halaman Hasil Identifikasi.....	38
Gambar 4.1 Tampilan Halaman Utama Sistem	47
Gambar 4.2 Proses Upload Gambar.....	49
Gambar 4.3 Panel Parameter Pemrosesan.....	51
Gambar 4.4 Citra Original.....	53
Gambar 4.5 Hasil Konversi Grayscale.....	54
Gambar 4.6Hasil Gaussian Blur.....	55
Gambar 4.7 Hasil Median Blur	57

Gambar 4.8 Hasil Threshold (Otsu)	58
Gambar 4.9 Hasil Morphology	60
Gambar 4.10 Hasil Edge Detection.....	61
Gambar 4.11Proses Contour Detection.....	63
Gambar 4.12Hasil Deteksi Partikel Mikroplastik	64
Gambar 4.13Statistik Hasil Deteksi	65
Gambar 4.14Clasifikasi partikel Terdeteksi.....	67
Gambar 4.15 Proses Ekspor Hasil.....	69
Gambar 4.16 Hasil File Ekspor.....	70
Gambar 4.17 Evaluasi Kinerja Sistem.....	72



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Framework Penelitian.....	5
Tabel 3.1 Pengumpulan Dataset Citra Mikroplastik.....	19
Table 3.2 Perbandingan Ground Truth dengan Hasil Contour Detection.....	21
Tabel 3.3 Perangkat Keras.....	39
Tabel 3.4 Perangkat Lnak.....	39
Table 3.5 Skenario Pengujian Black Box	42
Tabel 4.1 Rekafitulasi Hasil Pengujian.....	72
Table 4.2 Hasil Pengujian Fungsional Sistem	75
Table 4.3 Hasil Sistem Dengan Data Uji	77



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air minum merupakan kebutuhan dasar manusia yang berperan penting dalam menjaga kesehatan. Meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap air minum yang praktis menjadikan Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) galon bermerek dan air isi ulang sebagai salah satu pilihan yang banyak digunakan. Penggunaan wadah plastik secara berulang berpotensi menyebabkan degradasi material plastik yang dapat menghasilkan mikroplastik, yaitu partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm. Hingga saat ini, belum terdapat batas maksimum kandungan mikroplastik dalam air minum yang dapat digunakan sebagai nilai ambang kesehatan untuk menentukan kelayakan air minum. World Health Organization (WHO) juga menyatakan bahwa informasi mengenai dampak kesehatan akibat paparan mikroplastik melalui air minum masih terbatas. Dalam proses identifikasi mikroplastik, pengamatan berbasis citra dapat digunakan untuk melihat karakteristik fisik, seperti bentuk, ukuran, dan jumlah partikel. Namun, pengamatan visual saja belum dapat memastikan jenis atau komposisi polimer dari suatu partikel. Lenz et al. (2015) menunjukkan bahwa identifikasi mikroplastik secara visual dapat mengalami kesalahan, terutama pada partikel berukuran kecil, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan Raman spectroscopy untuk memastikan identitas plastik. Identifikasi komposisi polimer mikroplastik juga dapat dilakukan menggunakan metode spektroskopi, seperti Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Raman spectroscopy, yang memberikan informasi berdasarkan karakteristik spektrum polimer. Oleh karena itu, pengolahan citra

dalam penelitian ini digunakan sebagai pendekatan untuk mendeteksi dan menghitung partikel berdasarkan karakteristik visualnya, bukan untuk memastikan komposisi kimia dari partikel tersebut. Keberadaan mikroplastik telah ditemukan pada berbagai sumber air minum. Penelitian (Koelmans et al., 2019) menunjukkan bahwa jumlah mikroplastik pada air minum masih bervariasi karena belum adanya metode standar dalam proses identifikasi dan analisis. Selain itu, World Health Organization (WHO) menyatakan bahwa hingga saat ini belum terdapat batas aman mikroplastik dalam air minum sehingga penelitian mengenai keberadaannya masih terus diperlukan.

Identifikasi mikroplastik umumnya dilakukan menggunakan mikroskop stereo, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), dan Raman Spectroscopy. Meskipun akurat, metode tersebut memerlukan biaya tinggi, waktu analisis yang lama, dan tenaga ahli. Penelitian Meilany Syabrina Daulay juga menunjukkan bahwa air galon bermerek maupun air isi ulang mengandung mikroplastik, namun proses identifikasinya masih dilakukan secara manual sehingga berpotensi menimbulkan human error.

Perkembangan Digital Image Processing dan Computer Vision memberikan alternatif untuk mengidentifikasi mikroplastik secara otomatis. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Contour Detection, yaitu algoritma yang mendeteksi batas objek pada citra sehingga partikel mikroplastik dapat dihitung dan dianalisis secara otomatis.

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka OpenCV dan algoritma Contour Detection untuk mengidentifikasi partikel

mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop. Metode ini dipilih karena sederhana, mudah diimplementasikan, serta mampu membantu proses identifikasi secara lebih cepat dan efisien dibandingkan pengamatan manual.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi partikel mikroplastik pada air minum dalam kemasan galon bermerek dan air isi ulang menggunakan algoritma Contour Detection berbasis Digital Image Processing. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif screening awal kualitas air minum yang lebih cepat, efisien, dan mampu mengurangi kesalahan pengamatan manual.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem identifikasi partikel mikroplastik pada citra air minum dalam kemasan galon bermerek dan air minum isi ulang menggunakan algoritma Contour Detection berbasis OpenCV?
2. Bagaimana menerapkan tahapan pengolahan citra digital (*image processing*), meliputi *preprocessing*, segmentasi citra, deteksi kontur (*Contour Detection*), dan penyaringan objek (*filtering*) untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik secara otomatis?
3. Bagaimana kemampuan algoritma Contour Detection dalam mendeteksi dan menghitung jumlah partikel mikroplastik berdasarkan dataset citra mikroplastik yang digunakan dalam penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun sistem identifikasi partikel mikroplastik pada citra air minum dalam kemasan galon bermerek dan air minum isi ulang menggunakan algoritma Contour Detection berbasis OpenCV.
2. Menerapkan tahapan pengolahan citra digital (*image processing*), yang meliputi *preprocessing*, segmentasi citra, deteksi kontur (*Contour Detection*), dan penyaringan objek (*filtering*) untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik secara otomatis.
3. Menganalisis kemampuan algoritma Contour Detection dalam mendeteksi dan menghitung jumlah partikel mikroplastik berdasarkan dataset citra mikroplastik yang digunakan dalam penelitian.

1.4 Manfaat penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang Computer Vision, Digital Image Processing, dan pemanfaatan algoritma Contour Detection untuk identifikasi partikel mikroplastik. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengolahan citra digital dan identifikasi objek mikroskopis.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem yang mampu membantu proses identifikasi partikel mikroplastik secara otomatis pada citra

air minum dalam kemasan galon bermerek dan air minum isi ulang. Selain itu, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi alternatif metode *screening* awal yang lebih sederhana, cepat, dan efisien serta menjadi bahan referensi bagi mahasiswa atau peneliti yang ingin mengembangkan penelitian sejenis di masa mendatang.

1.5 Framework Penelitian

Table 1.1. Framework Penelitian

No	Tahapan Penelitian	Proses yang Dilakukan	Output
1	Input Dataset Citra Mikroplastik (Data Sekunder)	Mengumpulkan dan memasukkan dataset citra mikroplastik yang berasal dari penelitian terdahulu atau laboratorium yang telah dipublikasikan.	Dataset citra mikroplastik siap digunakan.
2	Seleksi Dataset Citra	Memilih citra yang sesuai dengan kriteria penelitian, seperti format gambar, kualitas citra, dan kelengkapan data.	Dataset citra yang valid dan siap diproses.
3	Preprocessing Citra	Melakukan tahapan <i>resize</i> , konversi ke <i>grayscale</i> , <i>Gaussian Blur</i> , <i>thresholding</i> , dan operasi morfologi (<i>opening</i> dan <i>closing</i>) untuk	Citra hasil <i>preprocessing</i> yang lebih jelas dan minim <i>noise</i> .

No	Tahapan Penelitian	Proses yang Dilakukan	Output
		meningkatkan kualitas citra dan mempermudah proses deteksi.	
4	Contour Detection	Mendeteksi batas atau kontur setiap objek pada citra menggunakan algoritma Contour Detection.	Kontur partikel mikroplastik berhasil teridentifikasi.
5	Filtering Partikel	Menyaring hasil deteksi berdasarkan parameter Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity untuk mengurangi objek selain mikroplastik.	Objek yang memenuhi karakteristik mikroplastik.
6	Perhitungan Jumlah Partikel, Luas, dan Diameter	Menghitung jumlah partikel yang terdeteksi serta menghitung luas (<i>area</i>) dan diameter masing-masing partikel.	Data jumlah partikel, luas, dan diameter mikroplastik.
7	Visualisasi Hasil Deteksi	Menampilkan citra hasil deteksi beserta informasi jumlah partikel dan penandaan kontur pada setiap objek yang teridentifikasi.	Hasil deteksi dalam bentuk visual dan informasi pengukuran.
8	Analisis dan Evaluasi Sistem	Menganalisis hasil identifikasi berdasarkan kemampuan sistem dalam mendeteksi partikel, jumlah partikel yang berhasil diidentifikasi, serta hasil visualisasi yang diperoleh.	Kesimpulan mengenai kinerja sistem identifikasi partikel mikroplastik.

Berdasarkan penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan sehingga menghasilkan sistem identifikasi partikel mikroplastik berbasis

pengolahan citra digital. Adapun penjelasan dari setiap tahapan adalah sebagai berikut.

1. Input Dataset Citra Mikroplastik

Tahap ini mengumpulkan dataset citra mikroplastik dari Zenodo, Kaggle, GitHub, dan Laboratorium FMIPA Biologi Universitas Bengkulu sebagai data pengembangan dan pengujian sistem.

2. Seleksi Dataset Citra

Dataset diseleksi berdasarkan kualitas citra, format file, dan kesesuaian dengan kebutuhan penelitian agar menghasilkan data yang layak diproses.

3. Preprocessing Citra

Citra diproses melalui *resize*, *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi (*opening* dan *closing*) untuk mengurangi *noise* dan meningkatkan kualitas citra.

4. Contour Detection

Algoritma *Contour Detection* digunakan untuk mendeteksi batas setiap objek sehingga partikel mikroplastik dapat dipisahkan dari latar belakang.

5. Filtering Partikel

Objek hasil deteksi disaring menggunakan parameter *Area*, *Circularity*, *Aspect Ratio*, dan *Solidity* agar hanya partikel yang memenuhi kriteria yang diproses.

6. Perhitungan Partikel

Sistem menghitung jumlah partikel, luas (*area*), dan diameter setiap partikel yang berhasil dideteksi.

7. Visualisasi Hasil

Sistem menampilkan citra hasil deteksi beserta informasi jumlah partikel, luas, diameter, dan waktu pemrosesan.

8. Analisis dan Evaluasi Sistem

Hasil deteksi dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan jumlah partikel yang terdeteksi, hasil visualisasi, dan waktu pemrosesan.



BAB II TINJAUAN LITERATUR

2.1 Penelitian Terdahulu

Pencemaran plastik yang semakin meningkat menyebabkan munculnya mikroplastik pada berbagai lingkungan, termasuk air minum. Penggunaan galon plastik secara berulang pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dan air isi ulang berpotensi menghasilkan partikel mikroplastik akibat degradasi material plastik. Identifikasi mikroplastik umumnya dilakukan menggunakan FTIR, Raman Spectroscopy, dan mikroskop stereo yang memiliki akurasi tinggi, namun memerlukan biaya besar, waktu yang lama, dan tenaga ahli. Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih sederhana dan efisien untuk membantu proses identifikasi (Koelmans et al., 2019).

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital (*image processing*) dan *computer vision* memungkinkan identifikasi objek dilakukan secara otomatis. Penelitian ini memanfaatkan bahasa pemrograman Python, pustaka OpenCV, dan metode *Contour Detection* untuk mendeteksi partikel mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop sebagai alternatif *screening* awal kualitas air minum (Szeliski, 2011)

Penelitian Meilany Syabrina Daulay (2025) mengidentifikasi mikroplastik pada air galon bermerek dan air isi ulang menggunakan mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan adanya partikel mikroplastik berbentuk *fiber*, *fragment*, *film*, *pellet*, dan *foam*. Kelebihan penelitian ini adalah memberikan data nyata mengenai keberadaan mikroplastik, namun proses identifikasinya masih dilakukan secara

manual sehingga membutuhkan waktu lama dan berpotensi menimbulkan *human error*.

Sherri A. Mason dkk. (2016) meneliti kandungan mikroplastik pada air minum kemasan menggunakan metode laboratorium dan menemukan bahwa sebagian besar sampel mengandung mikroplastik. Penelitian ini memiliki cakupan sampel yang luas, tetapi memerlukan biaya dan proses analisis yang tinggi (Mason et al., 2016).

Martin Wagner dan Lambert (2018) menjelaskan bahwa metode FTIR dan Raman Spectroscopy memiliki akurasi tinggi dalam mengidentifikasi mikroplastik. Namun, penggunaan peralatan tersebut membutuhkan biaya besar sehingga kurang sesuai untuk penelitian skala kecil (Wagner & Lambert, 2018).

Adrian Rosebrock (2016) menerapkan metode *Contour Detection* berbasis OpenCV untuk mendeteksi bentuk objek pada citra digital. Metode ini sederhana dan cepat, tetapi hasil deteksinya dipengaruhi oleh kualitas citra dan pencahayaan.

(Prata et al., 2019) memanfaatkan *image processing* dan *computer vision* untuk membantu analisis mikroplastik. Metode ini mampu mempercepat identifikasi dan mengurangi *human error*, namun penerapannya masih bersifat umum dan belum difokuskan pada identifikasi mikroplastik pada air minum.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penelitian ini mengembangkan sistem identifikasi mikroplastik menggunakan *Contour Detection* berbasis OpenCV yang dirancang khusus untuk air galon bermerek dan air isi ulang. Sistem yang dikembangkan bekerja secara otomatis sehingga dapat mengurangi *human error*, mempercepat proses identifikasi, memiliki biaya implementasi yang lebih rendah

dibandingkan FTIR dan Raman Spectroscopy, serta diharapkan menjadi alternatif *screening* awal kualitas air minum terkait kontaminasi mikroplastik (Bradski & Kaehler, 2008).

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (*Digital Image Processing*) merupakan cabang ilmu komputer yang mempelajari teknik untuk memperoleh, memproses, memanipulasi, dan menganalisis citra digital sehingga menghasilkan informasi yang lebih bermakna. Proses ini dilakukan dengan memanipulasi nilai intensitas setiap piksel untuk meningkatkan kualitas citra, mengurangi *noise*, mempertajam objek, serta mempermudah analisis oleh sistem komputer. Beberapa teknik yang umum digunakan meliputi *image enhancement*, konversi *grayscale*, segmentasi citra, deteksi tepi, dan deteksi objek (Dijaya & Setiawan, 2023; Ashillah et al., 2025).

Dalam penelitian ini, pengolahan citra digital digunakan untuk mendukung proses identifikasi partikel mikroplastik menggunakan metode *Contour Detection*. Citra terlebih dahulu melalui tahap *preprocessing* berupa *resize*, konversi *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi agar kualitas citra meningkat dan batas partikel mikroplastik lebih mudah dideteksi oleh sistem (Sari et al., 2026).

2.3 Citra Digital

Berdasarkan jumlah kanal warnanya, citra digital dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu citra biner, citra grayscale, dan citra berwarna (RGB). Citra biner hanya memiliki dua nilai intensitas, yaitu hitam dan putih. Citra grayscale memiliki satu kanal warna dengan rentang intensitas 0–255, sedangkan citra RGB terdiri atas tiga kanal warna, yaitu merah (Red), hijau (Green), dan biru (Blue). Masing-masing jenis citra memiliki karakteristik yang berbeda dan digunakan sesuai dengan kebutuhan proses pengolahan citra. (Dewi & Munir, 2023).

Dalam penelitian ini, citra digital yang digunakan berupa citra ikan berwarna (RGB) yang diperoleh melalui proses pengambilan gambar. Sebelum dilakukan proses deteksi objek, citra terlebih dahulu melalui tahap preprocessing, yaitu konversi menjadi citra grayscale dan proses thresholding. Tahapan tersebut bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra dan mempermudah proses pendeteksian kontur sehingga objek ikan dapat dikenali dengan lebih akurat menggunakan metode Contour Detection. (Wardana, Maskuri, & Zaim, 2023).

2.4 Grayscale

Grayscale atau citra keabuan merupakan citra digital yang hanya memiliki satu kanal intensitas dengan rentang nilai 0 sampai 255. Nilai intensitas 0 menunjukkan warna hitam, sedangkan nilai 255 menunjukkan warna putih. Berbeda dengan citra berwarna (RGB) yang memiliki tiga kanal warna, citra grayscale hanya menyimpan informasi tingkat keabuan sehingga proses pengolahan citra menjadi lebih sederhana dan efisien. Konversi ke grayscale

sering digunakan sebagai tahap awal (preprocessing) dalam berbagai penelitian pengolahan citra digital karena mampu mengurangi kompleksitas data yang akan diproses (Kusnadi, 2022).

Proses konversi citra RGB menjadi grayscale dilakukan dengan menggabungkan nilai komponen merah (Red), hijau (Green), dan biru (Blue) menjadi satu nilai intensitas. Konversi ini bertujuan untuk mempertahankan informasi penting berupa bentuk, tekstur, dan tingkat kecerahan objek, tanpa dipengaruhi oleh informasi warna. Dengan demikian, proses analisis citra menjadi lebih cepat dan kebutuhan komputasi menjadi lebih rendah. (Kusnadi et., 2022)

2.5 Thresholding

Thresholding merupakan salah satu teknik segmentasi citra yang digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan nilai ambang (threshold) tertentu. Metode ini bekerja dengan mengubah citra grayscale menjadi citra biner sehingga setiap piksel hanya memiliki dua nilai, yaitu hitam (0) dan putih (255). Proses tersebut bertujuan untuk mempermudah sistem dalam mengenali objek yang akan dianalisis pada tahapan berikutnya. Teknik thresholding banyak digunakan dalam pengolahan citra karena memiliki proses komputasi yang sederhana, cepat, dan efektif dalam memisahkan objek dengan latar belakang yang memiliki perbedaan intensitas yang jelas (Damayanti & Wibawa, 2023).

Pada proses thresholding, setiap piksel pada citra grayscale dibandingkan dengan nilai ambang (threshold) yang telah ditentukan. Apabila nilai intensitas piksel lebih besar atau sama dengan nilai ambang, maka piksel tersebut akan

diubah menjadi warna putih yang merepresentasikan objek. Sebaliknya, apabila nilai intensitas piksel lebih kecil dari nilai ambang, maka piksel akan diubah menjadi warna hitam yang merepresentasikan latar belakang. Hasil proses ini berupa citra biner yang lebih mudah diproses pada tahap segmentasi maupun deteksi objek (Radillah, Ameliza, & Fitriyanto, 2023).

2.6 Contour Detection

Contour Detection merupakan salah satu teknik dalam pengolahan citra digital yang digunakan untuk mendeteksi batas atau tepi suatu objek pada citra. Metode ini bekerja dengan mengidentifikasi kumpulan piksel yang membentuk kontur objek sehingga dapat membedakan objek dari latar belakang. Dalam implementasinya menggunakan OpenCV, proses pendeteksian kontur dilakukan dengan fungsi *findContours()* untuk menemukan kontur objek dan *drawContours()* untuk menampilkan hasil deteksi pada citra. Metode ini banyak digunakan dalam bidang *computer vision* karena mampu memberikan informasi mengenai bentuk, luas (*area*), keliling (*perimeter*), dan posisi objek (Manuaba & Indah, 2022)

Dalam penelitian ini, metode *Contour Detection* digunakan sebagai metode utama untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop. Sebelum proses deteksi dilakukan, citra melalui tahapan *preprocessing* yang meliputi *resize*, konversi *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi untuk meningkatkan kualitas citra dan memisahkan partikel dari latar belakang. Kontur yang berhasil dideteksi kemudian

digunakan untuk menghitung jumlah partikel, luas (*area*), dan diameter partikel mikroplastik sebagai dasar analisis hasil penelitian.

2.7 OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) merupakan pustaka (*library*) *open source* yang dikembangkan untuk mendukung pengolahan citra digital (*Digital Image Processing*) dan *Computer Vision*. OpenCV menyediakan berbagai fungsi untuk membaca, memproses, memanipulasi, dan menganalisis citra maupun video. Library ini mendukung berbagai bahasa pemrograman, seperti Python, C++, dan Java, dengan Python menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena sintaksnya sederhana dan mudah diimplementasikan dalam pengembangan aplikasi berbasis pengolahan citra (Julham et al., 2023; Supiyandi et al., 2024).

Dalam penelitian ini, OpenCV digunakan sebagai *library* utama untuk mengimplementasikan metode *Contour Detection* dalam mengidentifikasi partikel mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop. OpenCV dimanfaatkan untuk proses pembacaan citra, *resize*, konversi *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, operasi morfologi (*opening* dan *closing*), pendeteksian kontur menggunakan fungsi *findContours()*, serta visualisasi hasil deteksi menggunakan *drawContours()*. Penggunaan OpenCV dipilih karena menyediakan fungsi pengolahan citra yang lengkap, efisien, dan mudah diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python (Badri, 2023; Pahlevi & Setiaji, 2023).

2.8 Python

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi (*high-level programming language*) yang memiliki sintaks sederhana sehingga mudah dipelajari dan digunakan. Python banyak dimanfaatkan dalam pengembangan aplikasi, analisis data, *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, serta *Digital Image Processing*. Selain itu, Python didukung oleh berbagai *library* seperti OpenCV, NumPy, dan Matplotlib yang memudahkan proses pengolahan dan analisis citra digital (Setiadi et al., 2025; Saluky & Marine, 2023).

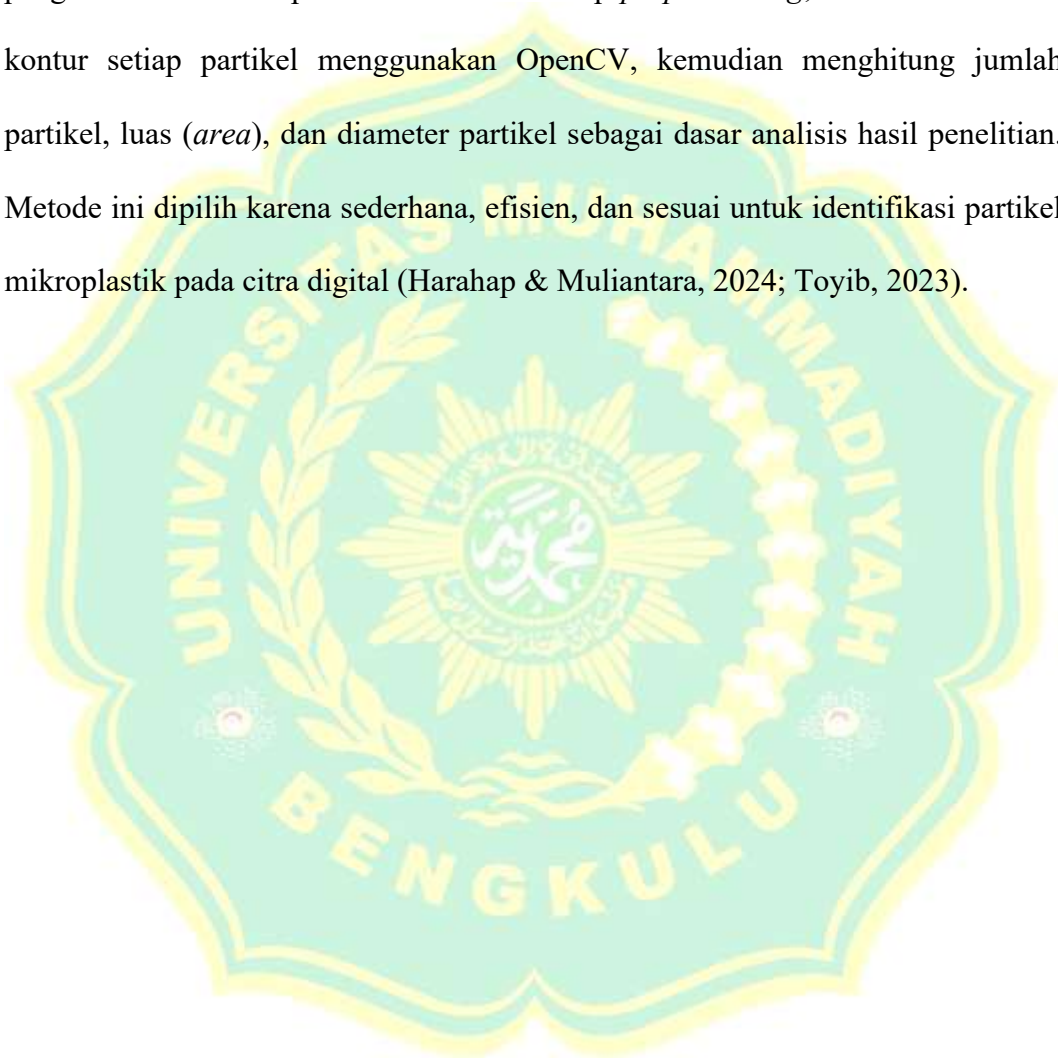
Dalam penelitian ini, Python digunakan sebagai bahasa pemrograman utama untuk membangun sistem identifikasi partikel mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop. Seluruh proses, mulai dari pembacaan citra, *preprocessing*, *Contour Detection*, hingga visualisasi hasil deteksi menggunakan *library* OpenCV, diimplementasikan dengan Python. Penggunaan Python dipilih karena mudah diimplementasikan, memiliki performa yang baik, serta mendukung pengembangan sistem pengolahan citra digital secara efisien (Rivandi, 2025; Setiadi et al., 2025).

2.9 Deteksi Objek

Deteksi objek (*Object Detection*) merupakan teknik dalam *Computer Vision* dan *Digital Image Processing* yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan serta menentukan lokasi suatu objek pada citra digital. Proses deteksi objek umumnya diawali dengan tahap *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas citra

sehingga objek dapat dipisahkan dari latar belakang dan dikenali dengan lebih akurat (Nasution, Harahap, & Syakbani, 2025; Adhim et al., 2025).

Dalam penelitian ini, deteksi objek dilakukan menggunakan metode *Contour Detection* untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik pada citra hasil pengamatan mikroskop. Setelah melalui tahap *preprocessing*, sistem mendeteksi kontur setiap partikel menggunakan OpenCV, kemudian menghitung jumlah partikel, luas (*area*), dan diameter partikel sebagai dasar analisis hasil penelitian. Metode ini dipilih karena sederhana, efisien, dan sesuai untuk identifikasi partikel mikroplastik pada citra digital (Harahap & Muliantara, 2024; Toyib, 2023).



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Analisis Masalah

Analisis masalah dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang menjadi dasar penelitian. Berdasarkan studi literatur, identifikasi partikel mikroplastik masih banyak dilakukan secara manual menggunakan mikroskop atau metode laboratorium seperti FTIR dan Raman Spectroscopy. Meskipun akurat, metode tersebut memerlukan biaya yang tinggi, waktu yang lama, serta berpotensi menimbulkan human error.

Sebagai solusi, penelitian ini menerapkan algoritma Contour Detection berbasis *Computer Vision* dan *Digital Image Processing*. Algoritma ini dipilih karena mampu mendeteksi batas objek secara otomatis sehingga proses identifikasi partikel mikroplastik menjadi lebih cepat, efisien, dan mengurangi kesalahan pengamatan.

Sebelum proses deteksi dilakukan, citra terlebih dahulu melalui tahap *preprocessing* yang meliputi *resize*, konversi ke *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi (*opening* dan *closing*). Tahapan ini bertujuan meningkatkan kualitas citra sehingga algoritma Contour Detection dapat mendeteksi partikel mikroplastik dengan lebih optimal.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan citra partikel mikroplastik dari Zenodo, Kaggle, GitHub, DeepParticle Dataset — Figshare, dan Laboratorium FMIPA Biologi Universitas Bengkulu, dengan citra laboratorium

digunakan sebagai data uji sistem. Tahapan pengumpulan data meliputi studi literatur, pengumpulan dataset, seleksi dataset, dokumentasi data, verifikasi data, dan *ground truth*.

3.2.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan mengkaji penelitian terdahulu yang berkaitan dengan identifikasi partikel mikroplastik, pengolahan citra digital (*image processing*), *computer vision*, OpenCV, dan algoritma *Contour Detection*. Referensi yang dipelajari meliputi penelitian Meilany Syabrina Daulay mengenai mikroplastik pada air minum, Richard Szeliski tentang *digital image processing*, Gary Bradski dan Adrian Kaehler mengenai OpenCV, serta Adrian Rosebrock terkait penerapan *Contour Detection*. Studi literatur ini digunakan sebagai landasan dalam menentukan metode yang diterapkan pada penelitian.

3.2.2 Pengumpulan Dataset Citra Mikroplastik

Dataset diperoleh dari beberapa sumber, yaitu Zenodo, Kaggle, GitHub, DeepParticle Dataset — Figshare dan Laboratorium FMIPA Biologi Universitas Bengkulu. Data yang diperoleh berupa citra digital partikel mikroplastik dengan format dan karakteristik yang bervariasi. Dataset dari Zenodo, Kaggle, dan GitHub digunakan sebagai data pengembangan sistem, sedangkan citra hasil pengamatan mikroskop dari Laboratorium FMIPA Biologi Universitas Bengkulu digunakan sebagai data uji (testing) untuk mengevaluasi kinerja sistem identifikasi partikel mikroplastik. Rincian dataset yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Pengumpulan Dataset Citra Mikroplastik

Sumber Dataset	Jumlah Citra	Format Data	Ukuran File	Resolusi	Keterangan
Zenodo	413	PNG, JPG	±100 KB–5 MB	±512 × 512 – 2048 × 2048 piksel	Dataset citra digital partikel mikroplastik yang digunakan sebagai data pengembangan sistem.
Kaggle	99	PNG, JPG	±100 KB–3 MB	±512 × 512 – 1920 × 1080 piksel	Dataset citra digital partikel mikroplastik sebagai data pendukung pengembangan sistem.
GitHub	459	PNG, JPG	±100 KB–2 MB	±512 × 512 – 1920 × 1080 piksel	Dataset citra digital partikel mikroplastik untuk pengembangan, latih dan validasi sistem.
DeepParticle Dataset — Figshare	400	JNG, JPG	±100 KB–2 MB	±512 × 512 – 1920 × 1080 piksel	Data latih, Citra partikel mikroplastik (pellet, foam)
Laboratorium FMIPA Biologi Universitas Bengkulu	52	JPG, PNG	±500 KB–10 MB	±1280 × 720 – 4032 × 3024 piksel	Citra hasil pengamatan mikroskop yang digunakan sebagai data uji (testing) untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi

Sumber Dataset	Jumlah Citra	Format Data	Ukuran File	Resolusi	Keterangan
					partikel mikroplastik.

3.2.3 Seleksi Dataset

Dataset yang telah diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan beberapa kriteria agar sesuai dengan kebutuhan penelitian. Proses seleksi dilakukan dengan memperhatikan kualitas citra, ketajaman gambar, format file, serta kejelasan objek mikroplastik. Citra yang tidak memenuhi kriteria penelitian tidak digunakan dalam proses analisis.

3.2.4 Ground Truth

Ground truth merupakan data acuan yang digunakan untuk mengevaluasi hasil deteksi partikel mikroplastik menggunakan algoritma Contour Detection. Pada penelitian ini, ground truth diperoleh melalui penghitungan jumlah partikel secara manual pada setiap citra berdasarkan pengamatan visual. Hasil penghitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil deteksi sistem untuk mengetahui tingkat kesesuaian deteksi partikel.

Table 3.2 Perbandingan Ground Truth dengan Hasil Contour Detection

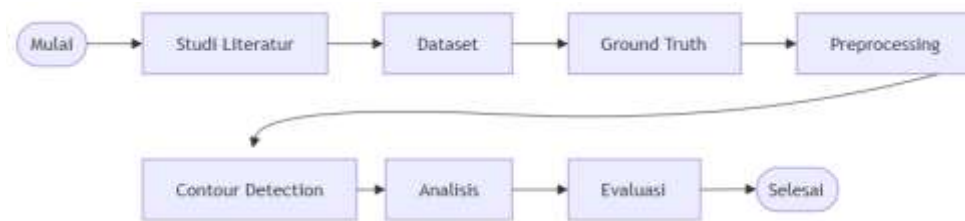
No	Nama Citra	Ground Truth	Hasil Contour	Selisih
----	------------	--------------	---------------	---------

		(Manual)	Detection	
1	Parikel Mikroplastik			3
2	Partikel Mikroplastik			8

Tabel di atas merupakan contoh format yang digunakan untuk membandingkan jumlah partikel hasil pengamatan manual (ground truth) dengan hasil deteksi menggunakan algoritma Contour Detection. Selisih antara kedua nilai tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan alur kerja sistem identifikasi partikel mikroplastik menggunakan algoritma *Contour Detection* berbasis *Digital Image Processing*. Sistem dirancang agar mampu mengolah dataset citra mikroplastik secara otomatis mulai dari proses masukan (*input*) hingga menghasilkan keluaran (*output*) berupa informasi jumlah partikel mikroplastik beserta visualisasi hasil deteksi.



Gambar 3.1 Diagram gambar alur sistem

3.3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini adalah citra digital partikel mikroplastik yang digunakan sebagai data masukan (*input*) dalam proses identifikasi menggunakan algoritma Contour Detection. Citra yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari dataset penelitian terdahulu dan hasil pengamatan mikroskop terhadap partikel mikroplastik.

Partikel mikroplastik dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki bentuk dan ukuran yang beragam sehingga memerlukan metode yang mampu mendeteksi batas objek secara akurat. Variasi bentuk partikel serta keberadaan noise pada citra menjadi tantangan dalam proses identifikasi, sehingga diperlukan teknik pengolahan citra digital untuk meningkatkan kualitas citra sebelum proses deteksi dilakukan.

Dalam penelitian ini, objek penelitian memiliki karakteristik Sebagai berikut:

- a. Objek berupa citra digital partikel mikroplastik.
- b. Citra berasal dari dataset hasil penelitian terdahulu.
- c. Citra berisi satu atau lebih partikel mikroplastik.
- d. Partikel mikroplastik memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi.

Seluruh citra kemudian diproses melalui tahapan *preprocessing* yang meliputi *resize*, konversi ke *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi (*opening* dan *closing*) sebelum dilakukan proses identifikasi menggunakan algoritma Contour Detection.



Gambar 3.2 Objek Yang Diteliti

3.3.2 Preprocessing Citra

Preprocessing merupakan tahapan awal dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra sebelum dilakukan proses identifikasi menggunakan algoritma Contour Detection. Tahapan ini dilakukan agar objek partikel mikroplastik dapat dikenali dengan lebih baik serta mengurangi gangguan (*noise*) yang dapat memengaruhi hasil deteksi. Pada penelitian ini, proses preprocessing terdiri atas beberapa tahapan, yaitu *resize*, konversi ke *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, serta operasi morfologi (*opening* dan *closing*).

a. *Resize* Citra

Tahap *resize* dilakukan untuk menyeragamkan ukuran seluruh citra yang digunakan dalam penelitian. Penyamaan ukuran citra bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan serta meningkatkan efisiensi komputasi tanpa mengubah karakteristik utama objek partikel mikroplastik.

$$I'(x',y') = I(x,y)$$

Keterangan:

$I(x,y)$ = citra asli.

$I'(x',y')$ = citra hasil *resize*.

x,y = koordinat piksel citra asli.

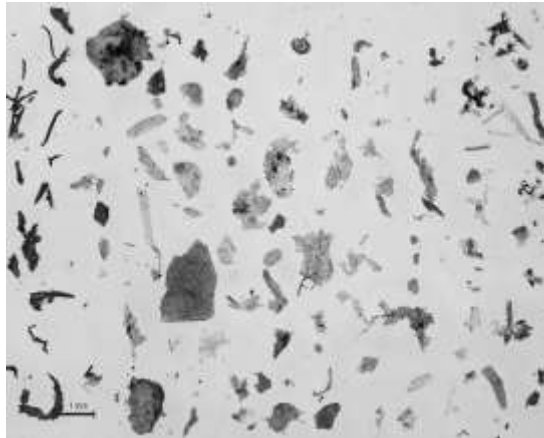
x',y' = koordinat piksel citra hasil *resize*.



Gambar3.3. Diagram gambar alur Resize Citra.

b. Konversi ke Grayscale

Setelah proses *resize*, citra berwarna diubah menjadi citra *grayscale*. Proses ini dilakukan untuk menyederhanakan informasi citra dari tiga kanal warna (RGB) menjadi satu kanal intensitas sehingga mempermudah proses pengolahan pada tahapan berikutnya.



Gambar 3.4. Citra Partikel Mikroplastik Graycale

Konversi citra RGB ke grayscale dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Gray} = (0,299 \times R) + (0,587 \times G) + (0,114 \times B)$$

Keterangan:

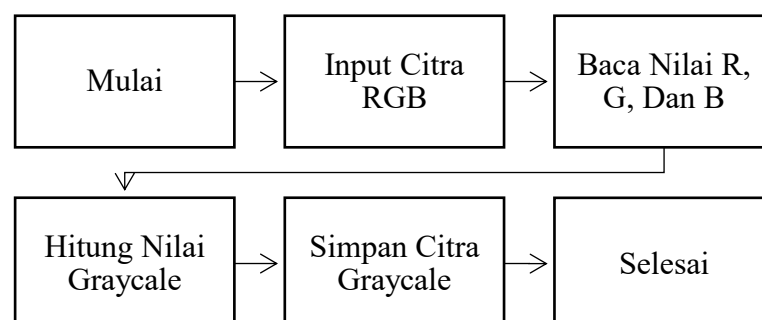
Gray = nilai intensitas citra grayscale

R = nilai kanal merah (Red)

G = nilai kanal hijau (Green)

B = nilai kanal biru (Blue)

Persamaan tersebut memberikan bobot yang berbeda pada setiap kanal warna sesuai dengan sensitivitas mata manusia terhadap warna. Kanal hijau memiliki kontribusi terbesar terhadap tingkat kecerahan, diikuti oleh kanal merah dan kanal biru.



Gambar 3.5. Diagram gambar Alir Proses Grayscale Conversionc.

c. Gaussian Blur

Tahap *Gaussian Blur* bertujuan untuk mengurangi *noise* atau gangguan pada citra dengan cara menghaluskan intensitas piksel. Proses ini membantu menghasilkan citra yang lebih bersih sehingga batas objek mikroplastik menjadi lebih mudah dikenali pada tahap deteksi.



Gambar 3.6. Citra Partikel Mikroplastik Gaussian Blur

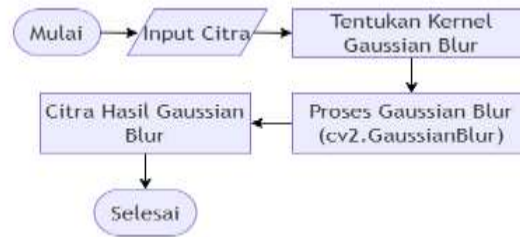
$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Keterangan:

$G(x,y)$ = fungsi Gaussian.

x,y = koordinat piksel.

σ = standar deviasi Gaussian.



Gambar 3.7. Diagram gambar Alir Proses *Gaussian Blur*

d. Thresholding

Thresholding merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan citra yang bertujuan untuk memisahkan objek ikan dari latar belakang. Pada tahap ini, citra hasil filtering yang masih berupa citra grayscale diubah menjadi citra biner (binary image), yaitu citra yang hanya memiliki dua nilai intensitas, yaitu hitam (0) dan putih (255). Proses ini memudahkan sistem dalam mengenali batas objek sehingga proses pencarian kontur dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Pada penelitian ini digunakan metode Binary Threshold yang bekerja dengan membandingkan nilai intensitas setiap piksel terhadap suatu nilai ambang (threshold). Apabila nilai intensitas piksel lebih besar dari nilai ambang, maka piksel tersebut akan diubah menjadi warna putih (255). Sebaliknya, apabila nilai intensitas lebih kecil atau sama dengan nilai ambang, maka piksel akan diubah menjadi warna hitam (0).

Secara matematis, proses thresholding dapat dinyatakan sebagai berikut.

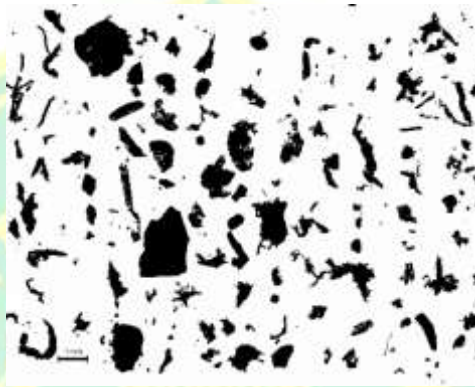
$$g(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{Jika } f(x, y) > T \\ 0, & \text{Jika } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

Keterangan:

1. $g(x, y)$ = nilai piksel citra biner.

2. $f(x,y)$ = nilai intensitas piksel pada citra grayscale.
3. T = nilai ambang (threshold).

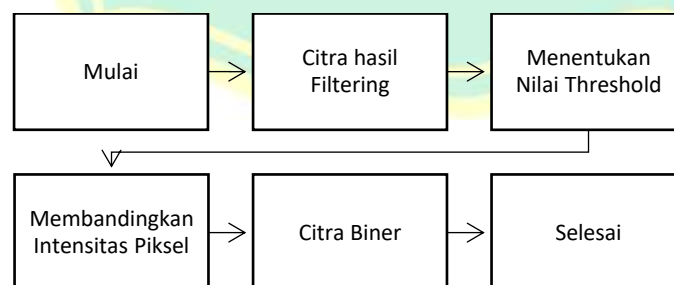
Pada implementasinya, proses thresholding dilakukan menggunakan pustaka OpenCV dengan fungsi `threshold()`. Fungsi ini mengubah citra grayscale menjadi citra biner berdasarkan nilai ambang yang telah ditentukan.



Gambar 3.8. Citra Partikel Mikroplastik Thresholding

Keterangan:

1. blur merupakan citra hasil proses filtering.
2. 127 adalah nilai ambang (threshold).
3. 255 merupakan nilai maksimum piksel putih.
4. `cv2.THRESH_BINARY` menunjukkan metode threshold



Gambar 3.9. Diagram gambar Alir Proses Thresholding

e. Operasi Morfologi (Opening dan Closing)

Tahap terakhir pada *preprocessing* adalah operasi morfologi yang terdiri atas *opening* dan *closing*. Operasi *opening* digunakan untuk menghilangkan objek kecil atau *noise* yang tidak diinginkan, sedangkan *closing* bertujuan untuk menutup celah atau lubang kecil pada objek sehingga bentuk partikel mikroplastik menjadi lebih utuh. Hasil dari tahapan ini menghasilkan citra yang lebih bersih dan siap diproses menggunakan algoritma Contour Detection.

Persamaan Opening:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

Persamaan Closing:

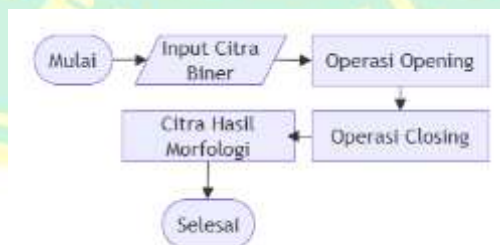
$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

Keterangan:

A = citra biner.

B = *structuring element*.

$\bullet$ = operasi *closing*.



Gambar 3.10. Diagram gambar Alur Operasi Morfologi (Opening dan Closing)

3.3.3 Contour detection

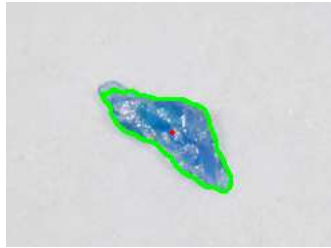
Setelah citra melalui tahapan *preprocessing*, proses selanjutnya adalah identifikasi objek menggunakan algoritma Contour Detection. Algoritma ini digunakan untuk mendeteksi batas (*boundary*) atau kontur dari setiap partikel mikroplastik yang terdapat pada citra biner. Kontur merupakan kumpulan titik yang membentuk garis luar suatu objek sehingga dapat digunakan untuk membedakan objek dari latar belakang.

Pada penelitian ini, proses *Contour Detection* dilakukan menggunakan pustaka OpenCV melalui fungsi `findContours()`. Fungsi tersebut bekerja dengan menelusuri piksel-piksel objek pada citra biner hasil *thresholding* dan operasi morfologi untuk memperoleh koordinat kontur setiap partikel mikroplastik. Setelah kontur berhasil ditemukan, sistem akan menggambarkan batas objek pada citra menggunakan fungsi `drawContours()` sehingga partikel mikroplastik dapat divisualisasikan dengan lebih jelas.



Gambar 3.11. Diagram gambar Alir Proses *Contour Detection*

Pada implementasinya, proses pencarian kontur dilakukan menggunakan fungsi `findContours()` pada pustaka OpenCV. Fungsi tersebut digunakan untuk memperoleh seluruh kontur yang terdapat pada citra biner.



Gambar 3.12. Gambar Partikel Berhasil di Beri Contur

3.3.4 Filtering Partikel

Setelah proses Contour Detection selesai dilakukan, sistem akan menghasilkan sejumlah kontur yang merepresentasikan seluruh objek yang terdapat pada citra. Namun, tidak semua kontur yang terdeteksi merupakan partikel mikroplastik karena masih terdapat objek lain, seperti *noise*, bayangan, maupun objek yang berasal dari latar belakang citra. Oleh karena itu, dilakukan proses filtering partikel untuk menyaring kontur sehingga hanya objek yang memenuhi kriteria sebagai partikel mikroplastik yang diproses pada tahap selanjutnya.

Pada penelitian ini, proses penyaringan dilakukan berdasarkan luas kontur (*Contour Area*) yang diperoleh dari setiap objek hasil deteksi. Luas kontur digunakan sebagai parameter untuk membedakan objek yang relevan dengan objek yang berukuran terlalu kecil maupun terlalu besar. Objek dengan luas di bawah batas minimum (*minimum area threshold*) dianggap sebagai *noise* sehingga tidak dilibatkan dalam proses analisis, sedangkan objek yang memenuhi nilai ambang akan dipertahankan sebagai kandidat partikel mikroplastik.

Perhitungan luas kontur dilakukan menggunakan fungsi `cv.contourArea()` pada pustaka OpenCV. Secara matematis, luas suatu kontur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right|$$

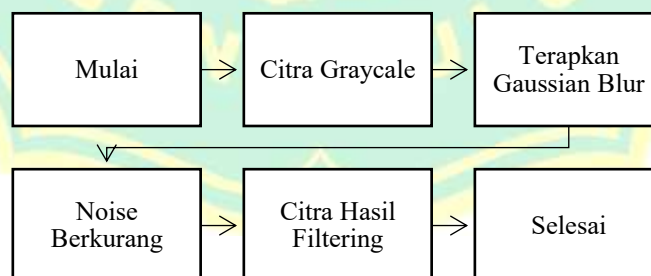
Keterangan:

A = luas kontur (piksel²).

x_i, y_i = koordinat titik ke- i pada kontur.

n = jumlah titik penyusun kontur.

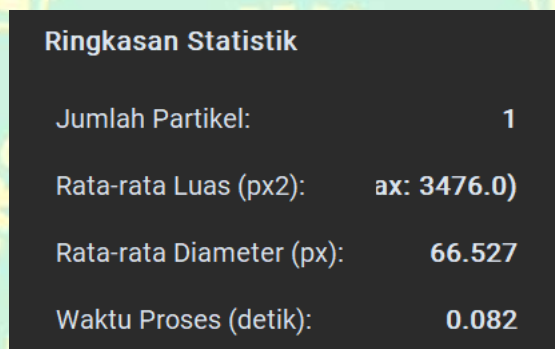
Setelah proses penyaringan selesai dilakukan, sistem hanya menyimpan kontur yang memenuhi nilai ambang luas (*area threshold*) sebagai objek valid. Hasil penyaringan tersebut kemudian digunakan pada tahap analisis partikel untuk memperoleh informasi mengenai jumlah partikel serta karakteristik objek yang berhasil diidentifikasi.



Gambar 3.13. Diagram gambar Alir Proses Filtering Partiker

3.3.5 Analisis Partikel

Setelah proses *Filtering Partikel* selesai dilakukan, sistem akan melakukan analisis terhadap setiap partikel mikroplastik yang berhasil teridentifikasi. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai karakteristik objek yang telah memenuhi kriteria penyaringan. Analisis dilakukan terhadap seluruh kontur yang telah lolos proses *filtering*, sehingga objek yang dianalisis merupakan partikel mikroplastik yang telah dipisahkan dari *noise* maupun objek lain yang tidak relevan.



Ringkasan Statistik	
Jumlah Partikel:	1
Rata-rata Luas (px2):	ax: 3476.0)
Rata-rata Diameter (px):	66.527
Waktu Proses (detik):	0.082

Gambar 3.14. Hasil Pengukuran Jumlah, Area, Diameter

Pada penelitian ini, proses analisis dilakukan berdasarkan informasi yang diperoleh dari kontur hasil deteksi menggunakan algoritma Contour Detection. Parameter yang dianalisis meliputi jumlah partikel dan luas partikel (Contour Area). Kedua parameter tersebut digunakan untuk memberikan informasi mengenai karakteristik partikel mikroplastik yang terdapat pada citra hasil pengamatan.

a. Perhitungan Jumlah Partikel

Jumlah partikel diperoleh dengan menghitung seluruh kontur yang telah memenuhi proses *Filtering Partikel*. Setiap kontur yang lolos proses penyaringan dianggap sebagai satu partikel mikroplastik.

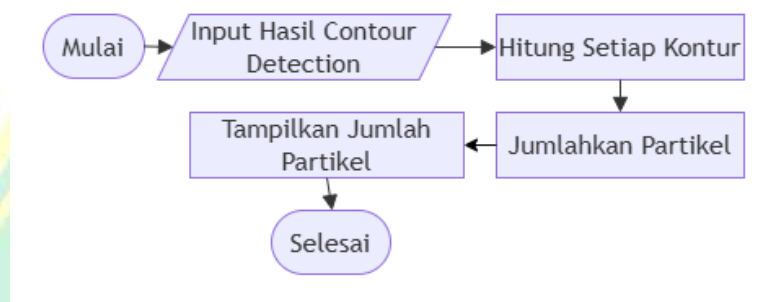
Persamaan jumlah partikel dapat dituliskan sebagai berikut.

$$N = \sum_{i=1}^n 1$$

Keterangan:

N = jumlah partikel yang terdeteksi.

n = jumlah kontur yang memenuhi proses penyaringan.



Gambar 3.15. Diagram gambar Alir Perhitungan Jumlah Partikel

b. Perhitungan Luas Partikel (Contour Area)

Luas partikel digunakan untuk mengetahui ukuran setiap objek mikroplastik berdasarkan daerah yang dibatasi oleh kontur. Nilai luas diperoleh menggunakan fungsi `cv.contourArea()` pada pustaka OpenCV.

Persamaan luas kontur adalah sebagai berikut.

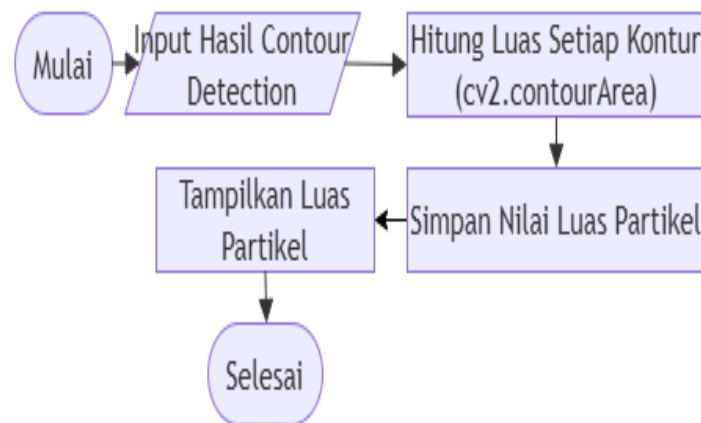
$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right|$$

Keterangan:

A = luas kontur (piksel²).

x_i, y_i = koordinat titik ke- i pada kontur.

n = jumlah titik penyusun kontur.



Gambar 3.16. Diagram gambar Alir Perhitungan Luas Partikel

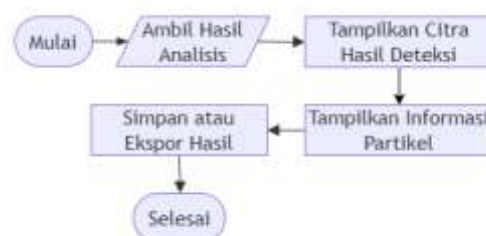
Setelah proses analisis selesai dilakukan, sistem menghasilkan informasi berupa jumlah partikel yang berhasil diidentifikasi serta luas masing-masing partikel. Informasi tersebut kemudian ditampilkan pada antarmuka aplikasi sebagai hasil identifikasi partikel mikroplastik.

3.3.6 Output Siste

Output sistem merupakan hasil akhir dari proses pengolahan citra yang meliputi *preprocessing*, *Contour Detection*, *Filtering Partikel*, dan analisis partikel. Hasil tersebut ditampilkan melalui antarmuka aplikasi dalam bentuk visualisasi citra dan informasi hasil identifikasi.

Visualisasi yang dihasilkan berupa citra yang telah diberi kontur pada setiap partikel mikroplastik yang berhasil dideteksi. Selain itu, sistem menampilkan informasi jumlah partikel dan luas (*Contour Area*) setiap partikel yang memenuhi kriteria penyaringan.

Output yang dihasilkan diharapkan dapat membantu proses identifikasi



partikel mikroplastik secara lebih cepat, mudah, dan objektif dibandingkan pengamatan secara manual.

Gambar 3.17. Diagram gambar Alir ouput Sistem

3.4 Perancangan Antarmuka

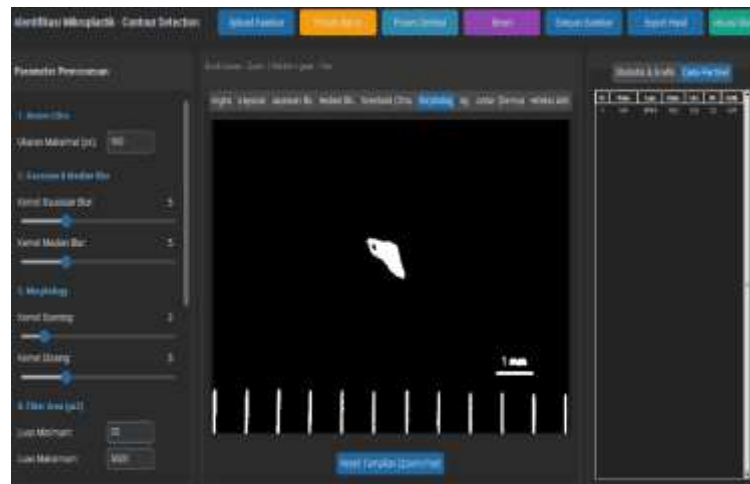
Perancangan antarmuka (*User Interface*) merupakan tahap perancangan tampilan aplikasi agar sistem mudah digunakan dalam proses identifikasi partikel mikroplastik. Antarmuka dirancang sederhana dan informatif, meliputi halaman beranda, halaman identifikasi citra, dan halaman hasil identifikasi.

3.4.1 Halaman Beranda

Halaman beranda merupakan tampilan awal yang muncul ketika aplikasi dijalankan. Halaman ini berfungsi sebagai media informasi mengenai aplikasi identifikasi partikel mikroplastik menggunakan algoritma **Contour Detection**. Selain itu, halaman beranda juga menyediakan tombol untuk memulai proses identifikasi citra.

Pada halaman ini ditampilkan beberapa komponen utama, yaitu:

- Judul aplikasi.
- Deskripsi singkat aplikasi.
- Tombol Mulai Identifikasi.
- Menu navigasi menuju halaman identifikasi.



Gambar 3.18. Halaman Beranda Antarmuka

3.4.2 Halaman Identifikasi Citra

Halaman identifikasi merupakan halaman utama yang digunakan pengguna untuk melakukan proses identifikasi partikel mikroplastik. Pada halaman ini pengguna dapat memilih citra mikroplastik yang akan dianalisis oleh sistem.

Setelah citra dipilih, sistem akan menjalankan proses *preprocessing*, *Contour Detection*, *Filtering Partikel*, dan analisis secara otomatis. Selanjutnya hasil identifikasi akan ditampilkan pada halaman hasil.

Komponen yang terdapat pada halaman ini meliputi:

- Tombol **Pilih Citra**.
- Area pratinjau citra (*preview*).
- Tombol **Proses Identifikasi**.
- Tombol **Reset**.



Gambar 3.19. Halaman Identifikas

3.4.3 Halaman Hasil Identifikasi

Halaman hasil identifikasi menampilkan citra yang telah diberi kontur pada partikel mikroplastik yang berhasil dideteksi. Selain itu, sistem juga menyajikan informasi jumlah partikel dan luas (*Contour Area*) sebagai hasil analisis.

Komponen yang terdapat pada halaman ini meliputi:

- Citra hasil identifikasi.
- Jumlah partikel yang terdeteksi.
- Informasi luas partikel.
- Tombol **Simpan Hasil**
- Tombol **Kembali**.



Gambar 3.20. Halaman Hasil Identifikasi

3.5 Implementasi Aplikasi

Implementasi aplikasi merupakan tahap penerapan hasil perancangan sistem ke dalam bentuk aplikasi identifikasi partikel mikroplastik menggunakan algoritma *Contour Detection*. Aplikasi dikembangkan menggunakan bahasa

pemrograman Python dengan pustaka OpenCV sebagai *library* utama dalam pengolahan citra digital.

3.5.1 Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai media untuk menjalankan aplikasi identifikasi partikel mikroplastik. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.3. Spesifikasi Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi
1	Prosesor	
2	RAM	
3	Penyimpanan	
4	Sistem Operasi	

3.5.2 Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai pendukung dalam proses pengembangan aplikasi, pengolahan citra, serta implementasi algoritma **Contour Detection**. Adapun perangkat lunak yang digunakan .

Table 3.4. Perangkat Lunak Yang di gunakan

No	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Windows 11	Sistem operasi
2	Python	Bahasa pemrograman
3	OpenCV	Pengolahan citra dan Contour Detection

4	NumPy	Pengolahan data numerik
5	Visual Studio Code	Editor kode program
6	Matplotlib	Visualisasi citra
7	Git (<i>opsional</i>)	Version control

3.5.3 Implementasi Program

Implementasi program merupakan proses penerapan algoritma Contour Detection ke dalam aplikasi menggunakan bahasa pemrograman Python. Proses implementasi meliputi pembacaan citra, preprocessing, pendeteksian kontur, filtering partikel, analisis partikel, dan penyajian hasil identifikasi. OpenCV digunakan untuk pengolahan citra, sedangkan NumPy mendukung proses komputasi numerik.

3.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan aplikasi identifikasi partikel mikroplastik menggunakan algoritma Contour Detection berjalan sesuai dengan perancangan. Pengujian mencakup seluruh proses, mulai dari pemilihan citra, *preprocessing*, pendeteksian kontur, *filtering* partikel, analisis partikel, hingga penyajian hasil identifikasi.

Metode pengujian yang digunakan adalah *Black Box Testing*, yaitu pengujian berdasarkan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) tanpa memperhatikan proses internal program. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa citra mikroplastik untuk memastikan setiap fungsi aplikasi berjalan dengan baik.

Selain pengujian fungsional, dilakukan evaluasi hasil identifikasi dengan membandingkan hasil deteksi sistem terhadap pengamatan visual pada citra. Perbandingan ini bertujuan untuk menilai kesesuaian hasil deteksi partikel mikroplastik yang dihasilkan sistem.

3.6.1 Pengujian Black Box

Pengujian **Black Box** dilakukan dengan menguji seluruh fungsi utama aplikasi tanpa memperhatikan struktur kode program. Pengujian difokuskan pada kesesuaian antara masukan yang diberikan dengan keluaran yang dihasilkan oleh sistem. Suatu fungsi dinyatakan berhasil apabila sistem mampu menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan.

Adapun skenario pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 14

Table 3.5. Skenario Pengujian Black Box

No.	Fitur yang Diuji	Input	Output yang Diharapkan
1.	Memilih citra	Pengguna memilih citra mikroplastik	Citra berhasil ditampilkan pada aplikasi
2.	Preprocessing citra	Citra diproses	Sistem menghasilkan citra hasil <i>preprocessing</i>
3.	Contour Detection	Citra hasil <i>pre-processing</i>	Sistem mendeteksi kontur partikel mikroplastik

No.	Fitur yang Diuji	Input	Output yang Diharapkan
	Filtering Partikel	Kontur hasil deteksi	Sistem menyaring objek yang tidak memenuhi kriteria
	Analisis Partikel	Kontur hasil <i>filtering</i>	Sistem menampilkan jumlah partikel dan luas partikel
	Output Sistem	Seluruh proses selesai	Hasil identifikasi ditampilkan pada aplikasi

3.6.2 Evaluasi Hasil Identifikasi

Evaluasi hasil identifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi sistem dengan objek partikel mikroplastik pada citra. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan algoritma Contour Detection dalam mengidentifikasi partikel mikroplastik.

1. kemampuan sistem mendeteksi partikel mikroplastik;
2. kemampuan sistem membedakan partikel mikroplastik dengan *noise* setelah proses *filtering*;
3. kesesuaian jumlah partikel yang terdeteksi dengan hasil pengamatan visual; dan
4. kemampuan sistem menampilkan jumlah partikel dan luas (*Contour Area*) partikel.

BAB IV

IMPLEMENTASI DAN UJI COBA

4.1 Implementasi Sistem Deteksi Partikel Mikroplastik

Implementasi sistem merupakan tahap penerapan rancangan sistem ke dalam bentuk aplikasi yang digunakan untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik pada citra digital secara otomatis. Pada tahap ini, seluruh komponen dan fungsi sistem diimplementasikan sehingga membentuk sebuah aplikasi yang mampu melakukan proses identifikasi secara terintegrasi, mulai dari pemasukan citra, pengolahan citra digital (*image processing*), pendeteksian partikel menggunakan algoritma Contour Detection, analisis karakteristik partikel, hingga penyajian hasil identifikasi dalam bentuk visual maupun data numerik. Implementasi sistem dilakukan untuk mengetahui kemampuan aplikasi dalam menjalankan setiap tahapan identifikasi sesuai dengan tujuan penelitian.

Aplikasi dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan library OpenCV sebagai pustaka utama dalam proses pengolahan citra digital. Selain OpenCV, aplikasi juga menggunakan beberapa library pendukung, yaitu NumPy untuk membantu proses komputasi numerik, CustomTkinter untuk membangun antarmuka aplikasi (*Graphical User Interface/GUI*), Pandas untuk mengolah dan mengeksport data hasil identifikasi, serta Matplotlib untuk menampilkan grafik hasil analisis. Kombinasi library tersebut memungkinkan seluruh proses identifikasi dilakukan secara terintegrasi, mulai dari pengolahan citra, analisis karakteristik partikel, penyajian hasil identifikasi, hingga penyimpanan hasil analisis dalam berbagai format sebagai dokumentasi penelitian.

Pada penelitian ini digunakan dataset yang terdiri atas ribuan citra partikel mikroplastik yang diperoleh dari berbagai sumber data sekunder dari anggela. Dari keseluruhan dataset tersebut dipilih sebanyak 20 citra sebagai data uji untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi partikel mikroplastik. Seluruh citra diproses menggunakan aplikasi yang telah dikembangkan sehingga diperoleh informasi mengenai jumlah partikel yang berhasil dideteksi, luas partikel, diameter partikel, bentuk partikel, serta waktu yang dibutuhkan selama proses identifikasi. Selain itu, sistem juga melakukan evaluasi menggunakan parameter Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, dan Error Rate untuk mengetahui tingkat keberhasilan algoritma Contour Detection dalam mendeteksi partikel mikroplastik.

Secara umum, sistem bekerja dengan menerima citra mikroplastik sebagai data masukan (*input*). Setelah citra dipilih, sistem menjalankan tahapan pengolahan citra secara berurutan yang meliputi proses resize, konversi grayscale, Gaussian Blur, Median Blur, thresholding menggunakan metode Otsu, operasi morphology, edge detection, dan Contour Detection. Setiap tahapan memiliki fungsi yang berbeda, namun saling berkaitan untuk meningkatkan kualitas citra sehingga objek mikroplastik dapat dipisahkan dari latar belakang secara lebih jelas sebelum dilakukan proses identifikasi.

Setelah proses Contour Detection selesai dilakukan, sistem melakukan proses penyaringan (*filtering*) terhadap seluruh objek yang berhasil dideteksi berdasarkan parameter Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity. Penyaringan dilakukan untuk menghilangkan objek yang bukan merupakan partikel mikroplastik, seperti

noise maupun objek lain yang memiliki ukuran dan bentuk yang tidak sesuai dengan karakteristik partikel mikroplastik. Objek yang memenuhi seluruh parameter tersebut selanjutnya dianalisis untuk memperoleh informasi mengenai luas partikel, diameter partikel, nilai Circularity, Aspect Ratio, Solidity, serta klasifikasi bentuk partikel.

Hasil identifikasi ditampilkan melalui antarmuka aplikasi dalam bentuk citra yang telah diberi garis kontur pada setiap partikel yang berhasil dideteksi. Selain menampilkan hasil visual, aplikasi juga menyajikan informasi berupa jumlah partikel yang berhasil dideteksi, rata-rata luas partikel, rata-rata diameter partikel, waktu pemrosesan, grafik distribusi bentuk partikel, serta data rinci setiap partikel hasil identifikasi. Seluruh hasil tersebut dapat disimpan dalam bentuk gambar maupun diekspor ke dalam format CSV, Microsoft Excel, dan PDF sehingga memudahkan proses dokumentasi, analisis data, dan penyusunan laporan penelitian.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai implementasi aplikasi yang telah dikembangkan, pembahasan selanjutnya disusun berdasarkan alur penggunaan aplikasi. Setiap tampilan antarmuka dijelaskan sesuai dengan fungsi dan proses yang dilakukan oleh sistem, mulai dari halaman utama, proses pemasukan citra, pengaturan parameter pemrosesan, tahapan pengolahan citra, proses Contour Detection, hingga penyajian hasil identifikasi dan evaluasi kinerja sistem.

4.1.1 Halaman Utama Sistem

Halaman utama merupakan tampilan pertama yang muncul ketika aplikasi dijalankan dan menjadi pusat seluruh proses identifikasi partikel mikroplastik. Seluruh menu dan fitur utama ditempatkan pada halaman ini sehingga proses identifikasi dapat dilakukan secara terintegrasi tanpa harus berpindah ke halaman lain. Perancangan antarmuka dibuat sederhana dan terstruktur agar setiap tahapan pengolahan citra dapat dilakukan secara berurutan serta memudahkan proses analisis terhadap hasil identifikasi.



Gambar 3.1. Tampilan Halaman Utama Sistem

bagian atas aplikasi menampilkan beberapa tombol utama yang digunakan untuk menjalankan fungsi-fungsi sistem, yaitu Upload Gambar, Proses Batch, Proses Deteksi, Reset, Simpan Gambar, Export Hasil, dan Evaluasi Sistem. Tombol Upload Gambar digunakan untuk memilih citra mikroplastik yang akan dianalisis, sedangkan Proses Batch digunakan untuk mengidentifikasi beberapa citra secara berurutan. Tombol Proses Deteksi berfungsi menjalankan seluruh tahapan pengolahan citra hingga menghasilkan identifikasi partikel mikroplastik. Sementara itu, tombol Reset digunakan untuk mengembalikan aplikasi ke kondisi awal sehingga siap digunakan kembali.

Selain itu, tersedia tombol Simpan Gambar yang berfungsi menyimpan citra hasil identifikasi yang telah diberi garis kontur. Tombol Export Hasil digunakan untuk mengeksport hasil identifikasi ke dalam format CSV, Microsoft Excel, dan PDF, sedangkan tombol Evaluasi Sistem digunakan untuk menampilkan hasil evaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, dan Error Rate.

Pada bagian sebelah kiri terdapat panel Parameter Pemrosesan yang digunakan untuk mengatur parameter selama proses identifikasi. Parameter tersebut meliputi ukuran citra (*Resize*), ukuran kernel Gaussian Blur, ukuran kernel Median Blur, ukuran kernel Morphology, batas minimum dan maksimum Filter Area, nilai Circularity, Aspect Ratio, serta Solidity. Pengaturan parameter tersebut bertujuan menyesuaikan proses pengolahan citra dengan karakteristik citra mikropplastik sehingga hasil identifikasi menjadi lebih optimal.

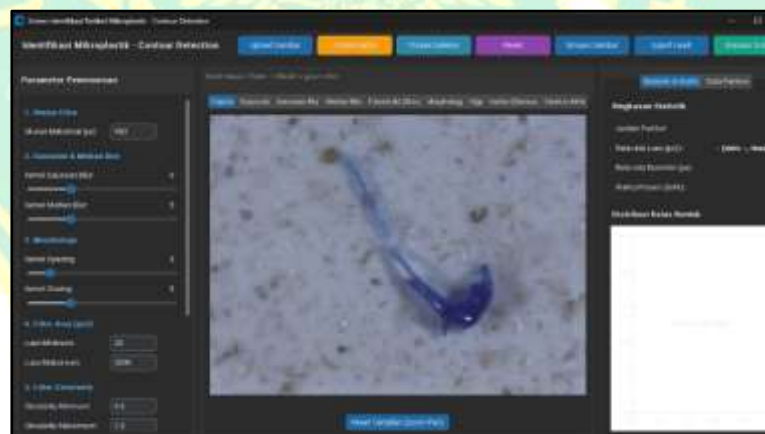
Bagian tengah aplikasi merupakan area visualisasi hasil pengolahan citra. Pada bagian ini ditampilkan setiap tahapan pengolahan citra secara berurutan, mulai dari Original, Grayscale, Gaussian Blur, Median Blur, Threshold, Morphology, Edge Detection, Contour, hingga Deteksi Akhir. Penyajian setiap tahapan tersebut memudahkan proses pengamatan terhadap perubahan citra sehingga hasil identifikasi dapat dianalisis secara lebih mendalam.

Sementara itu, bagian sebelah kanan menampilkan panel Statistik Hasil dan Data Partikel. Panel Statistik Hasil menyajikan informasi mengenai jumlah partikel yang berhasil dideteksi, rata-rata luas partikel, rata-rata diameter

partikel, waktu pemrosesan, serta grafik distribusi bentuk partikel. Adapun panel Data Partikel menampilkan informasi rinci mengenai setiap partikel yang berhasil diidentifikasi, seperti luas partikel, diameter, nilai Circularity, Aspect Ratio, Solidity, dan klasifikasi bentuk partikel. Informasi tersebut menjadi dasar dalam proses analisis hasil identifikasi yang dilakukan pada penelitian ini.

4.1.2 Proses Upload Gambar

Tahap pertama sebelum proses identifikasi dilakukan adalah memasukkan citra mikroplastik ke dalam aplikasi. Proses ini dilakukan melalui tombol Upload Gambar yang terdapat pada bagian atas antarmuka aplikasi. Citra yang dipilih akan menjadi data masukan (*input*) yang selanjutnya diproses oleh sistem menggunakan tahapan pengolahan citra digital hingga menghasilkan informasi mengenai partikel mikroplastik yang terdeteksi.



Gambar 4.2. Proses Upload Gambar

setelah tombol Upload Gambar dipilih, sistem akan menampilkan jendela pemilihan berkas sehingga citra mikroplastik dapat dipilih dari media penyimpanan komputer. Setelah citra berhasil dipilih, gambar akan ditampilkan

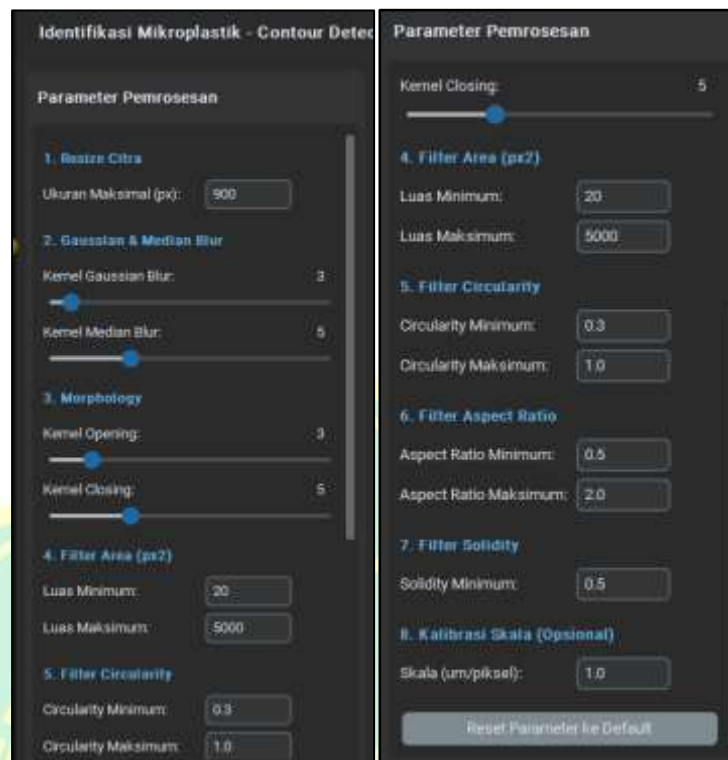
pada area pratinjau sebagai konfirmasi bahwa data masukan telah berhasil dimuat ke dalam sistem.

Tahap ini merupakan bagian yang penting karena kualitas citra yang dimasukkan akan memengaruhi hasil identifikasi. Oleh karena itu, citra yang digunakan harus memiliki kualitas yang baik, tingkat ketajaman yang cukup, serta objek mikroplastik yang terlihat jelas sehingga proses pengolahan citra dapat dilakukan secara optimal.

Setelah citra berhasil dimuat, sistem berada pada kondisi siap untuk menjalankan proses identifikasi. Seluruh tahapan pengolahan citra akan dilakukan secara otomatis ketika proses deteksi dijalankan sehingga peneliti tidak perlu melakukan pengolahan citra secara manual.

4.1.3 Parameter Pemrosesan

Sebelum proses identifikasi dilakukan, aplikasi menyediakan panel Parameter Pemrosesan yang digunakan untuk mengatur beberapa parameter pengolahan citra. Pengaturan parameter ini bertujuan agar proses identifikasi dapat disesuaikan dengan karakteristik citra mikroplastik yang digunakan sehingga hasil deteksi menjadi lebih optimal.



Gambar 4.3. Panel Parameter Pemrosesan

panel parameter terdiri atas beberapa pengaturan yang digunakan selama proses pengolahan citra. Parameter tersebut meliputi ukuran citra (*Resize*), ukuran kernel Gaussian Blur, ukuran kernel Median Blur, ukuran kernel Morphology, batas minimum dan maksimum Filter Area, nilai Circularity, Aspect Ratio, serta Solidity. Masing-masing parameter memiliki fungsi yang berbeda dalam meningkatkan kualitas citra maupun menyaring objek hasil deteksi.

Parameter Resize digunakan untuk menyeragamkan ukuran citra sehingga proses pengolahan menjadi lebih efisien. Parameter Gaussian Blur dan Median Blur digunakan untuk mengurangi *noise* pada citra sebelum dilakukan proses segmentasi. Selanjutnya, parameter Morphology digunakan untuk memperbaiki

bentuk objek dengan menghilangkan objek kecil yang tidak diperlukan maupun menutup celah pada objek yang terdeteksi.

Selain parameter pengolahan citra, tersedia pula parameter penyaringan objek seperti Filter Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity. Parameter tersebut digunakan untuk membedakan partikel mikroplastik dengan objek lain yang tidak sesuai dengan karakteristik penelitian. Dengan adanya pengaturan parameter tersebut, hasil identifikasi menjadi lebih akurat dan mampu mengurangi kesalahan deteksi akibat *noise* maupun objek lain pada citra.

4.1.4 Tahapan Preprocessing

Tahap *preprocessing* merupakan proses awal pengolahan citra sebelum dilakukan identifikasi menggunakan algoritma Contour Detection. Tujuan utama dari tahap ini adalah meningkatkan kualitas citra sehingga objek mikroplastik dapat dipisahkan dengan lebih jelas dari latar belakang. Seluruh proses dilakukan secara berurutan agar menghasilkan citra yang siap digunakan pada proses pendeteksian kontur.

a. Citra Original

Tahapan pertama adalah menampilkan citra asli (*Original Image*) yang diperoleh langsung dari data masukan. Pada tahap ini citra belum mengalami proses pengolahan sehingga masih mempertahankan kondisi awal sesuai dengan hasil pengambilan gambar menggunakan mikroskop.



Gambar 4.4. Citra Original

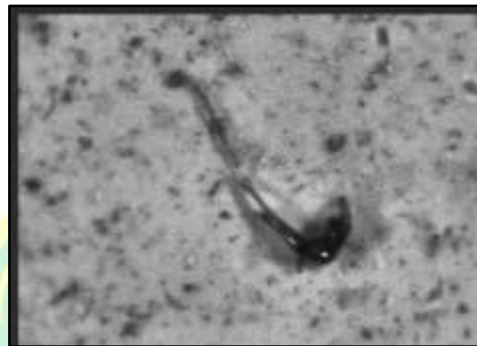
terlihat bahwa citra masih menampilkan objek mikroplastik beserta latar belakangnya tanpa adanya proses pengolahan maupun penandaan objek. Pada tahap ini belum terdapat garis kontur, nomor identifikasi, ataupun informasi hasil pengukuran karena sistem belum menjalankan proses deteksi. Citra yang ditampilkan hanya berfungsi sebagai data masukan yang akan diproses pada tahapan berikutnya.

Citra *Original* menjadi acuan dalam proses pengolahan citra karena seluruh tahapan *preprocessing* dilakukan berdasarkan citra ini. Selanjutnya, citra akan diproses melalui tahapan konversi grayscale, Gaussian Blur, Median Blur, Threshold (Otsu), Morphology, dan Edge Detection sebelum dilakukan proses Contour Detection. Setiap tahapan tersebut bertujuan meningkatkan kualitas citra sehingga objek mikroplastik dapat dipisahkan dengan lebih jelas dari latar belakang dan menghasilkan proses identifikasi yang lebih akurat.

b. Konversi *Grayscale*

Setelah citra asli berhasil dimuat ke dalam sistem, tahapan berikutnya adalah proses konversi citra berwarna (*RGB*) menjadi citra grayscale. Proses ini bertujuan untuk mengubah informasi warna menjadi tingkat intensitas keabuan sehingga data yang diproses menjadi lebih sederhana. Dengan

menggunakan satu kanal intensitas, proses pengolahan citra pada tahap berikutnya dapat dilakukan dengan lebih cepat tanpa mengurangi informasi penting mengenai bentuk dan posisi objek.



Gambar 4.5. Hasil Konversi Grayscale

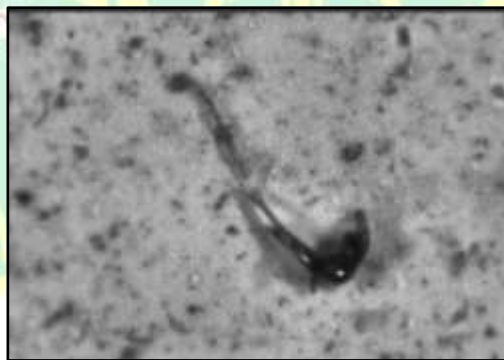
terlihat bahwa citra yang sebelumnya memiliki informasi warna telah berubah menjadi citra keabuan (*grayscale*). Meskipun informasi warna telah dihilangkan, bentuk partikel mikroplastik yang berada di bagian tengah citra masih terlihat dengan jelas. Selain itu, tekstur permukaan dan butiran-butiran kecil pada latar belakang juga masih tampak, namun seluruh objek kini hanya direpresentasikan berdasarkan perbedaan tingkat intensitas cahaya.

Proses konversi *grayscale* dilakukan sebagai tahap awal dalam *preprocessing* karena algoritma pengolahan citra yang digunakan pada penelitian ini lebih efektif bekerja pada citra dengan satu kanal intensitas dibandingkan citra berwarna. Penyederhanaan data ini membantu mengurangi kompleksitas proses komputasi sehingga tahapan Gaussian Blur, Median Blur, Threshold (Otsu), Morphology, Edge Detection, dan Contour Detection dapat dijalankan dengan lebih efisien.

Hasil konversi *grayscale* juga mempermudah sistem dalam membedakan objek mikroplastik dengan latar belakang berdasarkan perbedaan intensitas keabuan. Oleh karena itu, kualitas citra *grayscale* sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses segmentasi dan pendeteksian kontur pada tahapan berikutnya. Semakin jelas perbedaan intensitas antara objek dan latar belakang, semakin mudah sistem mengidentifikasi batas partikel mikroplastik sehingga hasil deteksi yang diperoleh menjadi lebih akurat.

c. Gaussian Blur

Setelah proses konversi *grayscale* selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Gaussian Blur. Proses ini bertujuan untuk mengurangi *noise* dan menghaluskan citra sebelum dilakukan proses segmentasi. Penghalusan citra diperlukan agar variasi intensitas yang tidak penting dapat dikurangi sehingga batas objek mikroplastik menjadi lebih mudah dikenali pada tahapan berikutnya.



Gambar 4.6. Hasil Gaussian Blur

bahwa citra menjadi lebih halus dibandingkan citra *grayscale*. Butiran-butiran kecil pada latar belakang mulai berkurang sehingga perbedaan antara objek mikroplastik dan latar belakang menjadi lebih jelas. Meskipun terjadi

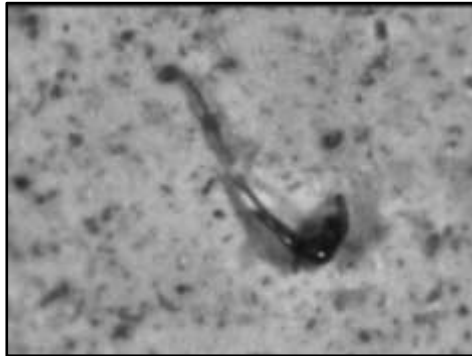
proses penghalusan, bentuk utama partikel mikroplastik masih dapat dipertahankan sehingga informasi objek tidak hilang.

Pada penelitian ini, proses Gaussian Blur dilakukan menggunakan kernel yang telah ditentukan pada panel parameter aplikasi. Ukuran kernel dapat disesuaikan sesuai karakteristik citra yang digunakan. Semakin besar ukuran kernel, proses penghalusan akan semakin kuat, namun penggunaan kernel yang terlalu besar dapat menyebabkan detail objek ikut menghilang. Oleh karena itu, pemilihan ukuran kernel harus disesuaikan agar mampu mengurangi *noise* tanpa menghilangkan bentuk partikel mikroplastik.

Hasil dari proses Gaussian Blur menjadi masukan pada tahap Median Blur. Kombinasi kedua proses tersebut bertujuan menghasilkan citra yang lebih bersih sehingga proses segmentasi dan pendeteksian kontur dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang lebih baik.

d. Median Blur

Setelah proses konversi *grayscale* selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Gaussian Blur. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi *noise* dan menghaluskan citra sebelum dilakukan proses segmentasi. Penggunaan Gaussian Blur membantu mengurangi variasi intensitas piksel yang tidak diperlukan sehingga objek mikroplastik dapat dipisahkan dengan lebih baik dari latar belakang pada tahapan berikutnya.



Gambar 4.7. Hasil Median Blur

bahwa citra mengalami proses penghalusan dibandingkan dengan hasil konversi *grayscale*. Butiran-butiran kecil pada latar belakang mulai berkurang sehingga tampilan citra menjadi lebih halus. Meskipun demikian, bentuk utama partikel mikroplastik masih dapat dikenali dengan jelas dan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa proses Gaussian Blur mampu mengurangi gangguan pada citra tanpa menghilangkan informasi penting yang diperlukan dalam proses identifikasi.

Pada penelitian ini, proses Gaussian Blur dilakukan menggunakan kernel yang telah ditentukan melalui panel parameter pada aplikasi. Besarnya ukuran kernel memengaruhi tingkat penghalusan citra. Semakin besar ukuran kernel yang digunakan, semakin kuat efek penghalusan yang dihasilkan. Namun, penggunaan kernel yang terlalu besar dapat menyebabkan detail objek menjadi kurang jelas sehingga pemilihan ukuran kernel perlu disesuaikan agar keseimbangan antara pengurangan *noise* dan kejelasan objek tetap terjaga.

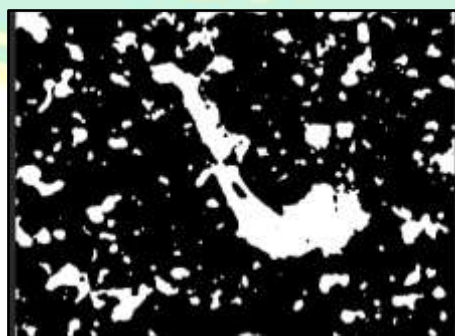
Hasil dari proses Gaussian Blur selanjutnya digunakan sebagai masukan pada tahap Median Blur. Kombinasi kedua proses tersebut bertujuan menghasilkan citra yang lebih bersih sehingga proses Threshold (Otsu) dan

Contour Detection dapat dilakukan dengan lebih optimal. Dengan kualitas citra yang lebih baik, sistem diharapkan mampu mendeteksi batas partikel mikroplastik secara lebih akurat serta mengurangi kesalahan identifikasi yang disebabkan oleh *noise* pada citra.

e. Threshold (*Otsu*)

Setelah proses Median Blur selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Threshold (*Otsu*). Tahap ini bertujuan untuk memisahkan objek partikel mikroplastik dari latar belakang dengan mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner. Pada citra biner, setiap piksel hanya memiliki dua nilai, yaitu hitam dan putih. Proses ini memudahkan sistem dalam mengenali area yang merupakan objek dan area yang menjadi latar belakang sehingga proses identifikasi dapat dilakukan dengan lebih efektif.

Metode Otsu Thresholding digunakan karena mampu menentukan nilai ambang (*threshold*) secara otomatis berdasarkan distribusi intensitas piksel pada citra. Dengan metode ini, sistem tidak memerlukan penentuan nilai ambang secara manual sehingga proses segmentasi menjadi lebih objektif dan mampu menyesuaikan karakteristik setiap citra yang dianalisis.



Gambar 4.8. Hasil Threshold (*Otsu*)

bahwa citra telah berhasil diubah menjadi citra biner, di mana objek partikel mikroplastik ditampilkan dengan warna putih, sedangkan latar belakang ditampilkan dengan warna hitam. Bentuk partikel mikroplastik pada bagian tengah citra tampak lebih jelas dibandingkan pada tahap sebelumnya sehingga batas antara objek dan latar belakang dapat dikenali dengan lebih baik oleh sistem.

Selain objek utama, masih terlihat beberapa area berwarna putih berukuran kecil yang tersebar pada berbagai bagian citra. Area tersebut merupakan objek kecil atau *noise* yang masih ikut tersegmentasi selama proses *thresholding*. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun metode Otsu berhasil memisahkan objek dari latar belakang, hasil segmentasi masih memerlukan penyempurnaan agar hanya objek yang sesuai dengan karakteristik partikel mikroplastik yang dipertahankan.

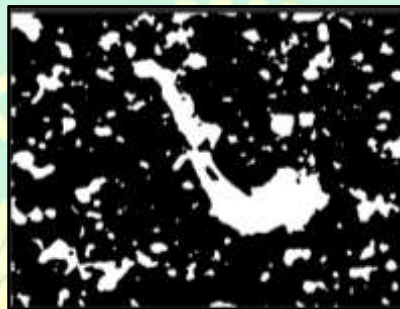
Oleh karena itu, hasil dari proses Threshold (Otsu) digunakan sebagai masukan pada tahap Morphology. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi *noise*, memperbaiki bentuk objek, serta menghilangkan bagian-bagian kecil yang tidak diperlukan sehingga objek partikel mikroplastik menjadi lebih utuh dan siap untuk diproses pada tahap Edge Detection dan Contour Detection.

f. Morphology

Setelah proses Threshold (Otsu) selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Morphology. Tahap ini bertujuan untuk menyempurnakan hasil segmentasi dengan memperbaiki bentuk objek dan mengurangi *noise* yang masih terdapat pada citra. Operasi morfologi dilakukan agar objek partikel mikroplastik

memiliki bentuk yang lebih utuh sehingga memudahkan proses identifikasi pada tahapan selanjutnya.

Pada penelitian ini, proses Morphology menggunakan operasi Opening dan Closing. Operasi Opening digunakan untuk menghilangkan objek-objek kecil atau *noise* yang tidak diinginkan, sedangkan operasi Closing digunakan untuk menutup celah atau lubang kecil pada objek sehingga bentuk partikel menjadi lebih lengkap dan tidak terputus.



Gambar 4.9. Hasil Morphology

bahwa hasil segmentasi menjadi lebih baik dibandingkan dengan tahap Threshold (Otsu). Bentuk partikel mikroplastik pada bagian tengah citra tampak lebih utuh karena beberapa bagian yang sebelumnya terputus telah tersambung kembali. Selain itu, lubang-lubang kecil yang terdapat pada objek mulai berkurang sehingga bentuk partikel menjadi lebih jelas.

Pada bagian latar belakang masih terlihat beberapa objek berwarna putih berukuran kecil. Namun, dibandingkan dengan hasil Threshold (Otsu), jumlah *noise* yang dapat memengaruhi proses identifikasi telah berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa proses Morphology mampu meningkatkan kualitas hasil segmentasi sehingga objek utama lebih mudah dibedakan dari objek-objek lain di sekitarnya.

Hasil dari proses Morphology selanjutnya digunakan sebagai masukan pada tahap Edge Detection. Dengan bentuk objek yang lebih utuh dan *noise* yang lebih sedikit, sistem dapat mendeteksi batas partikel mikroplastik secara lebih akurat. Tahap ini menjadi penting karena kualitas hasil Morphology akan mempengaruhi keberhasilan proses pencarian tepi dan Contour Detection pada tahap berikutnya.

g. Edge Detection

Setelah proses Morphology selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Edge Detection. Tahap ini bertujuan untuk mendeteksi batas atau tepi setiap objek pada citra berdasarkan perubahan intensitas piksel. Proses ini dilakukan agar bentuk partikel mikroplastik dapat dikenali dengan lebih jelas sebelum dilakukan proses pencarian kontur menggunakan algoritma Contour Detection.



Gambar 4.10. Hasil Edge Detection

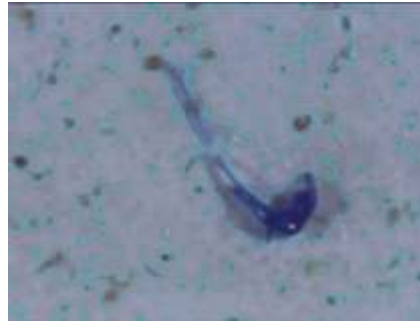
sistem berhasil mendeteksi tepi setiap objek yang terdapat pada citra. Hasil deteksi ditampilkan dalam bentuk garis berwarna putih dengan latar belakang berwarna hitam. Garis-garis tersebut mengikuti bentuk objek sehingga batas setiap partikel dapat terlihat dengan lebih jelas dibandingkan pada tahap sebelumnya.

Objek mikroplastik yang berada pada bagian tengah citra memiliki garis tepi yang terlihat utuh dan mengikuti bentuk objek secara menyeluruh. Selain itu, beberapa objek lain yang memenuhi hasil segmentasi juga memiliki garis tepi yang jelas. Hal ini menunjukkan bahwa proses Edge Detection berhasil mengekstraksi batas objek berdasarkan perubahan intensitas piksel sehingga informasi bentuk objek dapat dipertahankan.

Hasil dari proses Edge Detection menjadi masukan pada tahap Contour Detection. Garis tepi yang telah diperoleh digunakan oleh sistem untuk menemukan kontur setiap objek, kemudian dilakukan proses penyaringan berdasarkan parameter Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity. Dengan demikian, proses Edge Detection berperan penting dalam meningkatkan ketepatan sistem untuk mendeteksi dan mengidentifikasi partikel mikroplastik.

h. Proses *Contour Detection*

Setelah proses Edge Detection selesai dilakukan, sistem melanjutkan ke tahap Contour Detection. Tahap ini bertujuan untuk menemukan batas setiap objek yang terdapat pada citra berdasarkan hasil deteksi tepi. Proses dilakukan menggunakan fungsi `findContours()` dari library OpenCV, yang bekerja dengan menelusuri garis tepi objek sehingga setiap objek yang berhasil ditemukan akan direpresentasikan dalam bentuk kontur.

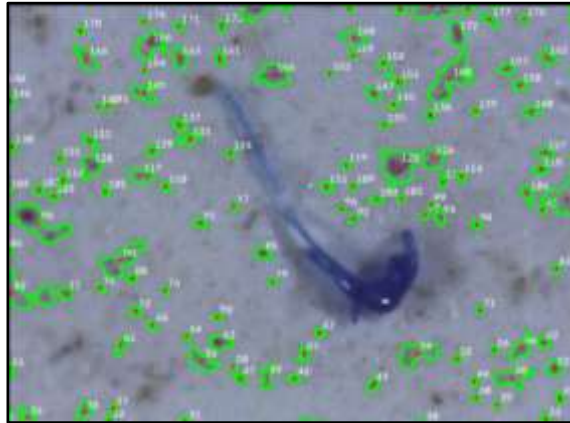


Gambar 4. Proses Contour Detection

Sistem mendeteksi seluruh kontur objek pada citra dan menampilkannya dengan garis berwarna cyan. Selanjutnya, kontur disaring berdasarkan Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity untuk menghilangkan *noise* serta objek yang tidak memenuhi kriteria. Hasil penyaringan kemudian digunakan sebagai dasar untuk menghasilkan Hasil Deteksi Partikel Mikroplastik.

i. Hasil Deteksi Partikel Mikroplastik

Tahap Hasil Deteksi Partikel Mikroplastik merupakan tahap akhir dari proses identifikasi yang dilakukan oleh sistem. Setelah seluruh kontur berhasil diperoleh, sistem melakukan proses penyaringan (*filtering*) berdasarkan parameter Area, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity. Hanya objek yang memenuhi seluruh kriteria tersebut yang ditampilkan sebagai hasil deteksi, sedangkan objek yang tidak sesuai akan diabaikan.



Gambar 4.12. Hasil Deteksi Partikel Mikroplastik

Sistem menampilkan statistik hasil deteksi berupa jumlah partikel, luas, diameter, Circularity, Aspect Ratio, dan Solidity. Informasi tersebut digunakan untuk mengetahui karakteristik partikel yang berhasil terdeteksi.

Setelah proses identifikasi partikel mikroplastik selesai dilakukan, sistem secara otomatis menampilkan ringkasan statistik hasil deteksi. Informasi statistik ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai hasil identifikasi tanpa harus melihat data setiap partikel secara satu per satu. Selain itu, statistik yang ditampilkan juga membantu dalam mengevaluasi hasil deteksi yang diperoleh dari citra yang dianalisis.



Gambar 5. Statistik Hasil Deteksi

panel Ringkasan Statistik menampilkan beberapa informasi penting yang dihasilkan selama proses identifikasi. Informasi tersebut meliputi jumlah partikel yang berhasil dideteksi, rata-rata luas partikel, rata-rata diameter partikel, serta waktu yang dibutuhkan sistem untuk menyelesaikan proses deteksi. Pada contoh hasil pengujian, sistem berhasil mendeteksi 212 partikel mikroplastik dengan rata-rata diameter sebesar 14,15 piksel dan waktu pemrosesan sekitar 0,06 detik. Informasi tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan proses identifikasi dalam waktu yang relatif singkat meskipun harus menganalisis banyak objek pada satu citra.

Selain ringkasan statistik, sistem juga menampilkan grafik distribusi kelas bentuk partikel. Grafik tersebut memperlihatkan jumlah partikel yang termasuk ke dalam setiap kategori bentuk, yaitu Pellet, Fragment, Film, Fiber, dan Foam. Penyajian data dalam bentuk grafik memudahkan peneliti untuk mengetahui

karakteristik partikel mikroplastik yang paling dominan pada citra yang dianalisis tanpa harus menghitungnya secara manual.

Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Gambar 4.13, kategori Pellet memiliki jumlah partikel terbanyak, kemudian diikuti oleh Fragment dan Film, sedangkan kategori Fiber dan Foam memiliki jumlah yang relatif lebih sedikit. Informasi tersebut memberikan gambaran mengenai distribusi bentuk partikel mikroplastik yang berhasil diidentifikasi oleh sistem dan dapat digunakan sebagai dasar dalam proses analisis pada tahap selanjutnya.

Keberadaan panel Statistik Hasil Deteksi memberikan kemudahan dalam mengevaluasi hasil identifikasi karena seluruh informasi penting dapat ditampilkan secara otomatis setelah proses deteksi selesai. Dengan demikian, peneliti dapat memperoleh ringkasan hasil analisis secara cepat tanpa harus melakukan perhitungan maupun pengelompokan data secara manual.

j. Data Partikel Mikroplastik

Setelah proses identifikasi selesai dilakukan, sistem menampilkan data setiap partikel mikroplastik yang berhasil dideteksi dalam bentuk tabel. Penyajian data dalam bentuk tabel bertujuan untuk memudahkan proses analisis karena seluruh hasil pengukuran setiap partikel dapat dilihat secara terstruktur dan sistematis. Informasi tersebut juga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses evaluasi maupun analisis karakteristik partikel mikroplastik.

ID	Kelas	Luas	Diam.	Circ.	AR
1	Pellet	10.5	11.3	0.77	1.0
2	Fragment	25.0	6.8	0.71	1.03
3	Pellet	16.0	6.8	0.89	1.14
4	Fragment	40.5	7.2	0.78	1.25
5	Pellet	31.5	6.3	0.92	1.14
6	Pellet	61.5	8.8	0.88	1.0
7	Fragment	282.5	19.0	0.81	1.65
8	Fragment	1169.0	30.6	0.54	1.14
9	Pellet	26.0	5.8	0.88	1.33
10	Pellet	20.5	5.1	0.8	1.8
11	Pellet	62.1	8.8	0.83	1.1
12	Pellet	26.0	5.8	0.81	0.88
13	Fragment	42.0	7.3	0.67	0.94
14	Pellet	500.5	11.3	0.86	1.08
15	Pellet	101.5	11.4	0.87	0.92
16	Fragment	43.5	7.4	0.79	1.11
17	Film	201.0	10.2	0.55	1.24
18	Film	1020.0	36.0	0.39	0.41
19	Film	320.0	20.2	0.52	1.17
20	Fiber	112.5	12.0	0.38	1.22
21	Pellet	35.5	6.3	0.77	0.78
22	Pellet	23.5	5.5	0.84	1.03
23	Pellet	41.0	7.2	0.88	0.7
24	Fiber	170.0	14.7	0.41	0.68
25	Fragment	150.5	13.8	0.6	0.9
26	Fragment	43.5	7.4	0.72	0.73
27	Pellet	207.5	10.3	0.89	0.89

Gambar 4.14 Klasifikasi partikel Terdeteksi

setiap baris pada tabel merepresentasikan satu partikel mikroplastik yang berhasil diidentifikasi oleh sistem. Tabel tersebut menampilkan beberapa informasi penting, antara lain ID partikel, kelas bentuk partikel, luas partikel (Area), diameter, Circularity, Aspect Ratio, serta parameter pengukuran lainnya yang dihitung secara otomatis selama proses identifikasi. Penyajian data secara terstruktur memudahkan peneliti dalam melakukan pengamatan terhadap karakteristik masing-masing partikel.

Kolom ID berfungsi sebagai nomor identifikasi untuk membedakan setiap partikel yang berhasil dideteksi. Kolom Kelas menunjukkan hasil klasifikasi bentuk partikel, seperti Pellet, Fragment, Film, Fiber, dan Foam. Selanjutnya, kolom Luas dan Diameter menyajikan hasil pengukuran ukuran partikel berdasarkan satuan piksel. Sementara itu, nilai Circularity digunakan untuk menunjukkan tingkat kebulatan objek, sedangkan Aspect Ratio menggambarkan perbandingan antara panjang dan lebar objek. Parameter-parameter

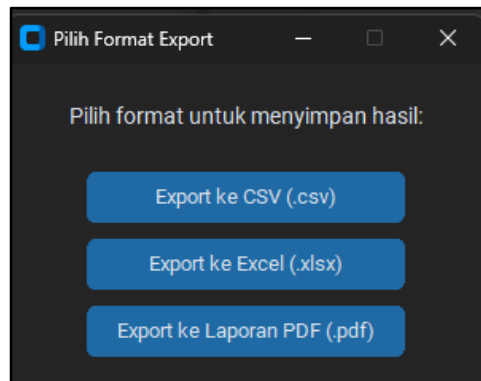
tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses klasifikasi serta analisis karakteristik partikel mikroplastik.

Selain menampilkan hasil pengukuran, tabel ini juga memungkinkan peneliti untuk membandingkan karakteristik setiap partikel secara langsung. Perbedaan nilai luas, diameter, maupun parameter bentuk menunjukkan bahwa setiap partikel memiliki karakteristik geometris yang berbeda. Informasi tersebut menjadi pendukung dalam proses analisis distribusi bentuk partikel mikroplastik yang terdapat pada citra.

Dengan adanya penyajian data dalam bentuk tabel, seluruh hasil identifikasi dapat diamati secara lebih rinci dibandingkan hanya melalui tampilan citra hasil deteksi. Informasi yang disajikan pada tabel juga dapat digunakan sebagai sumber data untuk proses dokumentasi, analisis statistik, maupun ekspor hasil ke dalam berbagai format yang disediakan oleh aplikasi.

k. Penyimpanan dan Ekspor Hasil

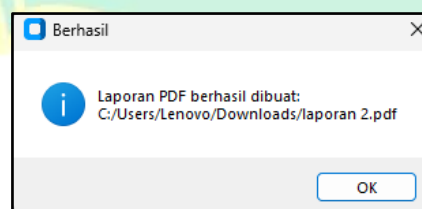
Setelah proses identifikasi partikel mikroplastik selesai dilakukan, aplikasi menyediakan fitur Penyimpanan dan Ekspor Hasil untuk menyimpan data hasil analisis ke dalam beberapa format file. Fitur ini bertujuan agar hasil identifikasi dapat didokumentasikan, digunakan kembali untuk analisis lanjutan, serta memudahkan penyusunan laporan penelitian.

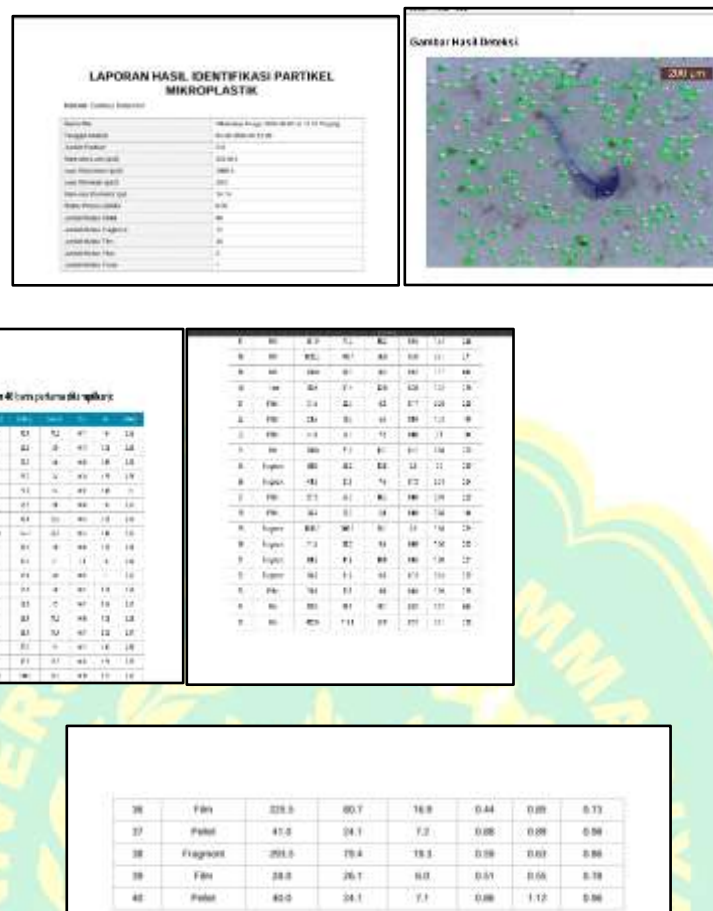


Gambar 4.15. Proses Ekspor Hasil

ketika tombol Export Hasil dipilih, sistem akan menampilkan jendela pemilihan format penyimpanan. Aplikasi menyediakan tiga pilihan format ekspor, yaitu CSV (.csv), Microsoft Excel (.xlsx), dan PDF (.pdf). Pengguna dapat memilih salah satu format sesuai dengan kebutuhan pengolahan data maupun dokumentasi hasil penelitian.

Setelah format penyimpanan dipilih, sistem akan memproses seluruh data hasil identifikasi dan menyimpannya secara otomatis ke dalam format yang dipilih. Data yang diekspor meliputi informasi setiap partikel mikroplastik yang berhasil dideteksi, seperti nomor identifikasi, kelas partikel, luas, diameter, nilai Circularity, Aspect Ratio, Solidity, serta parameter pengukuran lainnya yang dihasilkan selama proses identifikasi.





Gambar 4.16. Hasil File Ekspor

bahwa sistem berhasil menghasilkan laporan hasil identifikasi dalam format PDF. Laporan tersebut memuat informasi umum hasil analisis, seperti nama file, tanggal analisis, jumlah partikel yang berhasil dideteksi, rata-rata luas partikel, luas maksimum, luas minimum, rata-rata diameter, waktu proses, serta jumlah partikel pada setiap kelas bentuk (Pellet, Fragment, Film, Fiber, dan Foam). Selain itu, laporan juga menyertakan citra hasil deteksi yang telah diberi kontur serta tabel data partikel sebagai dokumentasi hasil identifikasi.

Pada laporan hasil ekspor juga ditampilkan data setiap partikel mikroplastik yang berhasil diidentifikasi. Informasi tersebut meliputi ID partikel, kelas bentuk, luas, keliling, diameter, Circularity, Aspect Ratio, dan

Solidity. Penyajian data secara sistematis memudahkan peneliti dalam melakukan analisis lebih lanjut maupun proses verifikasi terhadap hasil identifikasi yang dilakukan oleh sistem.

Keberhasilan sistem dalam menghasilkan file laporan menunjukkan bahwa fitur Export Hasil tidak hanya menyediakan pilihan format penyimpanan, tetapi juga mampu menyimpan seluruh hasil identifikasi secara lengkap ke dalam dokumen yang siap digunakan. Fitur ini memberikan kemudahan dalam proses dokumentasi, penyusunan laporan penelitian, maupun penyimpanan arsip hasil analisis sehingga seluruh data yang dihasilkan dapat diakses kembali tanpa perlu melakukan proses identifikasi ulang.

1. Evaluasi Kinerja Sistem

Tahap Evaluasi Kinerja Sistem merupakan tahap akhir dalam implementasi aplikasi deteksi partikel mikroplastik. Evaluasi dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi partikel mikroplastik dengan cara membandingkan hasil deteksi otomatis yang dihasilkan oleh sistem dengan hasil anotasi manual (*ground truth*) yang dibuat oleh peneliti. Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem dalam mengidentifikasi partikel mikroplastik pada citra digital.

Evaluasi Sistem - Accuracy, Precision, Recall, F1-Score

Evaluasi ini membandingkan hasil deteksi otomatis sistem dengan analisis manual (*ground truth*) yang dibuat peneliti secara manual.

Jumlah partikel terdeteksi sistem saat ini: 212

Masukkan nilai TP, FP, FN, dan TN hasil pencocokan manual:

TP - True Positive (partikel benar terdeteksi):

FP - False Positive (deteksi salah / noise dianggap partikel):

FN - False Negative (partikel nyata tidak terdeteksi):

TN - True Negative (area non-partikel benar diabaikan):

Hitung Metrik Evaluasi

Accuracy: 0.889 (88.9%)

Precision: 0.963 (96.3%)

Recall: 0.984 (98.4%)

F1-Score: 0.942 (94.2%)

Gambar 4.17. Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi kinerja sistem dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi partikel mikroplastik pada citra uji. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi sistem dengan *ground truth* yang telah ditentukan secara manual. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk menentukan nilai True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN).

Penentuan TP, FP, FN, dan TN dilakukan berdasarkan pencocokan koordinat X dan Y antara titik *ground truth* dengan hasil deteksi sistem. Deteksi yang sesuai dengan *ground truth* dihitung sebagai TP, deteksi yang tidak memiliki pasangan sebagai FP, sedangkan titik *ground truth* yang tidak terdeteksi dihitung sebagai FN. Pada citra non-partikel yang berhasil diabaikan oleh sistem, hasil tersebut dihitung sebagai TN.

Nilai TP, FP, TN, dan FN selanjutnya digunakan untuk menghitung Precision, Recall, Accuracy, dan F1-Score. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

$$F1 - Score = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \times 100\%$$

Tabel 4.1. Rekapitulasi TP, FP, TN, FN.

No	Precision	Recall	Accuracy	F1-Score
1	100,00%	83,33%	83,33%	90,91%
2	100,00%	75,00%	75,00%	85,71%
3	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
4	100,00%	85,71%	85,71%	92,31%
5	100,00%	75,00%	75,00%	85,71%
6	100,00%	85,71%	85,71%	92,31%
7	100,00%	83,33%	83,33%	90,91%
8	100,00%	92,31%	92,31%	96,00%
9	86,67%	72,22%	68,42%	78,79%
10	100,00%	75,00%	75,00%	85,71%
11	100,00%	62,50%	62,50%	76,92%
12	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
13	100,00%	66,67%	66,67%	80,00%
14	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
15	100,00%	75,00%	75,00%	85,71%

No	Precision	Recall	Accuracy	F1-Score
16	100,00%	80,00%	80,00%	88,89%
17	100,00%	60,00%	60,00%	75,00%
18	100,00%	80,00%	80,00%	88,89%
19	—	0,00%	0,00%	0,00%
20	50,00%	50,00%	33,33%	50,00%
21	—	0,00%	0,00%	0,00%
22	—	—	—	—

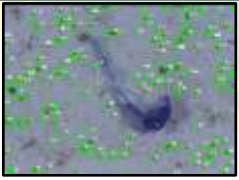
Sebagai contoh, pada citra nomor 1 berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh TP = 15, FP = 0, TN = 0, dan FN = 3. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung Precision, Recall, Accuracy, dan F1-Score pada Tabel 4.1. Hasil perhitungan menunjukkan Precision sebesar 100,00%, Recall sebesar 83,33%, Accuracy sebesar 83,33%, dan F1-Score sebesar 90,91%. Perhitungan yang sama diterapkan pada setiap citra uji berdasarkan nilai TP, FP, TN, dan FN yang terdapat pada Tabel 4.3.

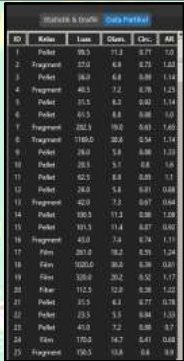
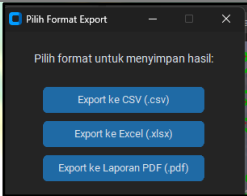
4.2 Pengujian Fungsional Sistem

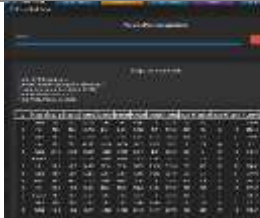
Pengujian fungsional sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur pada aplikasi dapat berfungsi sesuai dengan tujuan yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan dengan mencoba setiap fitur secara langsung, kemudian mengamati apakah sistem dapat menjalankan fungsi tersebut dengan baik dan menghasilkan keluaran yang sesuai.

Fitur yang diuji meliputi proses memasukkan citra, pengaturan parameter pemrosesan, proses deteksi partikel mikroplastik, penyimpanan hasil deteksi, ekspor data, hingga evaluasi kinerja sistem. Setiap fitur dinyatakan berhasil apabila dapat dijalankan tanpa mengalami kesalahan dan menghasilkan keluaran sesuai dengan fungsi yang diharapkan.

Table 4.2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

No	Fitur yang di uji	Hasil yang Di-harapkan	Status
1		Citra berhasil dimasukkan ke dalam aplikasi.	Berhasil
2		Parameter pemrosesan dapat diubah sesuai kebutuhan.	Berhasil
3		Sistem berhasil menjalankan proses deteksi partikel mikroplastik	Berhasil

No	Fitur yang di uji	Hasil yang Di-harapkan	Status
4		Kontur partikel berhasil dideteksi dan ditampilkan	Berhasil
5		Statistik hasil deteksi berhasil ditampilkan	Berhasil
6		Data partikel berhasil ditampilkan dalam bentuk tabel	Berhasil
7		Hasil deteksi berhasil diekspor ke format CSV, Excel, dan PDF	Berhasil
8		Nilai Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, dan Error Rate berhasil dihitung	Berhasil

No	Fitur yang di uji	Hasil yang Di-harapkan	Status
9		Beberapa citra berhasil diproses secara berurutan	Berhasil

seluruh fitur pada aplikasi berhasil dijalankan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Tidak ditemukan kendala yang menyebabkan fitur gagal beroperasi selama proses pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi telah memenuhi kebutuhan fungsional penelitian, sehingga seluruh fitur dapat digunakan untuk mendukung proses identifikasi partikel mikroplastik mulai dari memasukkan citra, melakukan deteksi, menampilkan hasil identifikasi, hingga menyimpan dan mengeksport hasil analisis.

4.3 Hasil Pengujian Menggunakan Data Uji

Setelah proses pelatihan profil data selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pengujian sistem terhadap 22 citra yang mewakili dua sampel penelitian, yaitu 11 citra air minum kemasan bermerek dan 11 citra air galon isi ulang. Setiap citra diproses melalui tahap pra-pemrosesan, kemudian dilakukan Contour Detection untuk mendeteksi objek partikel berdasarkan karakteristik geometrisnya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengidentifikasi partikel pada masing-masing sampel.

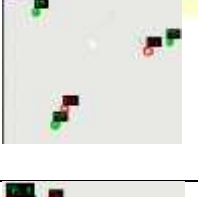
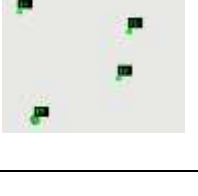
Hasil pengujian ditampilkan pada antarmuka aplikasi berupa jumlah partikel yang terdeteksi dan jenis partikel yang diidentifikasi. Hasil deteksi selanjutnya

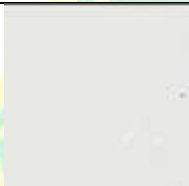
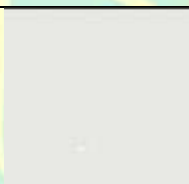
dibandingkan dengan Ground Truth untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi partikel melalui nilai TP, FP, FN, dan TN, yang kemudian digunakan dalam perhitungan Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score. Hasil pengujian 22 citra tersebut disajikan pada Tabel 4.3.

Table 1.3. Hasil Sistem Dengan Data Uji

No	Gambar	Jumlah Titik GT	TP	FP	TN	FN	F1 Scors
1		18	15	0	0	3	90.91%
2		16	12	0	0	4	85.71%
3		7	7	0	0	0	100%
4		7	6	0	0	1	92.31%
5		8	6	0	0	2	85.71%

No	Gambar	Jumlah Titik GT	TP	FP	TN	FN	F1 Scors
6		14	12	0	0	2	92.31%
7		12	10	0	0	2	92.31%
8		13	12	0	0	1	96.00%
9		18	13	2	0	5	78.79%
10		12	9	0	0	3	85.71%
11		8	5	0	0	3	76.92%

No	Gambar	Jumlah Titik GT	TP	FP	TN	FN	F1 Scors
12		3	3	0	0	0	100%
13		3	2	0	0	1	80%
14		3	3	0	0	0	100%
15		4	3	0	0	1	85.75%
16		5	4	0	0	1	88.89%
17		5	3	0	0	2	75.00%
18		5	4	0	0	1	88.89%

No	Gambar	Jumlah Titik GT	TP	FP	TN	FN	F1 Scors
19		1	0	0	0	1	0%
20		2	1	1	0	1	50.00%
21		1	0	0	0	1	0.00%
22		-	-	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.3, dari 21 citra yang memiliki data hasil pengujian terdapat 128 titik Ground Truth. Dari jumlah tersebut, sistem berhasil mendeteksi 101 objek sebagai True Positive (TP), menghasilkan 3 objek False Positive (FP), tidak terdapat True Negative (TN), dan terdapat 37 objek False Negative (FN). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar objek pada Ground Truth berhasil dideteksi oleh sistem, meskipun masih terdapat beberapa objek yang belum berhasil terdeteksi. Nilai F1-Score pada setiap citra menunjukkan tingkat keseimbangan antara ketepatan dan kemampuan sistem dalam mendeteksi objek. Hasil pada Tabel 4.3 selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan nilai

evaluasi sistem yang disajikan pada Tabel 4.1.

4.4 Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan sistem dalam mendeteksi partikel mikroplastik pada data uji. Analisis didasarkan pada hasil deteksi pada setiap citra serta nilai evaluasi yang diperoleh dari perbandingan hasil deteksi dengan Ground Truth.

Berdasarkan Tabel 4.3, dari 21 citra yang memiliki data hasil pengujian terdapat 128 titik Ground Truth. Sistem berhasil mendeteksi 101 objek sebagai True Positive (TP), menghasilkan 3 objek False Positive (FP), tidak terdapat True Negative (TN), dan terdapat 37 objek False Negative (FN). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar objek pada Ground Truth berhasil dideteksi oleh sistem, meskipun masih terdapat beberapa objek yang belum berhasil terdeteksi.

Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh Precision sebesar 97,12%, Recall sebesar 73,19%, Accuracy sebesar 71,63%, dan F1-Score sebesar 83,80%. Nilai Precision yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar objek yang terdeteksi oleh sistem sesuai dengan Ground Truth. Hal ini juga terlihat dari jumlah False Positive yang hanya sebanyak 3 objek.

Sementara itu, nilai Recall sebesar 73,19% menunjukkan bahwa sistem telah berhasil menemukan sebagian besar objek yang terdapat pada Ground Truth, tetapi masih terdapat 37 objek yang belum berhasil dideteksi. Kondisi tersebut terlihat dari adanya nilai False Negative pada beberapa citra. Objek yang

berukuran kecil, tipis, atau memiliki bentuk dan batas yang kurang jelas dapat menyebabkan objek belum berhasil dideteksi oleh sistem.

Nilai F1-Score sebesar 83,80% menunjukkan bahwa hasil deteksi sistem memiliki keseimbangan yang cukup baik antara ketepatan hasil deteksi dan kemampuan dalam menemukan objek. Sementara itu, nilai Accuracy sebesar 71,63% menunjukkan tingkat ketepatan sistem berdasarkan keseluruhan hasil pengujian yang tersedia pada Tabel 4.3.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem sudah mampu mendeteksi sebagian besar partikel mikroplastik pada data uji. Namun, masih terdapat beberapa objek yang belum berhasil terdeteksi, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai False Negative sebanyak 37 objek. Dengan demikian, metode Contour Detection yang digunakan telah dapat melakukan deteksi partikel mikroplastik pada data uji, meskipun masih terdapat kondisi citra tertentu yang menyebabkan sebagian objek belum berhasil terdeteksi.

1. Precision

$$\begin{aligned} Precision &= \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \\ &= \frac{101}{101 + 3} \times 100\% = 97,12\% \end{aligned}$$

2. Recall

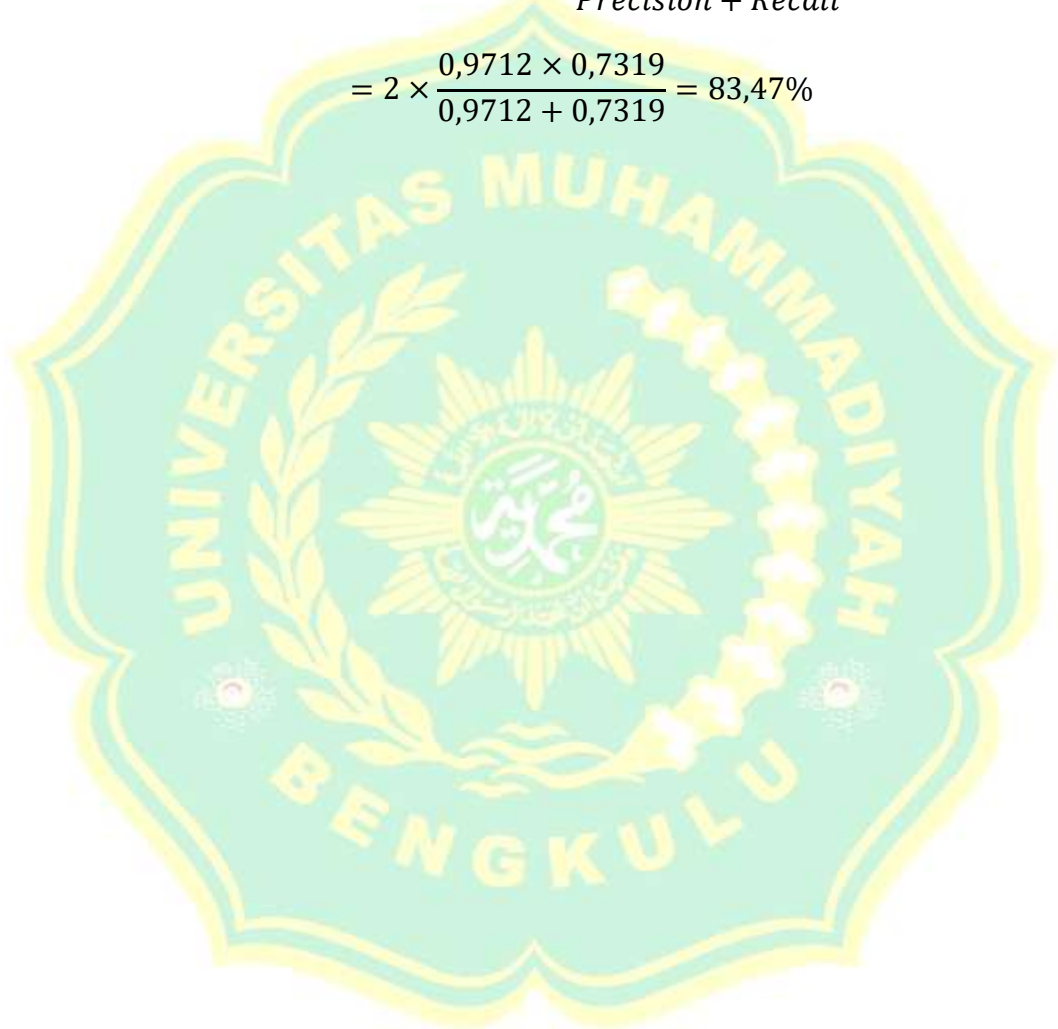
$$\begin{aligned} Recall &= \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \\ &= \frac{101}{101+37} \times 100\% = 73,19\% \end{aligned}$$

3. Accuracy

$$\begin{aligned}
 Accuracy &= \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100\% \\
 &= \frac{101 + 0}{101 + 3 + 0 + 37} \times 100\% = 71,63\%
 \end{aligned}$$

4. F1 Scors

$$\begin{aligned}
 F1 - Score &= 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \\
 &= 2 \times \frac{0,9712 \times 0,7319}{0,9712 + 0,7319} = 83,47\%
 \end{aligned}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, metode Contour Detection dapat digunakan untuk mendeteksi partikel mikroplastik pada citra digital melalui tahapan *grayscale*, *Gaussian Blur*, *thresholding*, pencarian kontur menggunakan *findContours()*, seleksi kontur berdasarkan luas, dan pemberian *bounding box*. Setiap tahapan *preprocessing* berperan dalam proses deteksi hingga menghasilkan objek yang dapat diidentifikasi oleh sistem. Berdasarkan pengujian terhadap 21 citra yang memiliki data hasil pengujian dari total 22 citra uji, diperoleh 128 titik Ground Truth dengan TP = 101, FP = 3, TN = 0, dan FN = 37. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh Precision sebesar 97,12%, Recall sebesar 73,19%, Accuracy sebesar 71,63%, dan F1-Score sebesar 83,47%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar objek pada *ground truth* berhasil dideteksi oleh sistem, meskipun masih terdapat beberapa objek yang belum berhasil dideteksi. Sistem masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi objek tertentu, terutama objek yang berukuran kecil, tipis, memiliki bentuk kurang jelas, atau tidak menghasilkan kontur yang sesuai dengan parameter deteksi. Secara keseluruhan, metode Contour Detection menggunakan Python dan OpenCV dapat digunakan untuk membantu proses deteksi partikel mikroplastik pada citra digital, meskipun masih terdapat keterbatasan pada kondisi citra tertentu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pengembangan penelitian selanjutnya agar sistem deteksi partikel mikroplastik dapat menghasilkan hasil yang lebih baik, antara lain sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah data uji partikel mikroplastik yang lebih banyak dan lebih bervariasi, terutama dari segi ukuran, bentuk, ketebalan, dan kondisi pencahayaan, sehingga sistem dapat diuji pada kondisi citra yang lebih beragam.
2. Tahapan preprocessing dapat dikembangkan dengan menggunakan metode yang lebih adaptif, seperti adaptive thresholding atau teknik peningkatan kualitas citra lainnya, agar objek mikroplastik dapat dipisahkan dari latar belakang dengan lebih jelas.
3. Parameter pada proses Contour Detection, seperti threshold dan minimum contour area, perlu dilakukan optimasi agar objek yang berukuran kecil atau tipis dapat lebih mudah terdeteksi dan jumlah False Negative dapat dikurangi.
4. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan metode Contour Detection dengan metode deteksi lainnya, termasuk metode berbasis Deep Learning, untuk mengetahui metode yang lebih sesuai dalam mendeteksi partikel mikroplastik pada berbagai kondisi citra.

5. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan proses kalibrasi ukuran sehingga luas dan diameter partikel yang diperoleh dari sistem dapat dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm), serta meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan informasi hasil deteksi secara lebih lengkap



DAFTAR PUSTAKA

- Daulay, M. S., (2025). *Identifikasi Mikroplastik pada Air Minum Dalam Kemasan Air Isi Ulang*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(2), pp.45–53
- .Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). Histograms and Matching. *Learning OpenCV*, 193--.
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Kusnadi, D. R. M. S. (2022). Pengelolaan Citra Digital. *Jurnal Teknik Informatika Kaputama (JTik)*, 6(1), 108–119.
- Manuaba, I. P., & Indah, K. A. T. (2022). Perbaikan Deteksi Objek Metode Findcontour Menggunakan Logika Fuzzy untuk Mendeteksi Objek Aksara Bali pada Daun Lontar. *Technomedia Journal*, 7(3), 314–322. <https://doi.org/10.33050/tmj.v7i3.1927>
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
- Sari, D. I., Pradana, D., Alwardah, D. N., Liza, A., & Irawan, S. (2026). *Analysis Of Translation From English Into Indonesian*. 2.
- Szeliski, R. (2011). Computer vision: algorithms and applications. *Choice Reviews Online*, 48(09), 48-5140-48–5140. <https://doi.org/10.5860/choice.48-5140>
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). *Freshwater Microplastics - The Handbook of Environmental Chemistry* 58. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M. and De France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, 155, pp.410-422.
- Kaehler, Adrian, and Gary Bradski. *Learning OpenCV 3: computer vision in C++ with the OpenCV library*. " O'Reilly Media, Inc.", 2016.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). Histograms and Matching. *Learning OpenCV*, 193--.

- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Kusnadi, D. R. M. S. (2022). Pengelolaan Citra Digital. *Jurnal Teknik Informatika Kaputama (JTIK)*, 6(1), 108–119.
- Manuaba, I. P., & Indah, K. A. T. (2022). Perbaikan Deteksi Objek Metode Findcontour Menggunakan Logika Fuzzy untuk Mendeteksi Objek Aksara Bali pada Daun Lontar. *Technomedia Journal*, 7(3), 314–322. <https://doi.org/10.33050/tmj.v7i3.1927>
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
- Sari, D. I., Pradana, D., Alwardah, D. N., Liza, A., & Irawan, S. (2026). *Analysis Of Translation From English Into Indonesian*. 2.
- Szeliski, R. (2011). Computer vision: algorithms and applications. *Choice Reviews Online*, 48(09), 48-5140-48-5140. <https://doi.org/10.5860/choice.48-5140>
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). *Freshwater Microplastics - The Handbook of Environmental Chemistry* 58. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>