

LAPORAN TUGAS AKHIR 2

Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection



Penyusun:

Hanas Muchammad Hanis (20524108)

Arya Steva (20524151)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection

Penyusun:

Hanas Muchammad Hanis (20524108)

Arya Steva (20524151)

Yogyakarta, 9 Juli 2024

Dosen Pembimbing



Suatmi Murnani, S.T., M.Eng.

NIK. 205241301

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection



Disusun oleh:
Hanas Muchammad Hanis 20524108
Arya Steva 20524151

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal: 26 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Suatmi Murnani, S.T., M.Eng.
Anggota Penguji 1 : Alvin Sahroni, S.T., M.Eng., Ph.D.
Anggota Penguji 2 : Dr. dr. Isnatin Miladiyah, M.Kes.

**Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal: 23 Agustus 2024
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

035240102

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 05-Agustus-2024



Arya Steva (20524151)



Hanas Muchammad Hanis (20524108)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN	iii
DAFTAR ISI	iv
RINGKASAN	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Identifikasi Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan	4
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	6
2.1 Studi Literatur dan Observasi	6
2.1.1 Kajian Terhadap Solusi-solusi Sejenis	6
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Mikroskop	9
2.2.2 <i>Eschericia Coli</i>	11
2.2.3 YOLO	11
2.3 Analisis <i>Stakeholder</i>	12
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem	13
2.5 Spesifikasi Sistem	14
BAB 3. USULAN SOLUSI	15
3.1 Usulan Solusi 1	16
3.1.1 Desain Sistem 1	17
3.1.2 Rencana Anggaran Desain Sistem 1	21
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1	21
3.2 Usulan Solusi 2	22
3.2.1. Desain Sistem 2	23
3.2.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 2	26
3.2.3 Analisis Risiko Desain 2	27
3.3 Pengukuran Performa Usulan Solusi 1 dan 2	27
3.4 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi Terbaik	29
3.5 <i>Gantt Chart</i>	32
3.6 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	33
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN	37
4.1 Hasil Rancangan Sistem	37

4.1.1 Perangkat Keras	37
4.1.1.1 Raspberry Pi	37
4.1.1.2 Kamera	38
4.1.1.3 <i>Case</i> , Dudukan Kaca Preparat, dan LED	38
4.1.1.4 Komparasi dengan Produk Serupa	40
4.1.2 Perangkat Lunak	40
4.1.2.1 Pengambilan Citra	44
4.1.2.2 Praproses	44
4.1.2.3 Pelatihan dan Validasi	45
4.1.2.4 UI dan UX	48
4.1.2.5 Penyimpanan Data	48
4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan	49
4.2.1 Pengujian Hitung <i>E. Coli</i>	49
4.2.2 Pengujian Instrumen Kalibrasi Objek Lensa	50
BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS	53
5.1 Analisis Hasil	53
5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator	53
5.1.1.1 Pengujian Hitung <i>E. Coli</i>	53
5.1.1.2 Pengujian Instrumen Kalibrasi Objek Lensa	56
5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem	58
5.1.3 Pengalaman Pengguna	60
5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya	60
5.2 Dampak Implementasi Sistem	63
5.2.1. Aspek Teknologi/Inovasi	63
5.2.2. Aspek Sosial	63
5.2.3. Aspek Ekonomi	63
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	64
6.1 Kesimpulan	64
6.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	68

RINGKASAN

Pada era modern, mikroorganisme seperti bakteri memiliki peran vital dalam produksi pangan, probiotik, dan energi terbarukan, tetapi juga menimbulkan tantangan seperti ancaman terhadap keamanan pangan dan resistensi antibiotik. Berbagai metode deteksi telah dikembangkan, namun sebagian besar memerlukan alat besar dan waktu yang lama. Untuk mengatasi ini, pengembangan mikroskop pintar portabel yang dapat diakses di mana saja menjadi solusi potensial di Indonesia. Sistem yang dirancang mengintegrasikan teknik otomatisasi untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi keterlibatan manusia dalam pengamatan. Meskipun terbatas pada pengamatan bakteri tertentu dan memiliki batasan teknis, sistem ini diharapkan dapat memfasilitasi riset laboratorium dengan lebih baik. Evaluasi solusi mencakup dua pendekatan berbeda: solusi 1 menggunakan komponen berkualitas tinggi dengan anggaran terjangkau, sementara solusi 2 menekankan biaya lebih rendah daripada solusi 1 dengan performa yang masih dapat diterima. Solusi 1 direkomendasikan untuk kebutuhan riset yang lebih kritis, sementara solusi 2 cocok untuk lingkungan yang memerlukan biaya yang lebih hemat.

Hasil rancangan sistem ini terdiri perangkat keras yang dirancang menggunakan Raspberry Pi 4 model B, kamera Pi HQ dengan lensa pembesaran 180x, LED, dan *powerbank*, untuk memastikan kualitas gambar dan stabilitas optimal dalam deteksi *E. Coli* dengan biaya produksi 5,2 juta rupiah. Kemudian sistem perangkat lunak memanfaatkan model YOLOv8n dalam proses deteksi *E. Coli*, meliputi pengambilan gambar, praproses, pelatihan, dan validasi untuk mencapai akurasi tinggi. Antarmuka pengguna dirancang intuitif dan terintegrasi dengan penyimpanan data *cloud*. Pengujian dengan data tidak *real* menunjukkan bahwa alat dengan kamera menghasilkan nilai RMSE 1,47 dan akurasi 81,25%, mendekati nilai aktual dibandingkan tanpa kamera yang memiliki RMSE 1,97 dan akurasi 84,38 %. Meski demikian, kalibrasi lensa untuk menguji kemampuan menangkap luasan citra menunjukkan alat hanya dapat mendeteksi detail hingga grup 4 nomor 1 pada target uji daya resolusi USAF 1951 atau di ukuran 31,3 μm ; mengindikasikan bahwa sistem optik saat ini tidak memadai untuk deteksi bakteri mikroskopik seperti *E. Coli* secara akurat. Kemudian saran untuk *future work* meliputi pengujian lebih lanjut dengan data *real*, pengoptimalan atau penggantian lensa, perbaikan desain fisik sistem, dan peningkatan fitur aplikasi untuk memberikan *bounding box* untuk memudahkan analisis lebih lanjut.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Pada era modern, mikroorganisme seperti bakteri sudah dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti produksi pangan, probiotik, hingga energi terbarukan [1]. Meskipun demikian, bakteri masih memiliki implikasi negatif, seperti berbahaya terhadap keamanan pangan dan air, pembusukan makanan, dan menyebabkan infeksi pada manusia, hewan, dan tanaman. Selain itu, meningkatnya tingkat resistensi antibiotik, adanya pertukaran produk pangan secara global, dan penggunaan bakteri untuk produk farmasi meningkatkan kebutuhan kecepatan identifikasi dan enumerasi bakteri yang akurat [2].

Berbagai metode untuk mendeteksi bakteri telah dikembangkan secara luas seperti metode berbasis asam nukleat, berbasis struktur, berbasis spektrometri massa, dan berbasis optik [3]. Selain itu, *Quantitative Phase Imaging* (QPI) pada prinsipnya dapat mengidentifikasi jenis mikroorganisme yang berbeda, tetapi identifikasi dan analisis menggunakan mikroskop optik secara konvensional memakan waktu yang lama, rawan terjadinya *human error*, alat tidak portabel dan memiliki ukuran yang besar sehingga sulit untuk ditempatkan di sebuah kondisi tertentu. Hal ini tentu saja menyulitkan para peneliti jika memerlukan identifikasi mikroorganisme di sebuah tempat yang kecil maupun di luar ruangan (misal: *chamber* tertutup, hutan, sungai) atau bahkan yang memerlukan penanganan cepat sebuah indikasi penyakit tahap awal atau metastasis. Oleh karena itu, diperlukan sebuah perangkat yang dapat secara cepat menganalisis, dapat diakses dimanapun, dan portabel untuk mengidentifikasi sifat-sifat mikroorganisme. Solusi yang paling potensial adalah dengan menggunakan perangkat mikroskop pintar yang portabel.

Pembuatan mikroskop pintar memiliki banyak manfaat penting dalam bidang bioteknologi karena teknologi ini menggabungkan kemampuan mikroskop konvensional dengan kecerdasan buatan dan teknologi digital. Sejauh pengetahuan kami, perancangan mikroskop pintar yang portabel untuk mendeteksi mikrobiologi belum banyak berkembang di Indonesia. Salah satu aspek inti implementasi perangkat keras mikroskop pintar ini ditargetkan berbiaya rendah namun efektif dengan tetap mengurangi ukuran dan imobilitas mikroskop optik konvensional dengan konsumsi daya rendah. Akurasi yang ditargetkan adalah dapat mengidentifikasi mikroorganisme dengan ukuran diantara 2 – 10 μm dan dapat diakses melalui *multi-device*.

Dalam hal ukuran, *E. Coli* adalah mikroorganisme yang cocok digunakan sebagai objek utama pada penelitian ini. Bakteri *E. Coli* dipilih sebagai sampel utama karena kemampuannya dalam hal kecepatan kloning, dan penghantar elektron di bidang energi 6 terbarukan (untuk penelitian lanjutan). Bentuk *E. Coli* yang konsisten (silinder) dengan ukuran diameter sekitar 0.5 μm dan panjang 2 μm menjadi tantangan akurasi mikroskop yang akan dirancang.

Namun, masih menjadi catatan bahwa teknologi mikroskop memiliki nilai harga yang tidak terjangkau secara umum, beberapa mikroskop memiliki desain tidak portabel, dan juga *monitoring* serta deteksi masih manual serta harus berada di waktu dan tempat di mana mikroskop berada. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada pelaksanaan tugas akhir kali ini dilakukan pembuatan *Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection* yang mana memiliki desain yang portabel, otomatisasi pengambilan hasil data, dan harga yang tergolong terjangkau dengan mempertimbangkan kecanggihan fitur yang ditawarkan.

Pada proses tahap survei dilakukan pada tanggal 3 Oktober 2023 secara langsung dengan mahasiswi Fisika UNESA yang sedang menjalani magang di BRIN Pusat Riset Fotonik. Wawancara dilakukan untuk menggali informasi tentang penggunaan mikroskop dan permasalahannya bagi akademisi selama melakukan riset observasi penelitian objek kecil. Hasil dari wawancara, meliputi pertanyaan dan tanggapan dari narasumber, dapat ditemukan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Hasil wawancara dengan pengguna mikroskop

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Jenis mikroskop apa yang kamu gunakan selama riset di BRIN, analog atau digital?	Tentunya digital. Selain menggunakan lensa optik mikroskop, juga menggunakan kamera untuk memperoleh gambar lebih jelas di penampil.
2	Jika berkenan, apakah kamu dapat menceritakan dan mempraktikkan secara langsung bagaimana mengoperasikannya dengan sampel sel yang ada di meja kerjamu?	Boleh. Langkah pertama pastinya colokkan mikroskop ke suplai daya PLN agar bisa hidup ketika ditekan tombol ON. Selanjutnya, letakkan objek pengamatan yang akan diteliti di glass preparat tepat di bawah lensa mikroskop. Selanjutnya untuk pencahayaan, dapat dihidupkan lampu LED yang sudah terpasang di mikroskop dan juga lampu ruangan untuk memperoleh data gambar atau video yang jelas. Selanjutnya untuk mengatur jarak lensa ke objek pengamatan juga dapat diatur. Selain itu juga dapat menggunakan fitur <i>zoom in</i> atau <i>zoom out</i>

No	Pertanyaan	Jawaban
		sampai dengan 4 kali pembesaran. Selanjutnya untuk penyimpanan hasil gambar, cukup tekan <i>save</i> , atau untuk pengambilan video dapat menekan <i>start/stop</i> . Selanjutnya data tersebut disimpan dalam <i>microSD</i> . Saya kali ini memindahkan data <i>microSD</i> ke <i>gadget</i> untuk pengolahan data lebih lanjut dan tentunya jangan lupa mematikan mikroskop dengan menekan tombol OFF dan cabut alat dari suplai daya.
3	Dari praktik tadi, saya melihat masih menggunakan suplai daya dari PLN ya?	Betul. Akibatnya apabila listrik mati, saya tidak dapat melakukan pengamatan lagi sampai listrik menyala kembali.
4	Saya melihat juga sepertinya pencahayaan berperan penting ya dalam pengambilan objek ini, mengapa?	Perihal pencahayaan memang memiliki peranan penting untuk memperoleh gambar yang jelas. Hanya saja ketika telah diperoleh data gambar atau video berkas cahaya tersebut masih membekas di data hasil riset hanya saja hal ini sudah maklum untuk mendeteksi berkas cahaya ini
5	Berarti, kamu masih perlu memindahkan data secara manual ya dari mikroskop ke <i>gadget</i> atau laptop?	Ya. Dapat dikatakan pengerjaan data ini meskipun menggunakan mikroskop digital, untuk pengolahan data hasil hanya dapat dilakukan secara manual dari satu <i>device</i> ke <i>device</i> lain yang impaknya penelitian harus dilakukan di waktu dan tempat mikroskop berada
6	Terlepas dari cara kerja mikroskop yang kamu gunakan, apakah mikroskopnya dapat dibawa kemana-mana, mungkin dibawa pulang dikerjakan di kos?	Sebetulnya mikroskop ini dapat dibawa kemana saja, namun sangat beresiko untuk rusak apabila tidak cermat membawanya karena dimensinya yang cukup besar terlebih terdapat <i>display</i> penampil atau komponen lainnya yang tentunya saya khawatir jikalau rusak apalagi secara harga cukup mahal.

1.2 Rumusan Masalah

Sistem yang akan dirancang memiliki rumusan masalah dengan sistem mikroskop sebagai berikut.

1. Bagaimana meningkatkan portabilitas pada mikroskop?
2. Bagaimana mengurangi intervensi operator pada mikroskop?
3. Bagaimana membuat mikroskop dengan biaya yang lebih murah?

4. Bagaimana meningkatkan akurasi perhitungan jumlah bakteri menggunakan model AI pada mikroskop?

1.3 Tujuan

Sistem yang akan dirancang yang akan dirancang bertujuan untuk mengimplementasikan solusi otomasi mikroskop sebagai berikut.

1. Untuk membuat mikroskop yang portabel.
2. Untuk membuat mikroskop yang otomatis dan mengurangi intervensi operator dengan sistem otomatisasi.
3. Untuk membuat mikroskop dengan harga yang terjangkau.
4. Untuk membuat mikroskop dengan akurasi perhitungan jumlah bakteri tinggi menggunakan model AI.

1.4 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah atau ruang lingkup permasalahan yang didapatkan yaitu diantaranya:

1. Sistem tidak dirancang untuk mengamati jenis bakteri selain *E. Coli* dalam satu waktu pengamatan.
2. Sistem hanya dirancang untuk menghitung laju pertumbuhan (*growth rate*) dan laju kematian (*death rate*) bakteri *E. Coli*.
3. Sistem dirancang untuk dapat beroperasi secara kontinu selama 24 jam dalam proses inkubasi bakteri *E. Coli*.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection mempunyai batasan realistis dalam aspek keteknikan sebagai berikut.

1. Sistem dirancang dapat diamati hasilnya di mana saja melalui aplikasi berbasis *android*.
2. Sistem dirancang dapat digunakan otomatis dengan menggunakan model YOLOv8 yang sudah dibuat.
3. Sistem dirancang memiliki harga di bawah Rp7.000.000,00.

4. Sistem dirancang mempunyai tingkat error akurasi sebesar 5% dalam mendeteksi objek yang sebenarnya.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Studi Literatur dan Observasi

Proses observasi bertujuan untuk memastikan bahwa rancangan sistem yang diusulkan sesuai dengan batasan realistis yang telah ditetapkan dan mampu memenuhi kebutuhan awal pengguna yang telah diidentifikasi dalam tahap *prototyping*. Tahapan observasi dimulai dengan kajian pustaka, yaitu pengumpulan informasi terkait sistem yang akan dirancang. Melalui kajian pustaka ini, beberapa solusi terbaik diidentifikasi untuk mengatasi permasalahan yang telah dirumuskan bersama *stakeholder* melalui survei langsung. Hasil dari proses observasi mencakup dua hal utama: informasi mengenai solusi terbaik yang dapat diterapkan dan spesifikasi sistem yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Proses ini memastikan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya sesuai dengan batasan yang ada, tetapi juga efektif dalam mengakomodasi kebutuhan pengguna yang telah ditetapkan.

2.1.1 Kajian Terhadap Solusi-solusi Sejenis

Observasi dimulai dengan melakukan kajian terhadap solusi-solusi sejenis yang telah dikembangkan sebelumnya melalui studi literatur. Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan informasi yang relevan dengan sistem yang akan dirancang untuk menjadi solusi dari permasalahan yang telah dirumuskan bersama pengguna. Kajian pustaka bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai solusi yang telah ada, guna memperluas pemahaman dalam merancang sistem yang efektif untuk mengatasi permasalahan yang telah diidentifikasi. Tabel 2.1 menunjukkan informasi mengenai alternatif solusi yang telah dirancang sebelumnya untuk pengolahan gambar mikroskopik, yang dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem ini.

Tabel 2.1 Hasil studi literatur solusi sejenis

Judul	Usulan solusi	Hasil
MAIScope: <i>A Low-cost Portable Microscope with Built in Vision AI to Automate Microscopic Diagnosis</i>	Pembuatan prototipe mikroskop pintar harga terjangkau dengan dimensi portabel untuk mendiagnosis penyakit malaria	MAIScope merupakan sebuah perangkat baru yang produksinya <i>low-cost</i> (\$99.51-\$124.51) dan portabel (20x10x8cm) yang dapat mengambil gambar mikroskopis dan secara otomatis mendeteksi parasit malaria menggunakan <i>embedded AI</i> . Perangkat ini

Judul	Usulan solusi	Hasil
<i>of Diseases in Remote Rural Settings</i> [4]		<p>memiliki dua subsistem. Subsistem pertama adalah jaringan <i>deep learning multi-layered</i> di perangkat, yang mendeteksi <i>Red Blood Cell</i> (RBC) dari gambar mikroskopis, kemudian mengklasifikasi parasit malaria dalam masing-masing RBC. Pengujian dan validasi menunjukkan akurasi rata-rata yang tinggi sebesar 89,9% dan untuk klasifikasi dan presisi rata-rata sebesar 61,5% untuk model deteksi menggunakan TensorFlow Lite. Sementara untuk mengatasi keterbatasan kapasitas penyimpanan dan komputasi, sistem ini juga memiliki sinkronisasi <i>cloud</i>, yang mengirim gambar ke <i>cloud</i> saat terhubung ke internet untuk tujuan analisis dan peningkatan model. Subsistem kedua adalah perangkat keras yang terdiri dari komponen-komponen seperti Raspberry Pi, kamera, layar sentuh penampil, dan <i>bead microscope</i> yang lebih terjangkau dan inovatif. Penggunaan <i>bead microscope</i> menunjukkan kualitas gambar yang serupa dengan mikroskop cahaya yang cukup mahal. Perangkat ini dirancang untuk portabel dan dapat berfungsi di lingkungan terpencil tanpa internet atau daya listrik. Solusi ini dapat diperluas untuk penyakit lain yang memerlukan mikroskop dan dapat membantu menstandarkan otomatisasi diagnosis penyakit di kawasan rural. Hanya saja dalam prototipenya masih skala laboratorium.</p>
<i>Predictive Modeling of Antibiotic Susceptibility in E. Coli Strains Using the U-Net Network and One-Class Classification</i> [5]	<p>Pemodelan jaringan U-Net untuk menentukan persentase akurasi <i>susceptibility</i> antibiotik jenis <i>ciprofloxacin</i>, <i>efotaxime</i> dan <i>piperacillin</i> pada strain <i>E. Coli</i></p>	<p>Resistensi antibiotik pada patogen bakteri telah menjadi masalah kesehatan global serius akibat penyalahgunaan antibiotik. Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk menentukan kepekaan bakteri terhadap antibiotik, tetapi masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan dalam aplikasi klinis. Penelitian ini bertujuan menilai dan mengotomatisasi deteksi kepekaan bakteri terhadap tiga antibiotik: <i>ciprofloxacin</i>, <i>cefotaxime</i>, dan <i>piperacillin</i>, menggunakan pemrosesan gambar dan algoritma <i>machine learning</i>. Gambar mikroskopis dari berbagai strain <i>E. Coli</i> dikumpulkan, dan jaringan saraf konvolusi U-Net digunakan untuk segmentasi area yang menunjukkan bakteri. Bagian <i>encoder</i> dari U-Net yang telah dilatih digunakan sebagai</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil
		<p><i>extractor</i> fitur, dan fitur <i>bottleneck</i> U-Net digunakan untuk memprediksi kepekaan antibiotik <i>strain E. Coli</i> menggunakan mesin OCSVM. model satu kelas ini dilatih pada gambar kontrol yang tidak diobati, sementara gambar bakteri yang diobati diprediksi sebagai kontrol atau non-kontrol. Jika gambar bakteri yang diobati diprediksi sebagai kontrol, diasumsikan bakteri tersebut resisten. Sebaliknya, bakteri sensitif menunjukkan morfologi berbeda dan diklasifikasikan sebagai non-kontrol. Hasil menunjukkan 83% area di bawah kurva ROC untuk model OCSVM menggunakan fitur <i>bottleneck</i> U-Net dari gambar bakteri kontrol saja. Sensitivitas rata-rata model ini adalah 91,67% untuk <i>cefotaxime</i> dan 86,61% untuk <i>piperacillin</i>. Sensitivitas rata-rata untuk <i>ciprofloxacin</i> hanya 59,72% karena morfologi bakteri tidak sepenuhnya terdeteksi.</p>
<p>DeLTA: <i>Automated cell segmentation, tracking, and lineage reconstruction using deep learning</i> [6]</p>	<p>Penggunaan <i>deep learning</i> untuk segmentasi, pelacakan, dan rekonstruksi keturunan <i>E. Coli</i></p>	<p>Analisis gambar mikroskop sering kali menjadi hambatan dalam menghitung data mikroskop sel tunggal karena biasanya memerlukan pengawasan dan kurasi manusia, yang membatasi akurasi dan kecepatan. Untuk mengatasi masalah ini, <i>pipeline</i> analisis gambar berbasis <i>deep learning</i> dikembangkan untuk melakukan segmentasi, pelacakan, dan rekonstruksi garis keturunan sel. Analisis ini berfokus pada film <i>time-lapse</i> sel <i>E. Coli</i> yang terperangkap dalam perangkat mikrofluidik "<i>mother machine</i>", sebuah platform yang dapat digunakan untuk analisis sel tunggal jangka panjang. Meskipun <i>deep learning</i> sebelumnya telah digunakan untuk segmentasi sel, pendekatan ini juga menggunakan <i>machine learning</i> untuk pelacakan sel dan rekonstruksi garis keturunan, yang merupakan inovasi utama. Dengan kerangka kerja ini, hasil yang sangat akurat dapat diperoleh (tingkat kesalahan hanya 1%) tanpa perlu campur tangan manusia. Selain itu, algoritma ini sangat cepat, dengan analisis lengkap dari gambar yang berisi sekitar 150 sel hanya memerlukan waktu kurang dari 700 milidetik. Kerangka kerja ini tidak terbatas pada satu jenis eksperimen tertentu dan dapat digunakan untuk gambar <i>time-lapse</i> dari</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil
		organisme lain atau konfigurasi eksperimen yang berbeda. Kemajuan ini membuka banyak kemungkinan, termasuk pelacakan ekspresi gen secara <i>real-time</i> dan analisis <i>strain library</i> dengan <i>throughput</i> tinggi pada resolusi sel tunggal.

Ketiga penelitian tersebut menawarkan solusi-solusi inovatif. MAIScope hadir dengan mikroskop pintar portabel yang terjangkau untuk diagnosis malaria, sementara penelitian tentang model prediktif U-Net dikembangkan untuk mengetahui sensitivitas antibiotik pada *death rate* bakteri *E. Coli*. Selain itu, DeLTA menampilkan pendekatan yang canggih dalam analisis sel tunggal dan garis keturunan *growth rate E. Coli* dengan tingkat akurasi yang tinggi dan kecepatan analisis yang cepat.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Mikroskop

Mikroskop adalah alat untuk melihat objek yang terlalu kecil untuk dilihat dengan mata telanjang. Alat utama dalam mikroskop yang digunakan untuk mengamati adalah lensa objektif dan lensa okuler. Mikroskop menggunakan dua buah lensa positif (lensa cembung). Lensa yang terletak di dekat mata (lensa bagian atas) disebut lensa okuler. Sedangkan lensa yang terletak dekat dengan objek benda yang diamati (lensa bagian bawah) disebut lensa objektif. Hal yang perlu diingat adalah fokus pada lensa obyektif lebih pendek dari fokus pada lensa okuler. Prinsip kerja atau cara kerja mikroskop secara sederhana adalah lensa objektif akan membentuk bayangan benda yang bersifat nyata, terbalik, dan diperbesar. Bayangan benda oleh lensa objektif akan ditangkap sebagai benda oleh lensa okuler, bayangan inilah yang tampak oleh mata.

Mikroskop mencakup berbagai teknologi inovatif yang terus berada di garis depan penelitian ilmiah. Sejak penemuan mikroskop pada abad ke-16, upaya terus-menerus dilakukan untuk meningkatkan resolusi, kecepatan pengambilan gambar, serta kemampuan mempelajari sel hidup lebih lama dengan dampak minimal terhadap kesehatannya. Kemajuan dalam bidang ini didorong oleh pengembangan cara deteksi, perbaikan perangkat lunak pencitraan dan analisis, serta metode *sampling* yang lebih baik. Mikroskop memungkinkan peneliti untuk melokalisasi dan mengukur struktur sub-seluler serta biomolekul, sehingga peneliti dapat memahami bagaimana

komposisi dan proses interaktif dalam sampel bervariasi antara kondisi sehat dan sakit. Sejarah mikroskop dimulai dengan penemuan oleh Hans dan Zacharias Janssen pada tahun 1590-an, yang kemudian disempurnakan oleh ilmuwan seperti Galileo Galilei, Anton Van Leeuwenhoek, dan Robert Hooke. Seiring waktu, inovasi seperti ultramikroskop, mikroskop fluoresensi, mikroskop elektron, dan mikroskop *tunneling scanning* terus mengembangkan bidang ini. Salah satu terobosan terbaru adalah *Super Resolution Microscopy* (SRM), yang mengatasi batas resolusi 200 nm dari mikroskop cahaya konvensional dan dapat mencapai resolusi hingga 10 nm. Selain itu, mikroskop ekspansi telah menjadi populer, terutama di kalangan ilmuwan saraf, karena memungkinkan ekspansi fisik sampel dengan polimer. Mikroskop elektron *real time*, yang menggunakan pulsa elektron singkat untuk resolusi temporal, dan *Scanning Helium Microscopy* (SHeM), yang menggunakan berkas helium netral untuk mengurangi risiko kerusakan sampel, juga menawarkan kemampuan baru dalam pencitraan resolusi tinggi. *Autofocus* cepat melalui *Rapid Autofocus via Pupil-split Image phase Detection* (RAPID) memungkinkan koreksi *real-time* dari sampel, sedangkan mikroskop pencitraan sel hidup memungkinkan studi sel tanpa mengganggu lingkungan inkubator CO₂, menjaga integritas sampel selama penelitian [7].

Banyak peneliti di dunia menginginkan analisis gambar yang dapat bekerja dengan cepat dan lancar dalam perolehan gambar, sehingga diperlukan sebuah mikroskop pintar yang dapat mengambil keputusan tentang apa, dan bagaimana, untuk mengambil gambar sebuah objek dengan cepat dan tepat. Secara global, beberapa kelompok penelitian sudah mengusulkan dan mendemonstrasikan konsep tersebut [8][9]. Secara konvensional, ImageJ dan CellProfiler adalah perangkat lunak yang digunakan para peneliti untuk menganalisis sebuah objek hasil penangkapan layar pada mikroskop. Tantangan saat ini, para peneliti berlomba-lomba dalam membuat alat yang futuristik berfokus pada *artificial intelligence*, *deep learning*, dan modifikasi optik sehingga perangkat lunak akan secara *smart* 'mengetahui' seperti apa struktur sel atau mikroorganisme yang berbeda, dan secara otomatis diidentifikasi dalam gambar saat diperoleh secara langsung. Meskipun perangkat dan ide ini sudah mulai dikembangkan bahkan sudah dikomersilkan, produk serupa memiliki harga yang fantastis dari puluhan hingga mencapai ratusan juta rupiah. Selain masalah akurasi, yang perlu dipertimbangkan adalah kerahasiaan data dari objek yang diteliti. Atas dasar pertimbangan tersebut, kemandirian perancangan mikroskop pintar yang portabel dan murah perlu dikembangkan di Indonesia.

2.2.2 *Escherichia coli*

Escherichia coli (*E. Coli*) adalah spesies bakteri yang besar di ukuran 2 - 10 μm (berbentuk silinder) dan beragam yang bisa ditemukan hampir di mana-mana. Spesies bakteri ini menunjukkan variasi biologis yang tinggi, di mana banyak jenis strain *E. Coli* penting dalam saluran pencernaan sementara jenis *strain* lain menunjukkan sifat patogen dan dapat menyebabkan banyak komplikasi di saluran kemih atau saluran usus. Untuk menyembuhkan infeksi semacam itu, antibiotik perlu digunakan [9]. Untuk memilih antibiotik yang efektif dalam mengobati infeksi yang parah, diperlukan penentuan profil kepekaan patogen penyebabnya. Hal ini dapat dilakukan melalui *Antibiotic Susceptibility Testing* (AST) yang seharusnya dalam kondisi ideal dilakukan dengan cepat, akurat, dan bersifat kuantitatif [8]. Hal ini menjadi acuan untuk mengembangkan pemodelan lebih lanjut untuk melakukan pendeteksian secara otomatis lebih cepat daripada cara konvensional yang lebih memakan waktu.

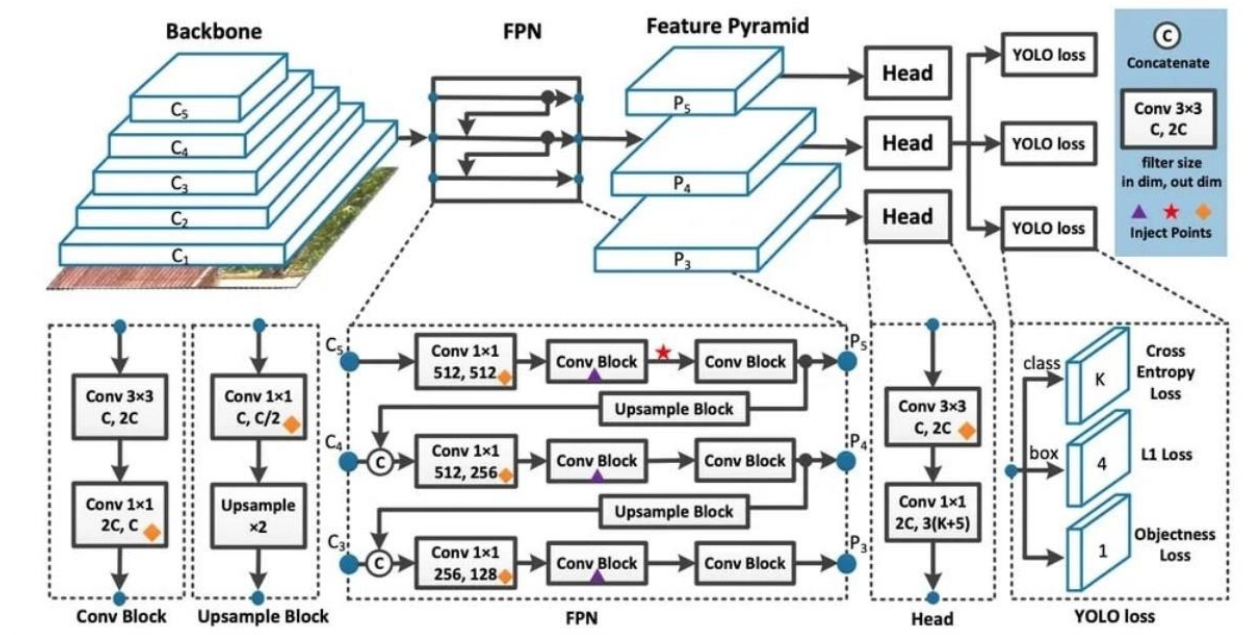
2.2.2 YOLO

Deteksi objek melibatkan identifikasi dan penempatan objek dalam gambar atau video. Metode konvensional seperti *sliding window* lambat dan mahal secara komputasi, sementara YOLO merevolusi bidang ini dengan memprediksi kotak pembatas dan probabilitas kelas dalam satu *forward pass*, membuatnya jauh lebih cepat [10]. YOLO adalah metode deteksi objek dengan model terpadu, yang memungkinkan jaringan saraf tunggal untuk secara langsung memprediksi kotak pembatas dan probabilitas kelas dalam satu gambar penuh dalam satu kali pemrosesan. Model YOLO dapat memproses gambar dengan kecepatan hingga 45 FPS (*frame per second*). Versi lebih kecil dari model ini, yaitu Fast YOLO, bahkan dapat mencapai kecepatan 155 FPS, menjadikannya algoritma tercepat dibandingkan dengan algoritma deteksi *real-time* lainnya. YOLO mengungguli metode tidak *real time* seperti Fast R-CNN dan Faster R-CNN yang hanya mampu mencapai 0,5 FPS dan 7 FPS. Kecepatan YOLO yang tinggi disebabkan oleh teknik perhitungan *single shot detection*, di mana CNN hanya dijalankan sekali dalam proses deteksi objek, berbeda dengan metode lain seperti R-CNN dan variannya yang menjalankan CNN beberapa kali [11].

Arsitektur YOLOv8 yang dikembangkan Ultralytics sebagaimana pada gambar 2.1 terdiri dari tiga komponen utama: *backbone*, *neck*, dan *head*. *Backbone* menggunakan CNN CSPDarknet53 untuk mengekstraksi fitur dan meningkatkan aliran informasi antar lapisan.

Convolutional Neural Network (CNN) sendiri merupakan salah satu jenis *Neural Network* (NN) yang khusus digunakan untuk memproses data citra. CNN memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengenali objek dalam sebuah gambar. Secara umum, CNN memiliki kesamaan dengan *Neural Network* pada umumnya, dengan komponen seperti neuron, bobot, bias, dan fungsi aktivasi. Perbedaannya terletak pada arsitekturnya yang terdiri dari dua bagian utama: *feature extraction layer* dan *fully connected layer* [12].

Kemudian bagian *neck* menggantikan FPN tradisional dengan modul C2f yang menggabungkan fitur semantik tinggi dengan informasi spasial rendah. *Head* menggunakan modul deteksi untuk memprediksi kotak pembatas, skor keberadaan objek, dan probabilitas kelas. YOLOv8 menawarkan beberapa manfaat, termasuk akurasi tinggi pada berbagai tolok ukur deteksi objek, kecepatan inferensi yang mengesankan untuk aplikasi *real time* seperti kendaraan otonom dan robotika, efisiensi tinggi dengan kebutuhan sumber daya komputasi yang rendah, serta bersifat *open source* dan didukung oleh komunitas yang aktif, mendorong pengembangan yang berkelanjutan [10].



Gambar 2.1 Arsitektur YOLOv8 [13]

2.3 Analisis Stakeholder

Dengan perangkat mikroskop pintar memungkinkan peneliti untuk menjelajahi sampel biologis dengan lebih rinci, mengidentifikasi struktur dan interaksi yang mungkin tidak dapat

terdeteksi dengan mikroskop optik konvensional serta memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis yang lebih kompleks, dengan membagikan data dengan lebih mudah, dan berkolaborasi dengan peneliti lain di seluruh dunia. Untuk penjelasan peran, kebutuhan dan dampak dari *stakeholder* terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Analisis *stakeholder*

No	Stakeholder	Peran	Kebutuhan
1	BRIN Fotonik	Pengguna sekaligus perancang optik pada mikroskop	Sistem mikroskop yang mampu mengidentifikasi secara mandiri atau otomatis karakteristik objek uji, mudah diakses di mana saja, dan harga yang terjangkau
2	BRIN Bioteknologi	Pengguna sekaligus penyedia <i>dataset</i> bakteri	Sistem mikroskop yang mampu mempercepat proses identifikasi objek uji secara akurat

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

Ada berbagai aspek yang mempengaruhi proses perancangan prototipe, beberapa pengaruh tersebut berasal dari beberapa sisi sebagai berikut.

- Manufaktur

Ketersediaan *chip* yang ada di dunia yang mempengaruhi stok Raspberry Pi dan komponen lainnya. Sehingga dalam perancangan dapat disiasati dengan pengadaan di awal-waktu dikarenakan harus mengimpor dari luar negeri karena ketersediaan di Indonesia cukup minim dan misalkan melakukan transaksi jual beli harus *pre-order*.

- Ekonomi

Aspek ekonomi mencakup biaya produksi, pengadaan bahan, dan sumber daya yang diperlukan dalam perancangan prototipe. Faktor seperti fluktuasi harga komponen (rupiah ke dolar), anggaran proyek, serta efisiensi biaya menjadi pertimbangan utama. Dalam kondisi ekonomi yang tidak stabil, misalnya, kenaikan harga bahan baku atau komponen elektronik dapat mempengaruhi total biaya dan jadwal pengembangan prototipe, terlebih beberapa harus impor.

- Regulasi kebijakan

Aspek ini mencakup peraturan dan kebijakan terkait akses terhadap data penting, seperti *dataset* bakteri dari BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) Bioteknologi. Akses ke *dataset* ini mungkin memerlukan izin atau persetujuan tertentu yang diatur oleh kebijakan institusi atau peraturan pemerintah. Kepatuhan terhadap regulasi ini sangat penting untuk memastikan bahwa penggunaan data sesuai dengan ketentuan yang berlaku, serta untuk menjamin legalitas dan etika dalam pengembangan prototipe.

2.5 Spesifikasi Sistem

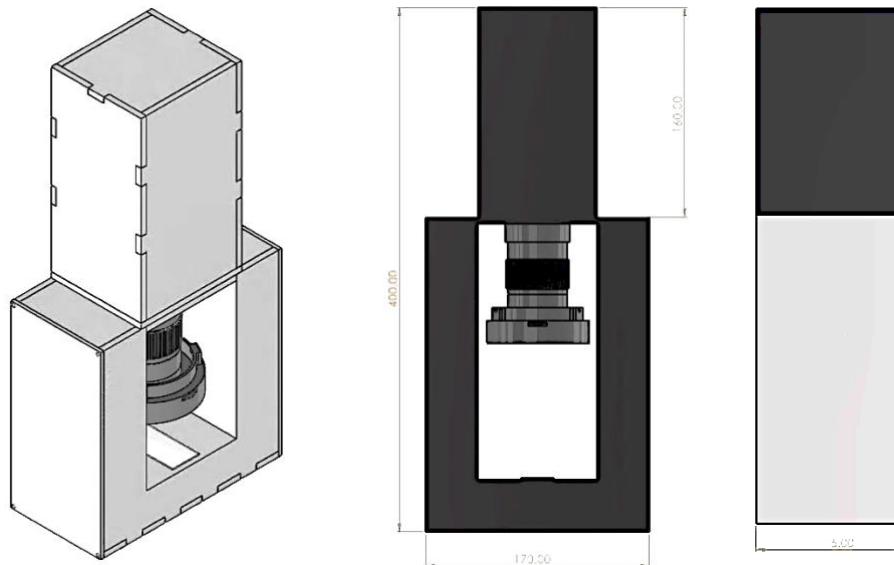
Berikut adalah spesifikasi sistem perancangan prototipe yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini dirancang untuk menyelesaikan masalah dan memperoleh tujuannya. Tabel 2.3 merangkum komponen dan karakteristik utama dari sistem yang telah dikembangkan.

Tabel 2.3 Spesifikasi sistem

Komputer	Raspberry Pi 4 model B (Pi) RAM 8GB Broadcom BCM2711
Kamera	Pi Camera HQ 12,3MP dengan lensa pembesaran 300x
Pasokan Daya	Baterai 10000mAh atau sumber daya PLN dengan tegangan 220VAC
Sistem Basis Data	Penyimpanan internal dan <i>cloud</i> (4,66 GB)
Akses Hasil	Melalui internet atau jaringan lokal
Dimensi	10×8×20 cm
Antarmuka	Aplikasi <i>mobile</i> dengan OS Android versi minimum 7.0
Tingkat Akurasi	97,5%

BAB 3. USULAN SOLUSI

Pada konstruksi perangkat keras prototipe dalam hal perancangan perangkat keras harus memperhatikan ukuran supaya dapat menawarkan pengujian di tempat dengan ruang yang terbatas dan dan mudah dipindahkan. Sehingga pembuatan mikroskop pintar ini mengusulkan implementasi perangkat keras (lihat Gambar 3.1) yang terdiri dari komponen-komponen elektronik dan optik penyusun perangkat yang berukuran kecil. Untuk mencapai penghitungan objek secara otomatis, interaksi pengguna (*user*) terhadap perangkat keras (tidak termasuk perangkat lunak) dibatasi sebagai hanya dengan meletakkan sampel pada kondisi lingkungan tertentu (misal dalam *chamber* tertutup) kemudian *user* dapat menganalisis objek melalui berbagai perangkat devais. Desain utama terdiri dari komponen-komponen *microcontroller*, kamera, lensa, baterai, layar LCD dan LED. Data kemudian akan dikirimkan melalui *cloud*, disimpan dan akan diproses oleh AI pada tahapan selanjutnya.



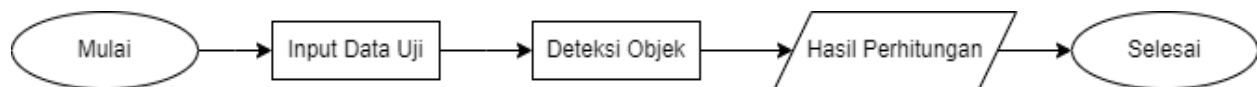
Gambar 3.1 Konstruksi 3D perangkat keras (satuan dalam milimeter)

Kemudian pada pengembangan perangkat lunak prototipe mikroskop pintar dirancang untuk membatasi jumlah interaksi dengan pengguna, maka desain dibuat secara *live-cell imaging* dan *automated imaging analysis*. Hal ini diperlukan untuk mengurangi jumlah kesalahan manusia dalam diagnosis mikroorganisme. Modul susunan kamera dan lensa menangkap gambar pada kaca preparat. Gambar tersebut kemudian dimasukkan ke dalam jalur identifikasi bakteri termasuk *E.*

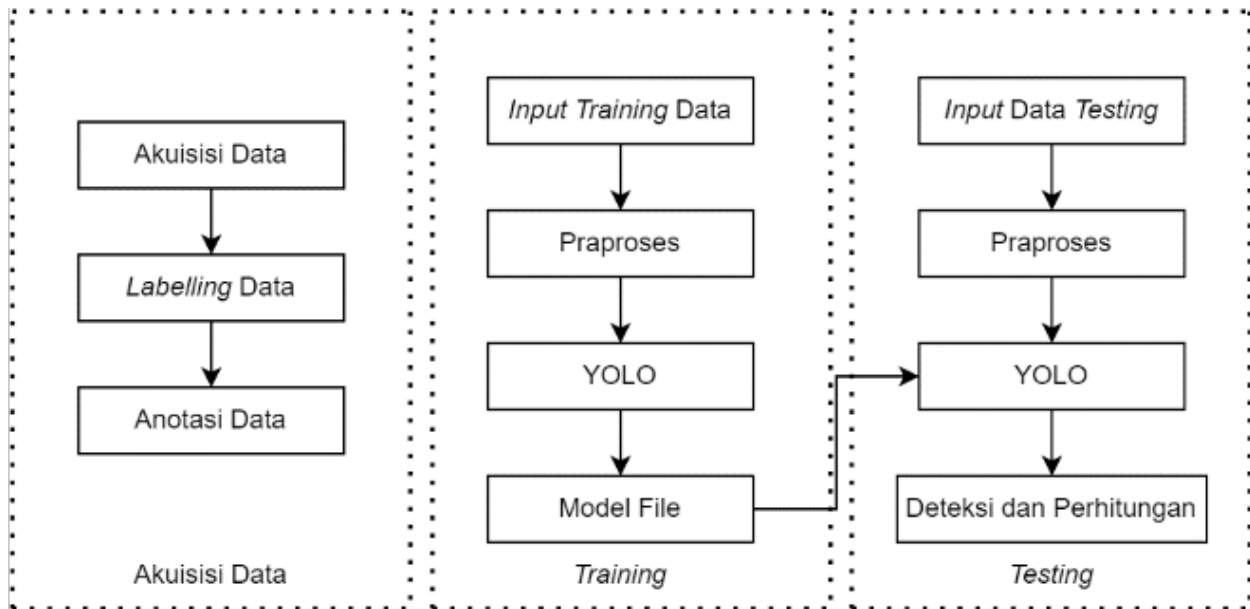
E. Coli atau bukan. Hasilnya kemudian ditampilkan pada layar sentuh LCD untuk pengguna. Data dan hasil yang diambil dan dikirimkan melalui jaringan internet (*cloud*) dan disimpan secara lokal sebagai *backup*. Pada pembuatan perangkat lunak, *machine learning* diaplikasikan pada perangkat ini. Hal ini digunakan untuk pengklasifikasi gambar yang mengklasifikasikan seluruh gambar mikroskopis objek untuk mengenali bakteri *E. Coli*. Setelah mengenali objek yang ingin dideteksi (*E. Coli*) lalu menghitung jumlahnya dan menganalisa pergerakannya secara *real-time*.

3.1 Usulan Solusi 1

Solusi usulan pertama dari penyelesaian permasalahan penelitian ini adalah dilakukan pengukuran dan perhitungan jumlah dari bakteri *E. Coli* menggunakan metode atau teknik pemrosesan citra atau *image processing* yaitu YOLOv8, yang mana data latihnya sendiri *custom* dibuat menggunakan bantuan *website* Roboflow dengan pelatihan data segmentasi dilakukan menggunakan Google Colaboratory. Dalam metode *image processing* yang akan dilakukan memiliki tahapan seperti pada Gambar 3.3. Tahapan pertama dimulai dengan akuisisi data berupa *labelling* serta anotasi pada data latih yang akan digunakan. *Labelling* dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi objek yang akan digunakan sebagai model. Kemudian sekumpulan model akan dilakukan *training* dengan menggunakan YOLO (*You Only Look Once*) untuk memperoleh model, sehingga mampu untuk mengenali atau mendeteksi objek dengan baik. Setelah dilakukan *training*, model akan diujikan untuk mengetahui performanya.



Gambar 3.2 Proses *image processing* usulan solusi 1

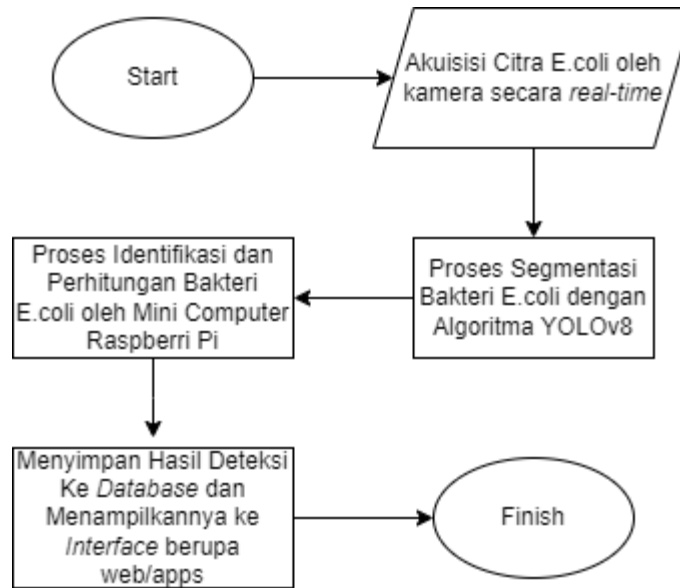


Gambar 3.3 Metode *counting* usulan solusi 1

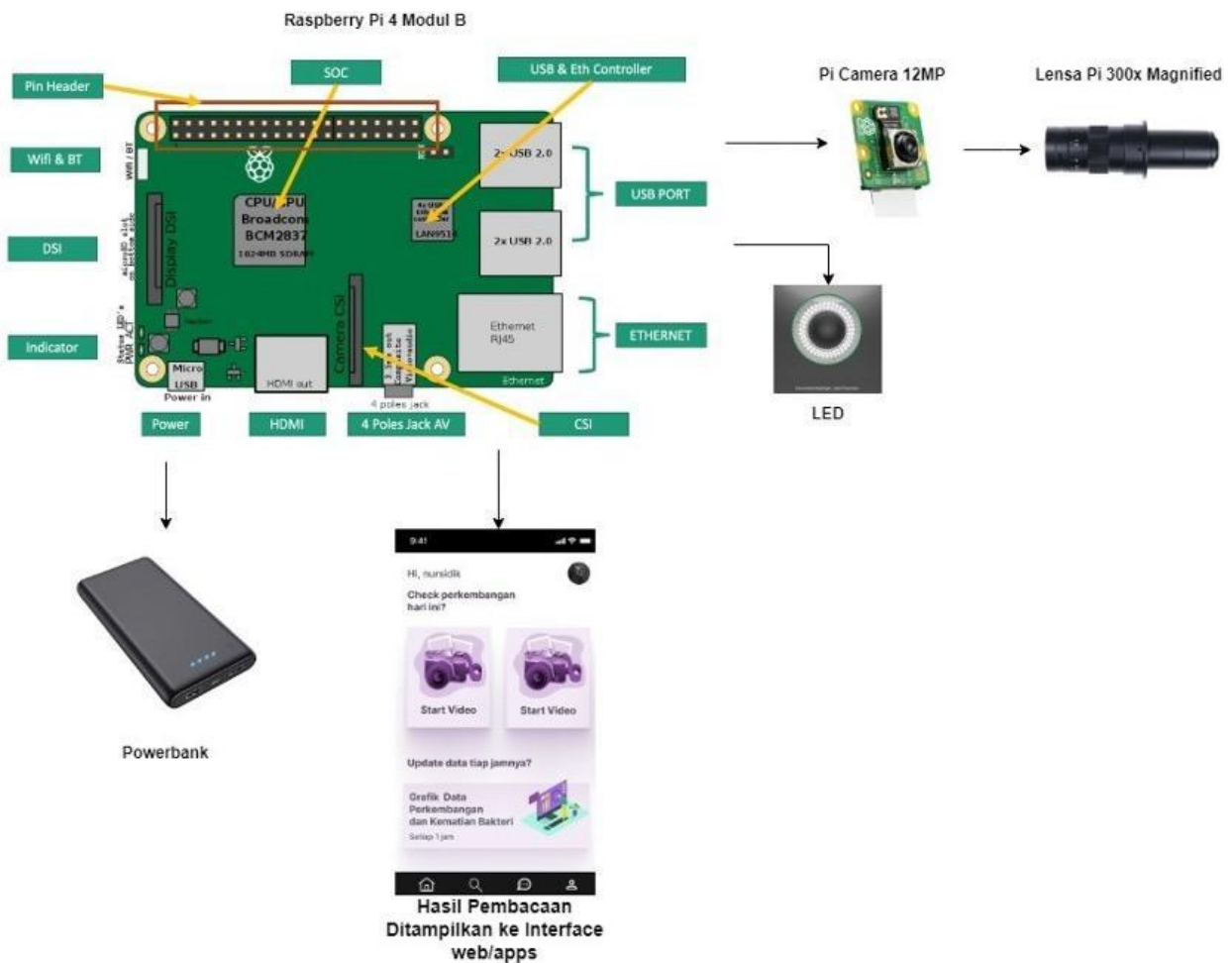
Pada usulan kali ini untuk perangkat keras yang digunakan sendiri memakai komponen berupa Raspberry Pi 4 model B 8 GB, kamera Raspberry Pi HQ 12,3 MP, lensa pembesaran 300x dengan C-Mount, LED mikroskop, dan *powerbank*.

3.1.1 Desain Sistem 1

Pada desain sistem pertama dipilih di mana setelah dilakukan pelatihan objek bakteri *E. Coli* maka akan dilanjutkan dengan pemindahan algoritma serta deteksi yang sudah dilatih ke mini komputer Raspberry Pi dan akan dideteksi menggunakan kamera Pi yang sudah tersambung dengan lensa 300x pembesaran untuk mendapatkan hasil gambaran bakteri *E. Coli* yang memadai, disini untuk mendapatkan resolusi yang lebih jelas diberi LED dibawah tempat *slide* preparat dan untuk catu daya yang digunakan yaitu berupa *powerbank* untuk membuat desain lebih portabel, dengan tegangan kerja sebesar 5 volt.



Gambar 3.4 Diagram alur kerja alat *software & hardware* desain sistem 1



Gambar 3.5 Kerja elektronis desain sistem 1

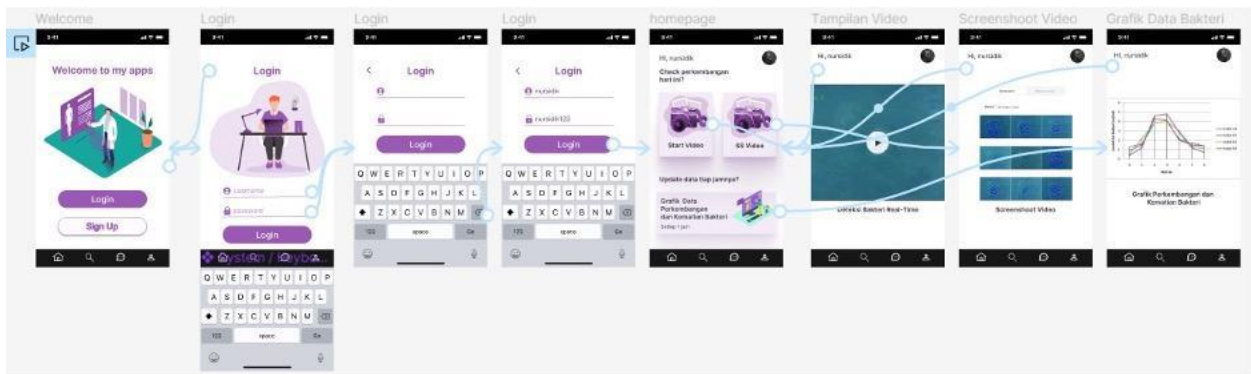
Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.1 menunjukkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.1 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras mikroskop pintar

No	Nama Alat	Keterangan
1	Raspberry Pi 4 model B 8 GB	Merupakan salah satu mini komputer dengan harga yang paling terjangkau dibanding mini komputer lain seperti Nvidia Jetson nano dengan harga berkisar 35 USD untuk Raspberry Pi sedangkan Nvidia Jetson Nano 60 USD. Untuk kegunaannya sendiri agar membuat alat menjadi portabel dan mampu menjalankan algoritma deteksi bakteri <i>E. Coli</i> yang sudah dibuat.
2	Raspberry Pi HQ Camera 12.3MP	Raspberry Pi HQ Camera 12.3 MP adalah kamera berkualitas tinggi dirancang khusus untuk Raspberry Pi. Dengan resolusi 12.3 MP, sensor berkualitas tinggi, dan kemampuan pemasangan lensa yang dapat diubah, kamera ini memberikan fleksibilitas maksimal. Kompatibel dengan Raspberry Pi, mudah dihubungkan, dan dapat merekam video berkualitas tinggi. Cocok untuk berbagai aplikasi seperti fotografi, pemantauan, dan proyek <i>machine learning</i> .
3	300X Microscope Lens for RPiHQ Camera with C-Mount	Lensa Mikroskop 300X untuk Raspberry Pi HQ Camera dengan C-Mount menawarkan pembesaran tinggi hingga 300X. Dirancang khusus untuk integrasi dengan Raspberry Pi HQ Camera, lensa ini menggunakan mount C-Mount standar industri. Cocok untuk aplikasi mikroskop dalam riset, pendidikan, dan industri. Pengaturan dan konfigurasi mudah, memberikan pengguna kemampuan untuk mengamati dan mendokumentasikan objek mikroskopik dengan tingkat detail tinggi. Tentu hal ini membuatnya cocok untuk pengamatan bakteri <i>E. Coli</i> .
4	2UUL Adjustable LED Microscope Light Source 5V High Concentration	2UUL Adjustable LED Microscope Light Source 5V High Concentration adalah sumber cahaya LED untuk mikroskop dengan kecerahan dapat disesuaikan yang didesain untuk operasi pada tegangan 5V dan menawarkan konsentrasi cahaya tinggi untuk pengamatan mikroskop yang detail. Alat ini menggunakan teknologi LED untuk efisiensi energi dan umur lampu yang panjang. Desain yang dapat disesuaikan

No	Nama Alat	Keterangan
		memungkinkan penyesuaian arah cahaya dan cocok untuk berbagai aplikasi mikroskop seperti pengamatan biologis dan analisis material.
5	<i>Powerbank</i>	Merupakan catu daya yang portabel dan dapat dibawa dimanapun dengan desain yang minim sehingga mampu memenuhi tujuan pembuatan alat ini. Namun untuk daya powerbank yang digunakan masih akan menyesuaikan dengan lama pemakaian mikroskop nantinya namun dengan spesifikasi memiliki sambungan kabel tipe c untuk ke komputer dengan tegangan kerja 5 volt.

Dikarenakan sistem ini tidak hanya menggunakan sistem perangkat keras, namun juga perangkat lunak, maka dalam usulan perancangan ini, kami juga melakukan usulan sistem aplikasi yang digunakan. Aplikasi monitoring mikroskop pintar ini didesain untuk aplikasi Android dengan spesifikasi yang diperlukan oleh para peneliti laboratorium. Desain aplikasi dibuat *compatible* dengan *smartphone* dengan spesifikasi yang lengkap dan keamanan berupa *username* dan *password* karena mengingat betapa pentingnya nilai dari data uji coba untuk seorang peneliti sehingga hanya beberapa orang yang mampu mengakses data yang didapatkan nantinya, dengan desain tampilan seperti Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Usulan rancangan aplikasi untuk pengguna *smartphone*

3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Rancangan anggaran untuk desain 1 dapat dilihat pada Tabel 3.2. Tabel ini menyajikan rincian anggaran yang diperlukan untuk pembuatan sistem tersebut.

Tabel 3.2 Rencana anggaran pengembangan mikroskop pintar

No.	Item	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Raspberry Pi 4 model B 8 GB	Pcs	Rp1.800.000, -	1	Rp1.800.000, -
2	Raspberry Pi HQ Camera 12.3MP	Pcs	Rp. 950.000, -	1	Rp. 950.000, -
3	300X Microscope Lens for RPiHQ Camera with C-Mount	Pcs	Rp. 1.406.294, -	1	Rp. 1.406.294, -
4	2UUL Adjustable LED Microscope Light Source 5VHigh Concentration	Pcs	Rp. 617.500, -	1	Rp. 617.500, -
5	Powerbank pengisi daya portabel LED, 120W 20000mAh	Pcs	Rp. 1.320.635, -	1	Rp. 1.320.635, -
TOTAL					Rp. 6.094.429, -

3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Pada desain 1, terdapat beberapa analisis risiko yang perlu dipertimbangkan sebelum proses pembuatan alat dimulai. Risiko-risiko tersebut meliputi:

- Biaya Komponen

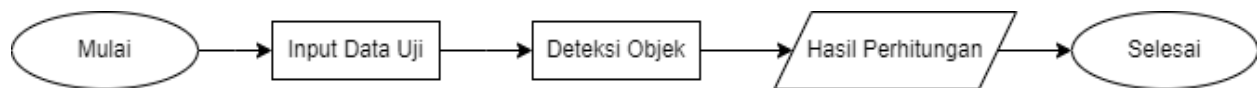
Desain 1 memanfaatkan bahan-bahan yang relatif mahal, mengingat harga masing-masing komponen yang digunakan cukup tinggi. Meskipun bahan-bahan tersebut memenuhi spesifikasi yang memadai dan berkualitas, anggaran yang tersedia harus diperhitungkan dengan cermat untuk memenuhi semua spesifikasi sesuai rancangan desain 1. Pada tahap komersial, terdapat kemungkinan pembengkakan harga akibat kualitas bahan yang digunakan serta kebutuhan perawatan minimal untuk menjaga kualitas kerja alat.

- Portabilitas Alat

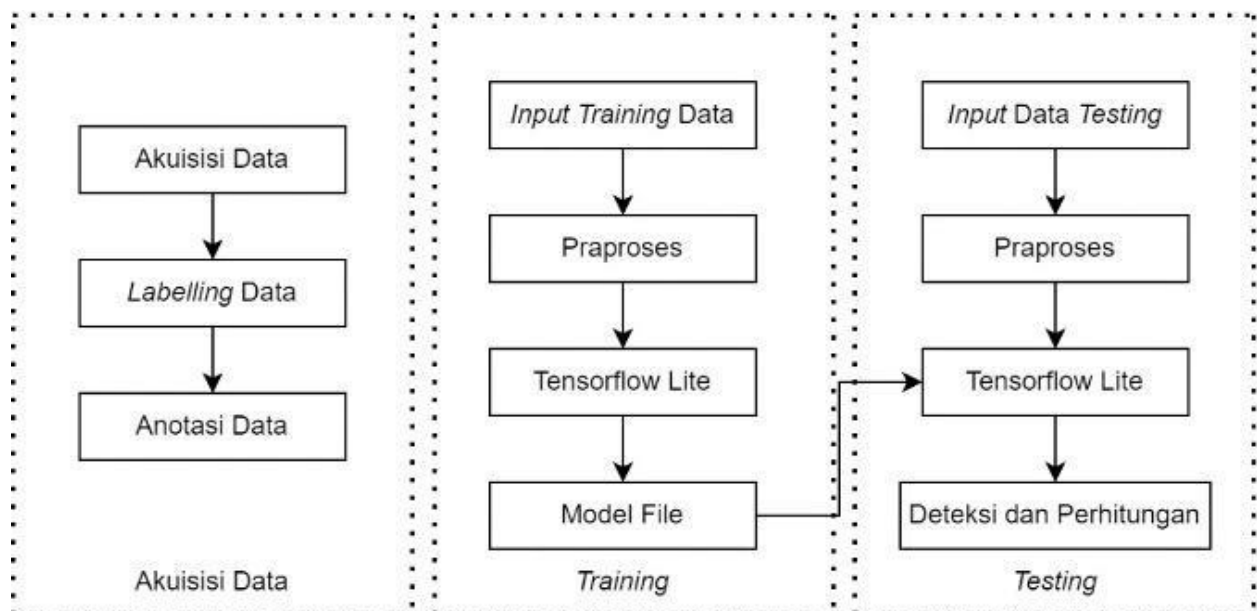
Desain ini mungkin mengalami kekurangan dalam hal portabilitas karena spesifikasi tinggi dan ukuran komponen yang lebih besar. Pengorbanan dalam hal portabilitas mungkin diperlukan untuk mencapai hasil yang lebih baik, sehingga perlu dipertimbangkan *trade-off* antara performa dan kemudahan penggunaan alat.

3.2 Usulan Solusi 2

Solusi usulan kedua dari penyelesaian permasalahan penelitian ini adalah dilakukan pengukuran dan perhitungan jumlah dari bakteri *E. Coli* menggunakan metode atau teknik pemrosesan citra atau *image processing* yaitu Tensorflow Lite. Yang mana data latihnya sendiri *custom* dibuat menggunakan bantuan website Roboflow dengan pelatihan data segmentasi dilakukan menggunakan Google Colaboratory. Dalam metode *image processing* yang akan dilakukan memiliki tahapan seperti pada gambar 3.8. Tahapan pertama dimulai dengan akuisisi data berupa *labelling* serta anotasi pada data latih yang akan digunakan. *Labelling* dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi objek yang akan digunakan sebagai model. Kemudian sekumpulan model akan dilakukan *training* dengan menggunakan Tensorflow Lite untuk memperoleh model, sehingga mampu untuk mengenali atau mendeteksi objek dengan baik. Setelah dilakukan *training*, model akan diujikan untuk mengetahui performanya.



Gambar 3.7 Proses *image processing* usulan solusi 2

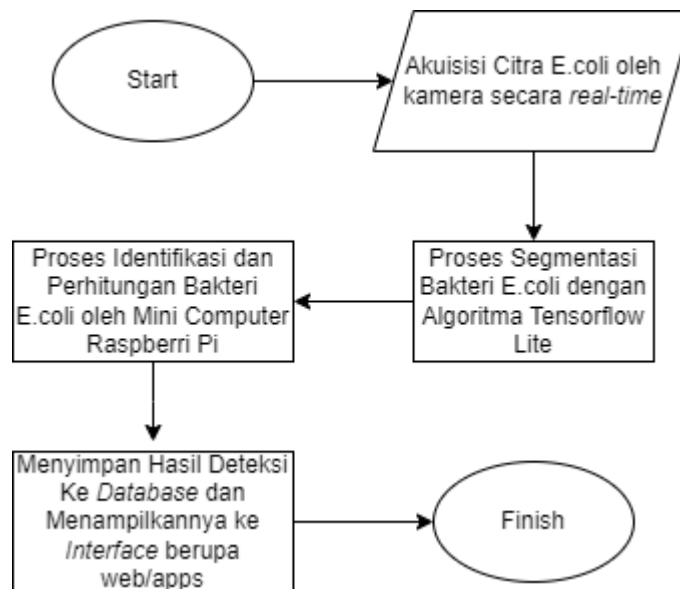


Gambar 3.8 Metode *counting* usulan solusi 2

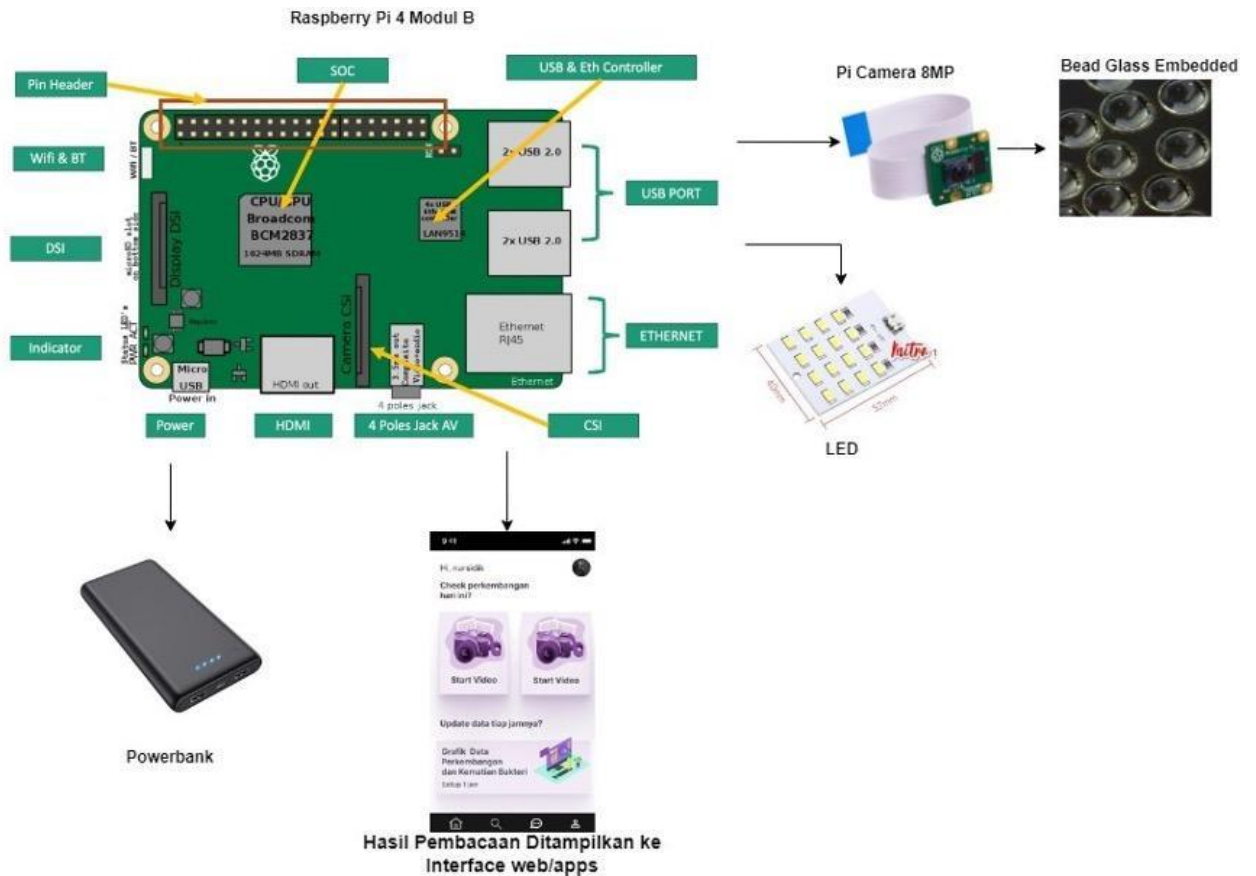
Pada usulan kali ini untuk perangkat keras yang digunakan sendiri memakai komponen berupa Raspberry Pi 4 model B 2 GB, kamera Raspberry Pi 8MP, *bead microscope*, LED, dan *powerbank*. Yang membedakan usulan desain 2 dibanding desain 1 adalah pemakaian barang pengganti untuk lensa dan kamera yang lebih murah sehingga menurunkan biaya anggaran nantinya.

3.2.1 Desain Sistem 2

Pada desain sistem pertama dipilih dimana setelah dilakukan *training* objek bakteri *E. Coli* maka akan dilanjutkan dengan pemindahan algoritma serta deteksi yang sudah dilatih ke mini komputer Raspberry Pi dan akan dideteksi menggunakan kamera Pi yang sudah tersambung dengan pengganti lensa yaitu *bead microscope* dengan pembesaran *mencapai* 350 kali untuk mendapatkan hasil gambaran bakteri *E. Coli* yang memadai, untuk mendapatkan resolusi yang lebih jelas, diberi LED di bawah tempat slide preparat. Kemudian untuk suplai daya yang digunakan yaitu berupa *powerbank* untuk membuat desain lebih portabel dengan keluaran tegangan sebesar 5 volt.

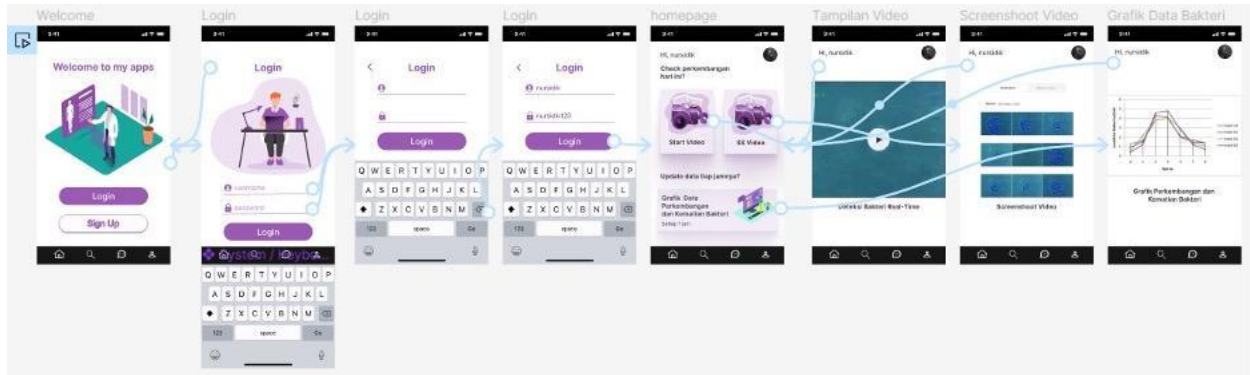


Gambar 3.9 Diagram alur kerja alat *software & hardware* desain sistem 2



Gambar 3.10 Kerja elektronis desain sistem 2

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.3 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan. Dikarenakan sistem ini tidak hanya menggunakan sistem perangkat keras, namun juga perangkat lunak, maka dalam usulan perancangan ini, kami juga melakukan usulan sistem aplikasi yang digunakan. Aplikasi monitoring mikroskop pintar ini didesain untuk aplikasi Android dengan spesifikasi yang diperlukan oleh para peneliti laboratorium. Desain aplikasi dibuat *compatible* dengan *smartphone* dengan spesifikasi yang lengkap dan keamanan berupa *username* dan *password* karena mengingat betapa pentingnya nilai dari data uji coba untuk seorang peneliti sehingga hanya beberapa orang yang mampu mengakses data yang didapatkan nantinya, dengan desain tampilan seperti Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Usulan rancangan aplikasi untuk pengguna *smartphone*.

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.3 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.3 Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras mikroskop pintar

No	Nama Alat	Keterangan
1	Raspberry Pi 4 model B 8 GB	Merupakan salah satu <i>mini computer</i> dengan harga yang paling terjangkau dibanding <i>mini computer</i> lain seperti Nvidia Jetson nano dengan harga berkisar 35 USD untuk Raspberry Pi sedangkan Nvidia Jetson Nano 60 USD. Untuk kegunaannya sendiri agar membuat alat menjadi portabel dan mampu menjalankan algoritma deteksi bakteri <i>E. Coli</i> yang sudah dibuat.
2	Original Raspberry Pi Camera Module V2 8MP	Original Raspberry Pi Camera Module V2 8MP adalah kamera berkualitas tinggi dirancang khusus untuk Raspberry Pi. Dengan resolusi 8 MP, sensor berkualitas tinggi, dan kemampuan pemasangan lensa yang dapat diubah, kamera ini memberikan fleksibilitas maksimal. Kompatibel dengan Raspberry Pi, mudah dihubungkan, dan dapat merekam video berkualitas tinggi. Cocok untuk berbagai aplikasi seperti fotografi, pemantauan, dan proyek <i>machine learning</i> .
3	Glass Beads	Embedded Glass Beads Microscope (manik-manik kaca) dengan diameter 1 mm menggunakan gaya mikroskop yang dikenal sebagai mikroskop Leeuwenhoek, memiliki cara kerja karena bentuk bola dari manik-manik yang membengkokkan cahaya akan menghasilkan gambar yang diperbesar.

No	Nama Alat	Keterangan
4	LED DC 5VSMD 5730 Micro USB	LED dengan daya DC 5V dan 16 LED SMD 5730 adalah perangkat pencahayaan portabel yang dirancang untuk situasi darurat. Dengan desain yang kecil dan menggunakan koneksi <i>micro</i> USB, lampu ini dapat dihubungkan ke berbagai sumber daya, seperti <i>powerbank</i> atau adaptor USB. SMD 5730 LED yang terintegrasi memberikan pencahayaan terang, dan lampu ini cocok untuk digunakan dalam keadaan darurat, seperti pemadaman listrik atau perjalanan darurat. Portabilitasnya memungkinkan penggunaan yang fleksibel di berbagai tempat dan situasi.
5	<i>Powerbank</i>	Merupakan <i>power source</i> yang portabel dan dapat dibawa dimanapun dengan desain yang minim sehingga mampu memenuhi tujuan pembuatan alat ini. Namun untuk daya <i>powerbank</i> yang digunakan masih akan menyesuaikan dengan lama pemakaian mikroskop nantinya namun dengan spesifikasi memiliki sambungan kabel tipe c untuk ke komputer dengan tegangan kerja 5 volt.

3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2

Rancangan anggaran pada desain 2 pada mikroskop pintar untuk deteksi bakteri *E. Coli* dapat dilihat dari Tabel 3.4 yang mana merupakan anggaran yang dibutuhkan untuk pembuatan sistem ini.

Tabel 3.4 Rencana anggaran pengembang

No.	Item	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Raspberry Pi 4 model B 8 GB	Pcs	Rp1.800.000, -	1	Rp1.800.000, -
2	Original Raspberry Pi CameraModule V2 8MP	Pcs	Rp495.000, -	1	Rp495.000, -
3	Glass Beads	Pcs	Rp. 1.406, -	5	Rp. 7.030, -
4	LED DC 5VSMD 5730 Micro USB	Pcs	Rp5.000, -	1	Rp5.000, -

No.	Item	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
5	Powerbank pengisi daya portabel LED, 120W 20000mAh	Pcs	Rp. 1.320.635, -	1	Rp. 1.320.635, -
TOTAL					Rp. 3.627.665, -

3.2.3 Analisis Risiko Desain 2

Pada desain 2 terdapat beberapa analisis resiko yang dapat dipertimbangkan terlebih dahulu, sehingga beberapa resiko mampu dianalisis dan dipahami sebelum dilakukan pembuatan alat, adapun berikut beberapa contoh analisis resiko:

- Biaya Komponen

Desain 2 menggunakan bahan-bahan yang terbilang cukup murah yang terbukti dari total belanja yang didapat lebih kecil dibandingkan dengan desain 1 namun hal ini pasti juga mempengaruhi hasil dari alat yang dibuat dan mempengaruhi segi kualitas kerja serta perawatan sistem untuk menjaga performa alat.

- Kualitas Gambar yang Dihasilkan

Terdapat kemungkinan menurunnya hasil tangkapan gambar karena menggunakan kamera dengan ukuran piksel dan resolusi yang lebih rendah dan menggunakan lensa berupa *glass bead* yang tentu dalam segi kualitas hasil tangkapan gambar tidak lebih baik dari lensa mikroskop yang memiliki harga jauh lebih besar dan kualitas yang lebih bagus pada desain 1.

3.3 Pengukuran Performa Usulan Solusi 1 dan 2

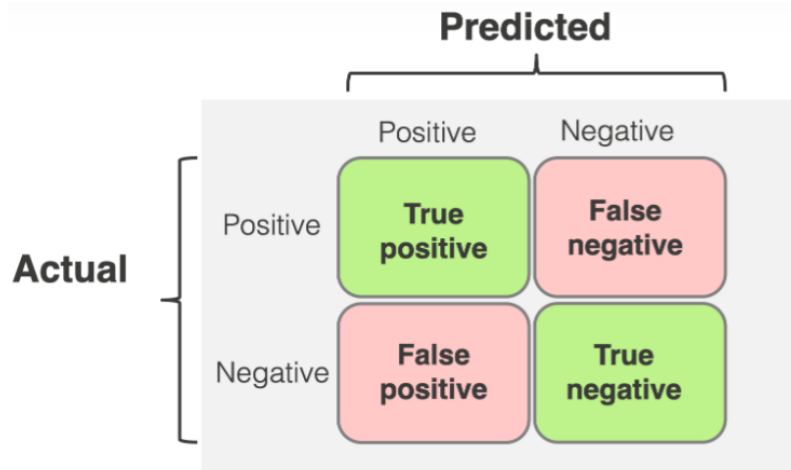
Proses evaluasi kinerja sistem 1 dan 2 dapat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter, termasuk akurasi, harga, dan waktu yang dibutuhkan oleh sistem. Akurasi mengacu pada kemampuan sistem untuk memberikan hasil deteksi yang sesuai dengan objek sebenarnya. Hasil akurasi dianggap sebagai indikator kualitas pengukuran sistem. Kemudian untuk harga sendiri yaitu total yang dibutuhkan untuk biaya produksi alat nantinya. Selain itu, waktu pemrosesan data juga menjadi parameter penting, di mana sistem diharapkan dapat memberikan hasil pengukuran secara cepat dan *real-time*. Kemudian untuk teknik pengukuran yang akan

digunakan adalah teknik *confusion matrix* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12 (alat evaluasi kinerja yang umum digunakan dalam pengenalan pola dan pembelajaran mesin. Ini memberikan gambaran tentang seberapa baik suatu model klasifikasi bekerja dalam memprediksi kelas target) yang mana mampu untuk mengukur tingkat akurasi dari sistem, lalu pada Tabel 3.5 terlihat semua variabel serta formula untuk mengukur sistem yang ada nantinya.

Tabel 3.5 Variabel metrik hasil pelatihan model

No	Metrik	Keterangan
1	<i>True Positive (TP)</i>	Model dengan benar memprediksi kelas positif. Ini berarti model berhasil mengidentifikasi kasus yang sebenarnya positif
2	<i>True Negative (TN)</i>	Model dengan benar memprediksi kelas negatif. Ini berarti model berhasil mengidentifikasi kasus yang sebenarnya negatif
3	<i>False Positive (FP)</i>	Model salah memprediksi kelas positif. Ini adalah kesalahan tipe I, di mana model mengidentifikasi kasus sebagai positif padahal sebenarnya negatif
4	<i>False Negative (FN)</i>	Model salah memprediksi kelas negatif. Ini adalah kesalahan tipe II, di mana model mengidentifikasi kasus sebagai negatif padahal sebenarnya positif
5	Akurasi	Menunjukkan seberapa sering model kita benar dalam memprediksi kelas suatu data dengan formula $\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
6	Presisi	Menunjukkan seberapa sering prediksi positif kita benar-benar positif dengan formula $\frac{TP}{TP+FP}$
7	<i>Recall</i>	Menunjukkan seberapa sering model kita

No	Metrik	Keterangan
		berhasil mengidentifikasi kelas positif yang sebenarnya dengan formula $\frac{TP}{TP+FN}$
8	F1-Skor	Merupakan nilai rata-rata harmonik dari presisi dan recall, memberikan gambaran keseluruhan tentang kinerja model dengan formula $\frac{2(presisi \times recall)}{presisi + recall}$



Gambar 3.12 *Confusion Matrix*

Kemudian untuk harga nanti akan dibandingkan dengan produk di pasaran yang memiliki spesifikasi yang hampir serupa, dengan membandingkan harga produksi produk dengan barang yang sudah dijual di pasaran mengingat produk ini merupakan alat pertama yang dibuat sehingga belum bisa dibandingkan dengan produk yang sebelumnya. Sedangkan untuk waktu menggunakan teknik komparasi manual yaitu nanti akan dibandingkan oleh user berapa lama waktu yang dihabiskan untuk pengambilan data menggunakan teknik mikroskop langsung dibandingkan dengan teknik pengambilan data menggunakan *image processing*.

3.4 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi Terbaik

Dalam membantu penentuan usulan solusi terbaik yang akan diambil serta diimplementasikan maka diberi beberapa variabel yang mempengaruhi penilaian terhadap masing-masing usulan solusi yaitu waktu, harga, akurasi, desain, perawatan, kualitas, ketersediaan

komponen, dan tingkat magnifikasi. Kemudian digunakan alat bantu berupa *decision matrix* sebagai parameternya. Semua variabel yang mempengaruhi masing-masing usulan sistem dipaparkan, di mana setiap variabel tersebut memiliki bobot nilai tertentu yang berkisar antara 1 hingga 6 yang bisa dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 *Decision matrix* usulan perancangan sistem

	<i>Importance</i>	Usulan Solusi 1	Usulan Solusi 2
Waktu	4	3	5
Harga	6	3	4
Akurasi	6	5	3
Desain	5	3	4
Perawatan	5	5	4
Kualitas	5	5	4
Ketersediaan Komponen	5	4	4
Tingkat Magnifikasi	6	5	3
Total		175	160

Penjelasan untuk tiap variabel yang mempengaruhi penilaian terhadap masing-masing usulan solusi sebagai berikut:

- Waktu

Variabel ini menilai berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk implementasi dan operasional sistem bekerja. Usulan solusi pertama mendapat nilai 3 sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 5 karena menggunakan komponen yang lebih sederhana dan mudah diimplementasikan.

- Harga

Variabel ini menilai biaya total yang dibutuhkan untuk implementasi sistem. Usulan solusi pertama mendapat nilai 3 karena menggunakan alat-alat yang lebih mahal, sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 4 karena menggunakan komponen yang lebih murah.

- Akurasi
Variabel ini menilai tingkat ketepatan dalam deteksi bakteri *E. Coli*. Usulan solusi pertama mendapat nilai 5 karena menggunakan algoritma dengan lensa 300x magnifikasi mendapatkan hasil gambar dengan piksel yang lebih bagus dan akurat, sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 3 karena menggunakan *glass bead* yang akurasinya lebih rendah dan kurang optimal karena jarang digunakan di dunia optik.
- Desain
Variabel ini menilai kualitas dan estetika desain sistem. Usulan solusi pertama mendapat nilai 3 sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 4 karena desainnya yang lebih portabel.
- Perawatan
Variabel ini menilai kemudahan dalam pemeliharaan sistem. Usulan solusi pertama mendapat nilai 5 karena komponen yang digunakan lebih tahan lama dan mudah dirawat, sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 4.
- Kualitas
Variabel ini menilai kualitas keseluruhan sistem. Usulan solusi pertama mendapat nilai 5 karena komponen berkualitas tinggi yang digunakan, sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 4.
- Ketersediaan Komponen
Variabel ini menilai kemudahan mendapatkan komponen untuk sistem. Usulan solusi pertama dan kedua sama-sama mendapat nilai 4 karena komponen-komponennya masih melakukan ekspor di pasaran.
- Tingkat Magnifikasi
Variabel ini menilai kemampuan sistem dalam memperbesar gambar bakteri *E. Coli*. Usulan solusi pertama mendapat nilai 5 karena menggunakan lensa dengan 300x magnifikasi, sedangkan usulan solusi kedua mendapat nilai 3 karena menggunakan *glass bead* yang kurang optimal dalam magnifikasi lensa.

Berdasarkan pemaparan usulan-usulan yang telah disajikan, serta hasil pada Tabel 3.5 terlihat bahwa usulan solusi pertama memiliki skor tertinggi yaitu 175, sedangkan usulan solusi kedua memiliki skor terendah yaitu 160. Dengan demikian, ditentukan bahwa usulan solusi pertama merupakan usulan terbaik. Selain itu, usulan sistem pertama dikatakan sebagai desain terbaik dibandingkan dengan usulan solusi kedua karena menggunakan alat-alat berkualitas lebih tinggi yang menghasilkan gambar dengan performa dan ketahanan yang lebih baik.

Pada usulan solusi pertama, digunakan algoritma YOLOv8 sebagai sistem deteksi bakteri *E. Coli*. Alat-alat yang digunakan dalam solusi ini cukup terjangkau, yang mengurangi portabilitas alat. Namun, mengingat bahwa hasil deteksi dan kualitas gambar merupakan komponen utama, diputuskan untuk mengorbankan portabilitas demi mendapatkan tingkat akurasi dan kualitas yang lebih baik.

Sedangkan pada usulan solusi kedua, digunakan sistem algoritma TensorFlow Lite untuk deteksi bakteri *E. Coli*. Bahan-bahan yang digunakan dalam solusi ini lebih murah, termasuk kamera dan LED, serta lensa digantikan dengan *glass bead*. Meskipun penggantian bahan tersebut menghasilkan alat yang lebih portabel dan murah, hal ini mengorbankan kualitas gambar dan akurasi, terutama karena penggantian lensa dengan *glass bead* yang mengurangi tingkat akurasi. akurasi merupakan faktor penting dalam penelitian ini, sehingga solusi kedua tidak mungkin menjadi solusi yang efektif.

3.5 Gantt Chart

Dalam proyek *capstone design* ini, perencanaan dan manajemen yang efektif merupakan aspek krusial untuk memastikan pencapaian seluruh target dan tugas pada setiap tahap proyek. Proses perencanaan sistem dilaksanakan selama dua semester dengan menggunakan metode Gantt Chart, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.6. Metode ini berfungsi untuk mengatur dan memantau kemajuan berbagai aktivitas dan tenggat waktu, sehingga setiap fase proyek dapat dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Tabel 3.6 *Gantt chart* pelaksanaan *capstone project*

No.	Kegiatan	Bulan ke -									
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1	Survei dan identifikasi permasalahan	H	A H								
2	Penelitian literatur dan pengumpulan informasi untuk kebutuhan serta spesifikasi sistem	A	A H	A H							
3	Pengumpulan ide solusi, finalisasi usulan perancangan sistem, serta penyusunan manajemen dan rencana belanja			A H	A H						
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1 dan seminar				A H						
5	Pembelian alat dan bahan				A H	A H					
6	Perancangan sistem sesuai proposal					A H	A H	A H	A H		
7	Pengujian dan validasi								A H	A H	
8	Expo dan pengumpulan laporan akhir									A H	A H

Ket. : PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) A : Arya, H : Hanas

3.6 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Realisasi pelaksanaan tugas akhir 1 disusun dalam bentuk daftar yang terstruktur secara berurutan, sehingga seluruh kegiatan pembuatan proposal dapat dipantau secara sistematis. Tabel 3.7 menunjukkan runtutan kegiatan pembuatan proposal tugas akhir 1.

Tabel 3.7 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 1

No	Hari, Tanggal, Durasi	Aktivitas	Pelaksana
1	Senin, 11 September 2023, 6 Hari	Pertemuan virtual dengan <i>stakeholder</i> BRIN dan dosen pembimbing dilakukan untuk memperkenalkan judul tugas akhir dan melaksanakan survei literatur terkait permasalahan penelitian	Arya Hanas
2	Senin, 18 September 2023, 3 jam	Pertemuan Pertama untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing	Arya Hanas
3	Selasa, 19 September 2023, 2 jam	Pengerjaan latar belakang penelitian	Arya Hanas
4	Rabu, 20 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan masalah penelitian	Arya Hanas
5	Kamis, 21 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan realistis aspek keteknikan	Arya Hanas
6	Jum'at, 22 September 2023, 2 Jam	Revisi proposal bab 1	Arya Hanas
7	Senin, 25 September 2023, 6 Hari	Pertemuan Kedua untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing dan Melakukan revisi bab 1 (Via Zoom)	Arya Hanas
8	Senin, 2 Oktober 2023, 6 Hari	Pertemuan Ketiga untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing & Melakukan studi literatur dan observasi terkait dengan solusi permasalahan penelitian (Via Zoom)	Arya Hanas
9	Senin, 9 Oktober 2023, 6 hari	Pertemuan Keempat untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing (Via Zoom)	Arya Hanas
10	Senin, 16 Oktober 2023, 6 hari	Pertemuan Kelima untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing & Revisi proposal subbab studi literatur dan observasi (Via Zoom)	Arya Hanas
11	Senin, 23 Oktober 2023, 2 jam	Pertemuan Keenam untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing (Via	Arya Hanas

No	Hari, Tanggal, Durasi	Aktivitas	Pelaksana
		Zoom)	
12	Selasa, 24 Oktober 2023, 1 Hari	Pengerjaan dasar teori	Arya Hanas
13	Rabu, 25 Oktober 2023, 4 Hari	Pengerjaan analisis <i>stakeholder</i> , analisis aspek yang mempengaruhi sistem, dan spesifikasi sistem	Arya Hanas
14	Senin, 30 Oktober 2023, 2 Jam	Pertemuan Ketujuh untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing (Via Zoom) & Revisi proposal bab 2	Arya Hanas
15	Senin, 6 November 2023, 6 Hari	Pengerjaan usulan solusi 1 dan 2	Arya Hanas
16	Senin, 13 November 2023, 6 Hari	Pertemuan Kedelapan untuk <i>Brainstroming</i> T Mingguan Bersama Dosen Pembimbing	Arya Hanas
17	Senin, 20 November 2023, 4 Hari	Pertemuan Kesembilan untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing & Pengerjaan desain sistem 1 dan sistem 2 serta pengerjaan ilustrasi aplikasi	Arya Hanas
18	Sabtu, 25 November 2023, 1 Hari	Revisi proposal subab desain sistem 1 dan 2	Arya Hanas
19	Senin, 27 November 2023, 2 Jam	Pertemuan Kesepuluh untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing	Arya Hanas
20	Selasa, 28 November 2023, 3 Jam	Pengerjaan rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran performa sistem 1 dan sistem 2	Arya Hanas
21	Rabu, 29 November 2023, 4 Jam	Pengerjaan rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran peforma sistem 1 dan sistem 2	Arya Hanas
22	Kamis, 30 November 2023, 2 Jam	Revisi proposal subab rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran peforma sistem 1 dan sistem 2	Arya Hanas

No	Hari, Tanggal, Durasi	Aktivitas	Pelaksana
23	Jumat, 1 Desember 2023, 3 Jam	Pengerjaan analisis dan penentuan usulan terbaik, gantt chart, dan realisasi tugas akhir 1	Arya Hanas
24	Sabtu, 2 Desember 2023, 3 Jam	Revisi proposal bab 3	Arya Hanas
25	Senin, 4 Desember 2023, 2 Jam	Pertemuan Kesebelas untuk <i>Brainstroming</i> TA Mingguan Bersama Dosen Pembimbing (Diundur)	Arya Hanas
26	Rabu, 6 Desember 2023, 1 Hari	Melakukan Evaluasi Ulang semua bab proposal 1-3	Arya Hanas

BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

4.1 Hasil Rancangan Sistem

Pada bagian ini akan membahas hasil perancangan sistem dari alat. Pada proses perancangan sistem terdiri atas dua subsistem, pertama adalah sistem mekanisme perangkat keras dari prototipe yang mendukung dalam mengambil citra secara langsung, kedua yaitu perancangan sistem yang bertindak sebagai sistem utama dari proses perhitungan objek pada citra. Pada proses perancangan sistem terdapat beberapa tahapan yang perlu dilalui dimulai dari proses analisis risiko, perancangan sistem, dan pengujian. Kemudian pada tahap pembuatan prototipe terdiri atas perancangan sistem elektronis dan sistem pendukung berupa perangkat lunak dan keras.

4.1.1 Perangkat Keras

Untuk menyediakan pengujian objek, alat ini mengusulkan implementasi perangkat keras (lihat Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5) yang terdiri dari komputer Raspberry Pi, kamera Pi HQ, lensa pembesaran 180x, LED, dan catu daya *powerbank*. Selain itu, alat ini dirancang untuk membatasi jumlah interaksi dengan pengguna, membatasi jumlah kesalahan manusia yang terlibat dalam analisis *E. Coli*. Untuk mencapai hal ini, interaksi pengguna dengan perangkat keras (tidak termasuk perangkat lunak) dibatasi pada langkah-langkah, yaitu menyalakan perangkat, meletakkan kaca preparat beserta objek pada tempatnya, dan mengulanginya hingga sesi pemindaian selesai. Desain alat ini terdiri dari komponen-komponen berikut untuk memenuhi persyaratan kinerja, portabilitas, dan biaya.

4.1.1.1 Raspberry Pi

Komputer yang dipilih adalah Raspberry Pi 4 model B, yang memiliki prosesor *quad-core*, Broadcom BCM2711, dan memiliki RAM 8GB. Pi memiliki ukuran hanya 5,4 cm³ dan menawarkan kinerja yang baik. Selain itu, Pi memiliki *port* untuk terhubung ke kamera, memberikan kemampuan kepada alat untuk menangkap citra gambar dan menampilkannya kepada pengguna. Raspberry Pi juga memiliki konektivitas WiFi yang memungkinkan alat ini mengirim data ke *cloud* jika internet tersedia. Harga Raspberry Pi 4 juga lebih murah, mulai dari 1 juta-an dibandingkan dengan komputer bentuk kecil lainnya seperti Nvidia Jetson Nano yang mulai dari 6 juta-an. Untuk alat ini, Raspberry Pi digunakan untuk menjalankan model deteksi objek *E. Coli*

dan *counting*. Untuk menyalakan Raspberry Pi, menggunakan *powerbank* 5000mAh sebagai sumber daya yang menghasilkan daya 5V.

4.1.1.2 Kamera

Untuk menangkap citra gambar, alat ini dilengkapi dengan kamera Raspberry Pi 12,3MP dengan lensa 180x pembesaran. Kamera 12,3MP ini menawarkan gambar definisi tinggi 1080p dengan dipasangkan dengan lensa 180x pembesaran. Penggunaan lensa ini menghindari masalah *zoom* secara digital yang sering kali menghasilkan gambar berpiksel yang dapat menghambat model pembelajaran mesin. Sehingga definisi tinggi dan *zoom* yang dipadukan dengan lensa pembesaran ini memungkinkan pengguna mengambil gambar berkualitas tinggi dari kaca preparat objek dengan pembesaran tinggi, sehingga model dapat berfungsi dengan akurat seperti melihat melalui mikroskop cahaya konvensional.

4.1.1.3 Case, Dudukan Kaca Preparat, dan LED

Alat ini dilengkapi dengan *case* pelindung yang dirancang khusus untuk melindungi Raspberry Pi dan memberikan keamanan tambahan. *Case* ini juga mencakup modul mikroskop, yang terdiri dari dudukan kamera dan lensa, dan tempat kaca preparat objek. Dudukan kamera dan lensa berfungsi untuk memastikan posisi kamera dan lensa tetap stabil sehingga dapat memantau objek yang ditempatkan pada tempat kaca preparat dengan akurat, serta menghindari pergerakan kamera dan lensa yang tidak diinginkan. Di atas tempat kaca preparat, terdapat ruang untuk LED dengan suplai daya dari *powerbank* yang sama pada komputer, yang dipasang di sekeliling mulut lensa yang menerangi kaca preparat seperti pada mikroskop cahaya konvensional, memastikan pencahayaan optimal untuk tampilan yang lebih jelas.

Tabel 4.1 Dimensi akrilik komponen prototipe

No	Komponen	Dimensi (cm)
1	<i>Case</i> utuh	16 × 11,5 × 24
2	<i>Case</i> tempat sumber daya dan komputer	4 × 11,5 × 24
3	<i>Case</i> kamera dan lensa	9,5 × 7 × 16
4	Tempat kaca preparat objek	9 × 11,5 × <i>t</i> *

**t* : tinggi tempat kaca preparat dapat menyesuaikan besaran objek deteksi



Gambar 4.1 Prototipe alat secara utuh



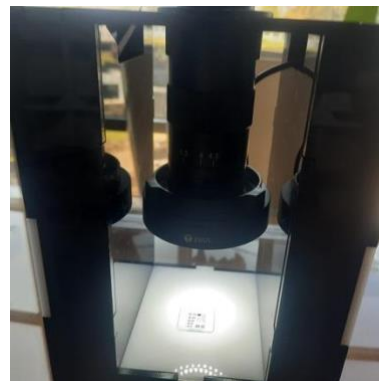
Gambar 4.2 Prototipe alat tampak tempat komputer



Gambar 4.3 Prototipe alat tampak tempat sumber daya



Gambar 4.4 Prototipe alat tampak tempat kamera dan lensa



Gambar 4.5 Prototipe alat tampak LED dan kaca preparat objek

4.1.1.4 Komparasi dengan Produk Serupa

Pada Tabel 4.2 dilakukan perbandingan antara prototipe yang dibuat dan produk serupa yang ada di pasaran, yaitu IoLight. Tabel ini mengidentifikasi perbedaan utama dalam fitur-fitur yang relevan.



Gambar 4.6 Produk IoLight [14]

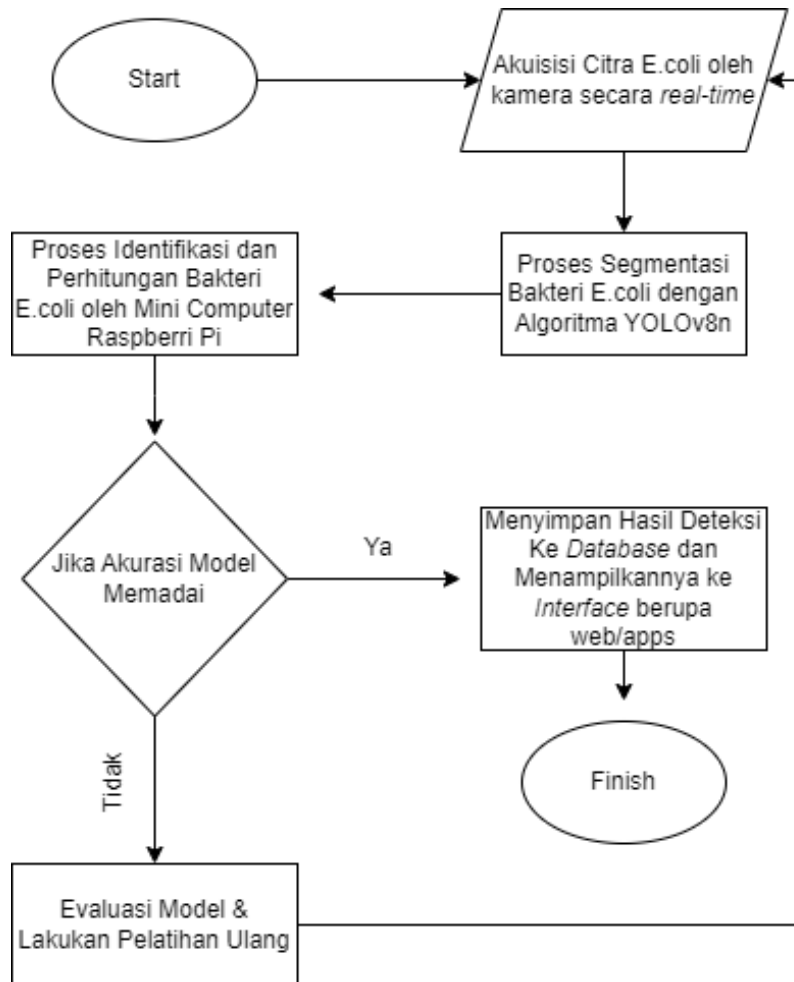
Tabel 4.2 Komparasi dengan produk serupa

No	Fitur	Prototipe yang dibuat	IoLight
1	Harga	Harga produksi Rp 5.188.794	Harga jual \$1400
2	Otomatisasi objek deteksi	Sistem dilengkapi dengan model AI	Masih manual dalam pengamatan objek
3	Kecepatan sistem	Sistem dibuat dapat mengirimkan data secara <i>realtime</i>	Masih harus dilakukan pengambilan data manual yang memakan waktu
4	Ketahanan sistem	Bobot lumayan berat dengan <i>case</i> keras berbahan akrilik	Bobot ringan dengan <i>case</i> berbahan plastik

4.1.2 Perangkat Lunak

Alur kerja perangkat lunak alat ini ditunjukkan pada Gambar 4.7, sistem ini dimulai dengan mengakuisisi citra *E. Coli* menggunakan kamera secara *real-time*. Setelah citra diambil, sistem melakukan proses segmentasi bakteri *E.coli* menggunakan algoritma YOLOv8n. Kemudian, hasil segmentasi ini diproses lebih lanjut oleh mini komputer Raspberry Pi untuk mengidentifikasi dan menghitung jumlah bakteri *E.coli* yang terdeteksi. Selanjutnya, sistem akan mengevaluasi apakah akurasi model yang digunakan memadai. Jika akurasi model memadai, hasil deteksi bakteri

disimpan ke dalam *database* dan ditampilkan melalui *interface* berupa *website* atau aplikasi. Namun, jika akurasi model tidak memadai, sistem akan melakukan evaluasi terhadap model dan melanjutkan dengan pelatihan ulang untuk meningkatkan akurasi. Setelah pelatihan ulang selesai, sistem akan kembali ke langkah awal untuk memulai proses deteksi lagi. Proses ini berulang hingga model mencapai akurasi yang diinginkan, memastikan bahwa sistem memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

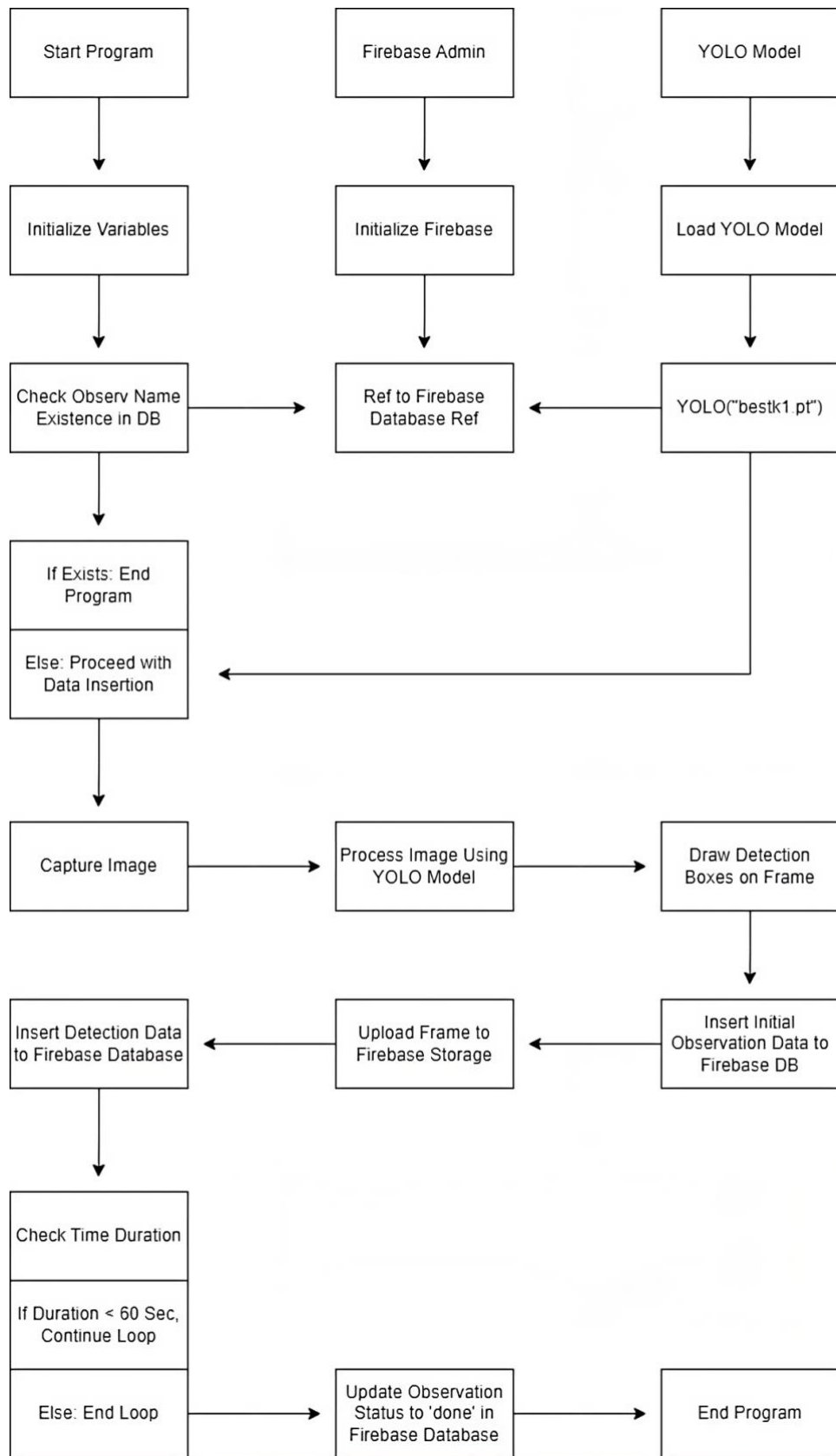


Gambar 4.7 Diagram alir perangkat lunak

Kemudian untuk diagram blok alur kerja model dan *database* pada Gambar 4.8, program dimulai dengan menginisialisasi variabel-variabel yang diperlukan serta menginisialisasi *Firestore* untuk menghubungkan dengan basis data online. Pada saat yang sama, model YOLO (*You Only Look Once*) yang digunakan untuk deteksi objek dimuat ke dalam sistem memori. Setelah itu, program memeriksa apakah nama observasi yang akan digunakan sudah ada di *database Firestore*.

Jika nama tersebut sudah ada, program akan berhenti. Namun, jika belum ada, program akan melanjutkan dengan memasukkan data observasi awal ke dalam *database*. Langkah berikutnya adalah menangkap gambar menggunakan kamera yang terhubung dengan sistem. Gambar yang diambil diproses menggunakan model YOLOv8n untuk mendeteksi objek, dalam hal ini bakteri *E. Coli*, dan kotak deteksi digambar pada *frame* gambar untuk menunjukkan posisi bakteri *E. Coli* yang terdeteksi. Gambar yang telah diproses kemudian diunggah ke Firebase *storage*.

Setelah itu, data deteksi bakteri *E. Coli*, termasuk jumlah bakteri *E. Coli* yang terdeteksi dan informasi waktu pengambilan gambar, dimasukkan ke dalam Firebase *database*. Program kemudian memeriksa durasi waktu observasi. Jika durasi observasi belum mencapai batas waktu yang ditentukan (misalnya 60 detik), program akan kembali ke langkah penangkapan gambar untuk mengulang proses deteksi. Namun, jika durasi observasi sudah mencapai batas waktu, program akan memperbarui status observasi menjadi 'done' di Firebase *database* dan kemudian program akan berhenti. Dengan proses ini, sistem secara otomatis menangkap, memproses, dan menyimpan data deteksi bakteri *E. Coli*, serta memberikan hasilnya secara *real-time* melalui Firebase. Sistem ini dirancang untuk memastikan bahwa data yang disimpan akurat dan dapat diandalkan, serta memudahkan akses melalui *interface* aplikasi.



Gambar 4.8 Blok diagram model dan basis data pada perangkat lunak

4.1.2.1 Pengambilan Citra

Bagian pertama dari perangkat lunak adalah modul pengambilan gambar. Modul ini memanfaatkan kamera dan lensa untuk menangkap gambar dari kamera yang melihat citra gambar objek yang diperbesar. Setelah gambar diambil, gambar tersebut diubah ukurannya menjadi 640x640 menggunakan modul pengubahan ukuran OpenCV, karena model deteksi perhitungan memerlukan gambar masukan dengan dimensi tersebut.

4.1.2.2 Praproses

Tujuan dari model deteksi *E. Coli* adalah untuk menemukan dan memberi label pada *E. Coli*. Ini memerlukan *dataset* dengan sejumlah besar gambar yang telah dianotasi untuk tugas deteksi objek (yaitu, memiliki objek yang diberi label dengan kotak persegi panjang atau kotak pembatas). *Dataset* semacam itu tidak banyak tersedia dan tidak mudah untuk dibuat. Oleh karena itu, *dataset* berskala kecil dari BRIN Fotonik berupa video singkat pertumbuhan bakteri *E. Coli* (terlihat sampel salah satu *frame* pada Gambar 4.9) digunakan untuk memulai model. *Dataset* ini mencakup 153 citra gambar dengan satu kelas *E. Coli*. Karena *dataset* ini tidak terlalu besar, teknik augmentasi data digunakan selama pelatihan, yaitu *brightness adjustment* seperti pada sampel Gambar 4.10.

Karena *dataset E. Coli* kecil, melatih model deteksi objek dari awal tidak akan memberikan akurasi yang diperlukan untuk deteksi citra yang tepat. Oleh karena itu, *transfer learning* digunakan sebagai teknik pembelajaran mesin yang berfokus pada penyimpanan pengetahuan yang diperoleh saat menyelesaikan satu masalah dan menerapkannya pada masalah yang berbeda namun terkait. Sebelum itu, dilakukan langkah pelabelan tiap *dataset* citra gambar sebagaimana gambar 4.11.



Gambar 4.9 Citra *E. Coli* sebelum *brightness adjustment*



Gambar 4.10 Citra *E. Coli brightness adjustment* tanpa anotasi



Gambar 4.11 Citra *E. Coli brightness adjustment* dengan anotasi

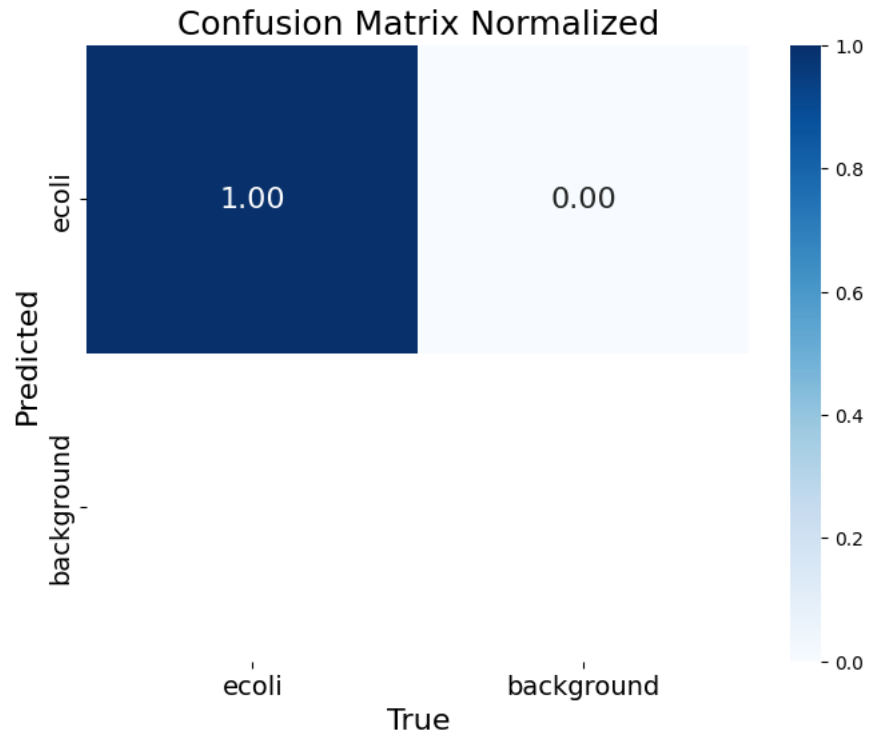
4.1.2.3 Pelatihan dan Validasi

Pada pelatihan citra *E. Coli*, telah dilakukan pelabelan satu kelas yaitu “ecoli” dengan jumlah data 64 data (80% persen data dari total 80) dengan resolusi 640 x 640. Kemudian hasil pelabelan kelas tersebut akan digunakan dalam proses pelatihan dengan algoritma YOLOv8n dengan satu layer versi Ultralytics. Penggunaan YOLOv8n dikarenakan dapat mempercepat waktu deteksi objek, yang sangat penting untuk aplikasi *real-time* seperti deteksi objek. Model yang lebih sederhana ini juga membutuhkan lebih sedikit sumber daya komputasi, cocok untuk perangkat dengan kemampuan terbatas seperti *smartphone*. Dalam situasi di mana tujuan utamanya adalah mendeteksi objek tunggal atau jenis objek tertentu dalam gambar, serta pada kondisi gambar dengan latar belakang sederhana dan objek yang jelas, model yang lebih kompleks mungkin tidak diperlukan. Selain itu, model yang lebih sederhana cenderung rentan terhadap *overfitting*, terutama ketika *dataset* pelatihan kecil atau memiliki variasi yang rendah. Dalam proses pelatihan dengan

model ini, dilakukan selama 500x *epochs* menghasilkan beberapa parameter pada sebagaimana gambar 4.12 dan Tabel 4.3 yang kemudian dilakukan validasi dengan data yang berbeda sejumlah 16 data (20% persen data dari total 80) sebagaimana Gambar 4.13.

Tabel 4.3 Nilai metrik hasil pelatihan model

No	Metrik	Nilai	Keterangan
1	<i>True Positive</i> (TP)	1	<i>E. Coli</i> berhasil terdeteksi dengan benar
2	<i>True Negative</i> (TN)	0	Tidak ada kesalahan dalam mendeteksi <i>E. Coli</i> yang tidak ada
3	<i>False Positive</i> (FP)	0	Tidak ada kesalahan mendeteksi <i>E. Coli</i> yang seharusnya tidak ada
4	<i>False Negative</i> (FN)	0	Tidak ada <i>E. Coli</i> yang terlewat deteksi
5	Akurasi	100%	Semua deteksi benar dari total percobaan, dengan formula $\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
6	Presisi	100%	Semua deteksi positif adalah benar, dengan formula $\frac{TP}{TP+FP}$
7	<i>Recall</i>	100%	Semua <i>E. Coli</i> yang ada berhasil dideteksi, dengan formula $\frac{TP}{TP+FN}$
8	F1-Skor	100%	Kombinasi terbaik dari presisi dan <i>recall</i> , dengan formula $\frac{2(presisi \times recall)}{presisi + recall}$



Gambar 4.12 Confusion Matrix hasil pelatihan *E. Coli*

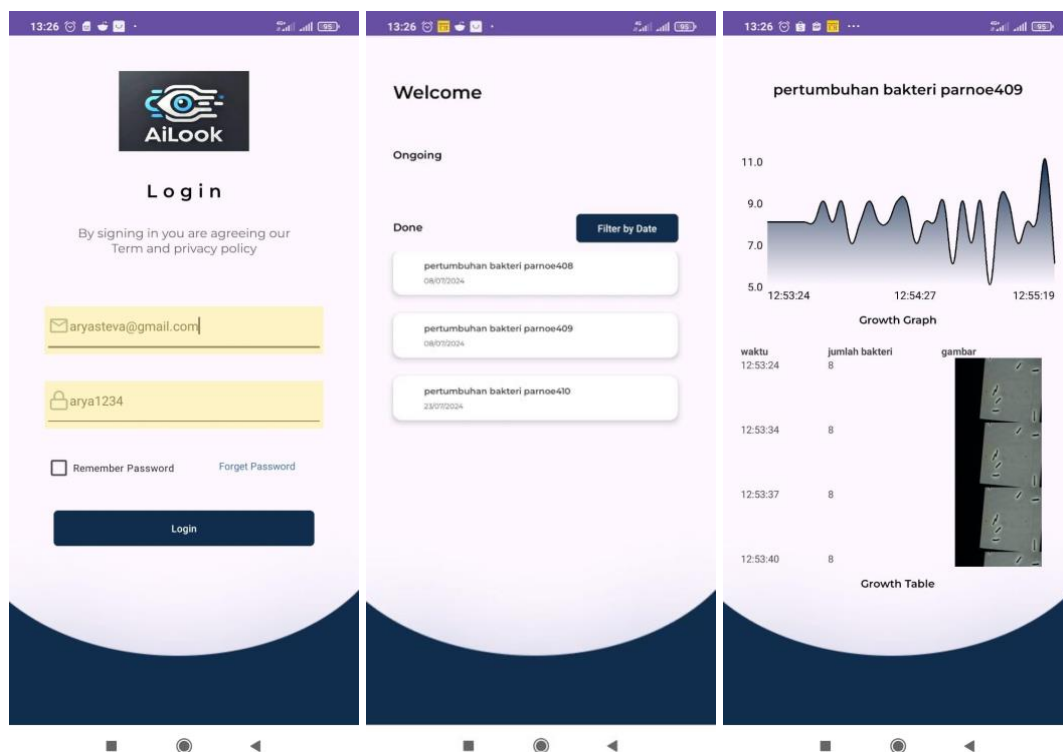


Gambar 4.13 Validasi model hasil pelatihan *E. Coli*

4.1.2.4 UI dan UX

Pengalaman pengguna alat ini dirancang untuk intuitif dan memudahkan penggunaan. Berikut adalah langkah-langkah yang akan diikuti pengguna untuk melakukan identifikasi *E. Coli*:

1. Nyalakan perangkat dan LED: langkah ini akan menghidupkan perangkat dan menghidupkan LED di mana pencahayaannya bisa diatur secara manual.
2. Masukkan kaca preparat objek uji yang telah dipersiapkan ke dalam tempatnya pada perangkat.
3. Jalankan program deteksi perhitungan *E. Coli*: langkah ini citra gambar akan diproses selama waktu yang sudah ditentukan, dan hasilnya akan ditampilkan di aplikasi sebagaimana Gambar 4.14, termasuk jumlah *E. Coli* serta kotak pembatas di sekitar objek terdeteksi. Langkah 2 hingga 4 diulang untuk *screening* objek berikutnya.

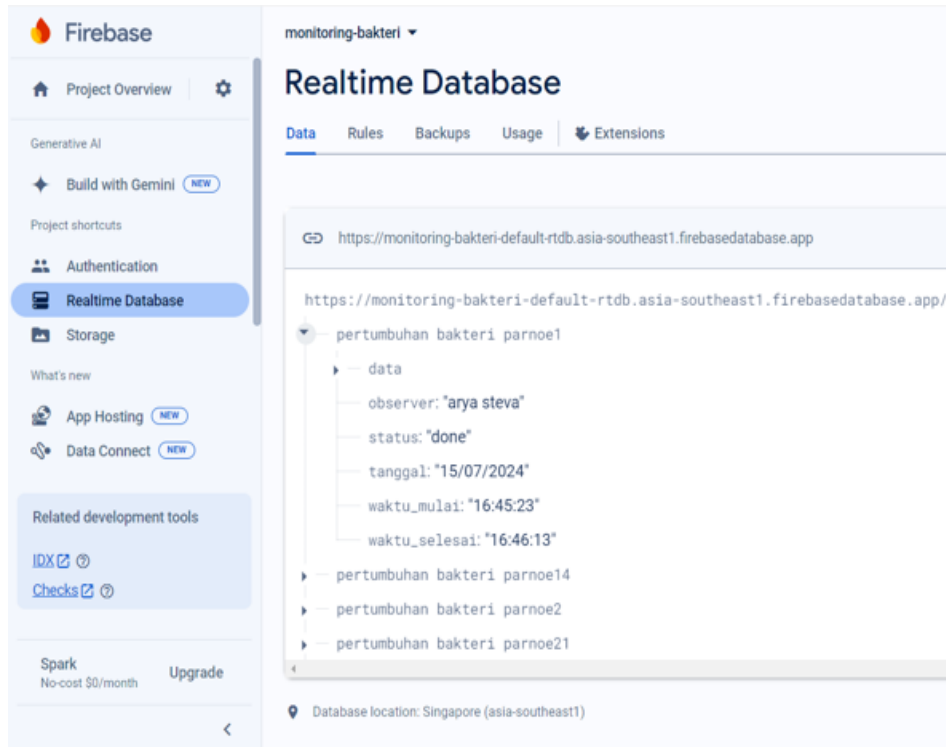


Gambar 4.14 Tampilan antarmuka aplikasi

4.1.2.5 Penyimpanan Data

Modul ini menyimpan citra gambar *E. Coli* serta prediksinya dalam basis data non-lokal atau *cloud*. Setelah perangkat terhubung ke internet, data citra gambar disinkronkan ke *cloud* yang

terlihat pada Gambar 4.15. Data ini kemudian dapat digunakan untuk menyempurnakan model lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dalam pembelajaran mesin.



Gambar 4.15 Tangkapan layar data yang tersimpan dalam basis data

4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

Pengujian kinerja sistem yang telah dirancang adalah dengan menggunakan indikator yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Parameter ini akan membantu untuk mengevaluasi serta meninjau sejauh mana sistem memenuhi kinerja yang diinginkan.

4.2.1 Pengujian Perhitungan *E. Coli*

Pada Tabel 4.3 menyajikan parameter-parameter penting yang digunakan dalam pengujian perhitungan konsentrasi *E. Coli*. Dalam konteks ini, pengujian dilakukan untuk membandingkan nilai aktual konsentrasi *E. Coli* yang diperoleh dari pengukuran langsung atau data referensi dengan nilai yang diprediksi oleh model. Tabel ini juga memberikan panduan penting dalam mengevaluasi performa model prediksi terhadap konsentrasi *E. Coli*, membantu dalam menilai sejauh mana model dapat dipercaya dalam aplikasi praktis.

Tabel 4.4 Variabel pengujian perhitungan *E. Coli*

No	Variabel	Keterangan
1	<i>Actual value</i> (<i>x</i>)	Nilai aktual konsentrasi <i>E. Coli</i> yang diperoleh dari pengukuran langsung atau data referensi
2	<i>Predicted value</i> (<i>y</i>)	Nilai prediksi konsentrasi <i>E. Coli</i> yang dihasilkan oleh model
3	RMSE	Mengukur rata-rata kesalahan kuadrat dari prediksi dibandingkan dengan nilai aktual. Dengan formula 4.1 dengan <i>i</i> adalah iterasi data dan <i>n</i> adalah jumlah data pengamatan
4	Akurasi	Mengukur persentase dari prediksi yang benar dibandingkan dengan nilai aktual, dengan formula 4.2.

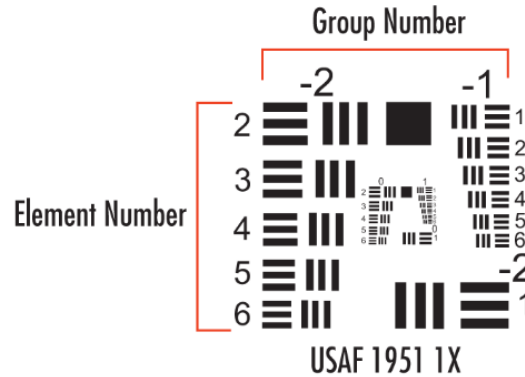
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (4.1)$$

$$Akurasi = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{\sum_{i=1}^n x_i}\right) \times 100\% \quad (4.2)$$

4.2.2 Pengujian Instrumen Kalibrasi Objek Lensa

Pada Gambar 4.16 adalah target uji daya resolusi USAF 1951, yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu sistem optik dalam memisahkan detail kecil dalam gambar. Pengujian pada instrumen kalibrasi ini diperlukan untuk menguji besaran ukuran yang dapat dicapai oleh kamera dan lensa dikarenakan *real dataset* proses hidup dan mati *E. Coli* belum bisa disediakan oleh BRIN Bioteknologi. Lebih jelasnya mengenai instrumen kalibrasi ini, angka-angka besar di bagian atas dan samping target (seperti -2 dan -1) mewakili nomor grup, di mana setiap grup memiliki serangkaian elemen yang terdiri dari garis hitam dan putih dengan berbagai ketebalan dan jarak. angka-angka yang lebih kecil di samping setiap grup (seperti 1, 2, 3, dan seterusnya) menunjukkan nomor elemen dalam grup tersebut, dengan setiap elemen berisi garis-garis yang semakin tipis dan semakin dekat jaraknya. Dalam penggunaan praktis, target ini ditempatkan dalam bidang pandang sistem optik yang sedang diuji, dan pengguna kemudian menentukan elemen terkecil yang masih dapat dibedakan sebagai garis terpisah, yang

menunjukkan kemampuan resolusi sistem optik tersebut. Target ini adalah alat penting dalam kalibrasi dan evaluasi performa kamera, lensa, mikroskop, dan perangkat optik lainnya.



Gambar 4.16 Instrumen kalibrasi pengukuran objek mikroskop

Kemudian dengan rumus 4.3 kita dapat menghitung ukuran objek yang mampu dilihat oleh alat kita, contoh pengimplementasian dengan menggunakan grup 1 elemen 5. Pada contoh ini, nilai grup yang digunakan adalah 1 dan nilai elemen yang digunakan adalah 5. Proses perhitungannya dimulai dengan memasukkan nilai grup dan elemen ke dalam rumus yang telah disesuaikan. Setelah memasukkan nilai-nilai tersebut, dilakukan beberapa langkah perhitungan yang melibatkan eksponensial dan pembagian yang mana mendapatkan hasil akhir dari perhitungan sebesar 157,5 μm . Nilai ini menunjukkan lebar elemen yang diamati dalam mikrometer. Proses perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa mikroskop dapat memberikan hasil yang akurat dan andal dalam mengukur objek mikroskopis seperti bakteri *E. Coli*. Keseluruhan proses ini menggambarkan bagaimana mikroskop menggunakan prinsip matematis untuk menentukan dimensi elemen yang diamati dengan tingkat presisi yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi ilmiah dan penelitian yang membutuhkan akurasi tinggi. Lalu untuk memudahkan penentuan ukuran kita bisa melihat pada Tabel 4.5 yang sudah berisi beberapa hasil perhitungan untuk beberapa grup dan elemen [15]. Dapat dilihat bahwa hasil perhitungan sesuai dengan data nilai ukuran USAF pada Tabel 4.5.

$$\text{Ukuran objek} = \frac{\frac{3200}{2^{(6+\text{grup})}}}{\frac{\text{elemen}-1}{2^6}} \mu\text{m} \quad (4.3)$$

$$\text{Ukuran objek} = \frac{\frac{3200}{2^{(6+1)}}}{\frac{5-1}{2^6}} = 157,5 \mu\text{m}$$

Tabel 4.5 Nilai ukuran USAF (Grup dan Elemen)

GRUP	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2000,0	1000,0	500,0	250,0	125,0	62,5	31,3	15,6	7,8	3,9
2	1781,8	890,9	445,4	222,7	111,4	55,7	27,8	13,9	7,0	3,5
3	1587,4	793,7	396,9	198,4	99,2	49,6	24,8	12,4	6,2	3,1
4	1414,2	707,1	353,6	176,8	88,4	44,2	22,1	11,0	5,5	2,8
5	1259,9	630,0	315,0	157,5	78,7	39,4	19,7	9,8	4,9	2,5
6	1122,5	561,2	280,6	140,3	70,2	35,1	17,5	8,8	4,4	2,2

BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Pada bagian ini akan diuraikan hasil implementasi serta pengujian yang dilakukan untuk memenuhi spesifikasi sistem yang ingin dicapai. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana prototipe mampu menjadi solusi dari permasalahan yang dimiliki, sehingga prototipe mampu memenuhi tujuan dari perancangan yang dilakukan uji coba ini meliputi uji model dan uji integrasi perangkat lunak dan keras dan juga implementasi dari berbagai aspek, mulai dari aspek teknologi sampai sosial.

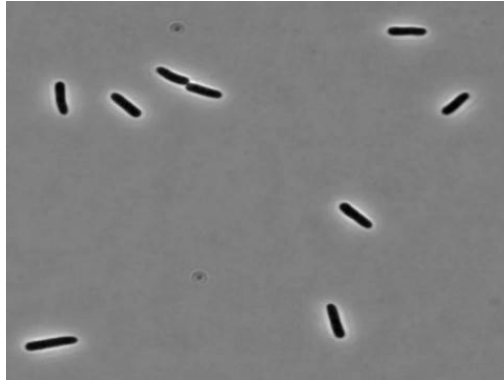
5.1. Analisis Hasil

Dari hasil yang telah didapatkan oleh tim dalam menyelesaikan proyek pada tugas akhir ini, tim akan membahas beberapa hasil yang telah didapatkan dalam pengujian serta pengambilan data yang meliputi hasil kontrol indikator, pemenuhan spesifikasi sistem, pengalaman pengguna dan penerapan desain dalam manajemen tim.

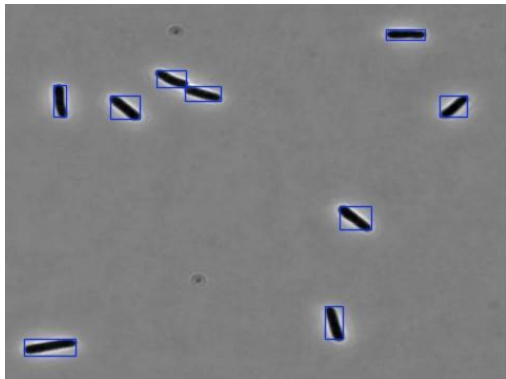
5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

5.1.1.1 Pengujian Hitung *E. Coli*

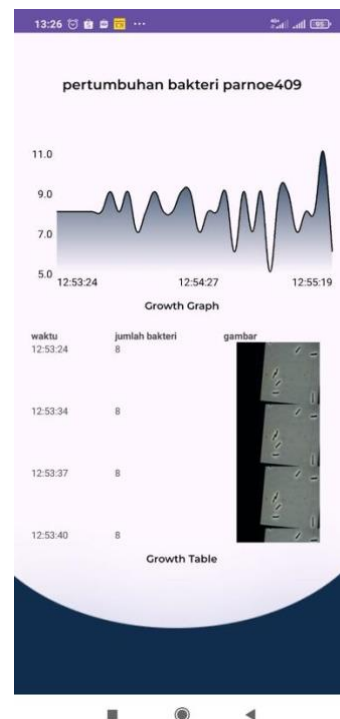
Telah dilakukan pengujian pada *dataset* uji berupa video dari BRIN yaitu video *E. Coli Exploded* dimana *E. Coli* diberi cairan antibiotik yang menyebabkan kematian *E. Coli*. Dapat dilihat sampel *frame* pada gambar 5.1 merupakan bagian *frame* video yang telah dilakukan pengujian baik dengan kamera (lihat Gambar 5.3) maupun tanpa kamera (yaitu dengan pengujian kode program, pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.2). Lebih jelasnya, hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan 5.5.



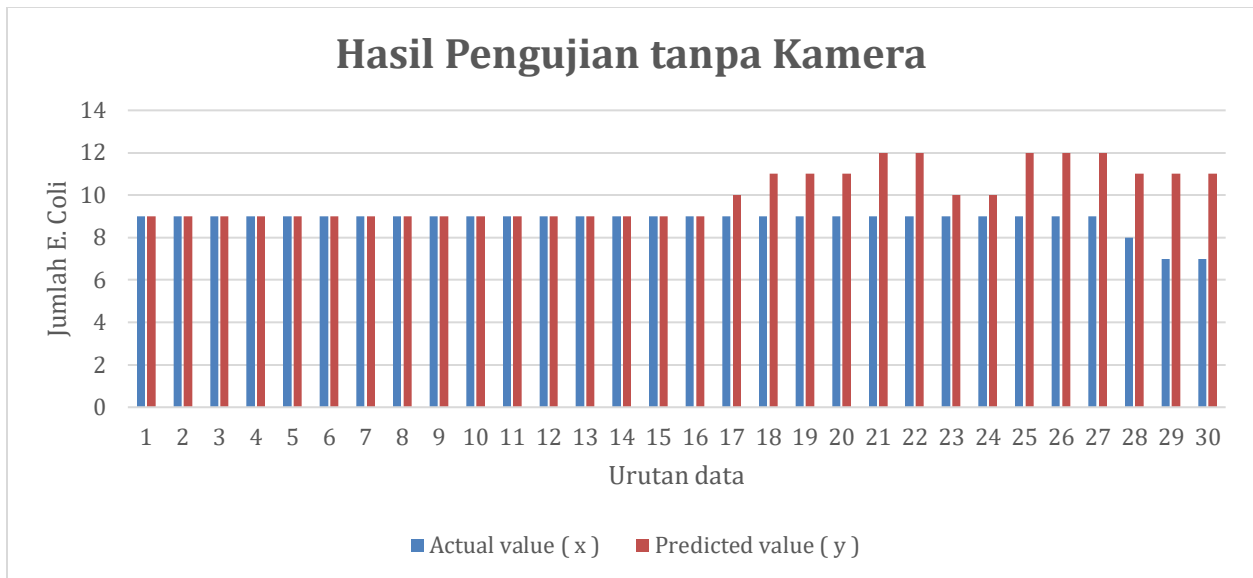
Gambar 5.1 Citra *E. Coli* sebelum deteksi *counting*



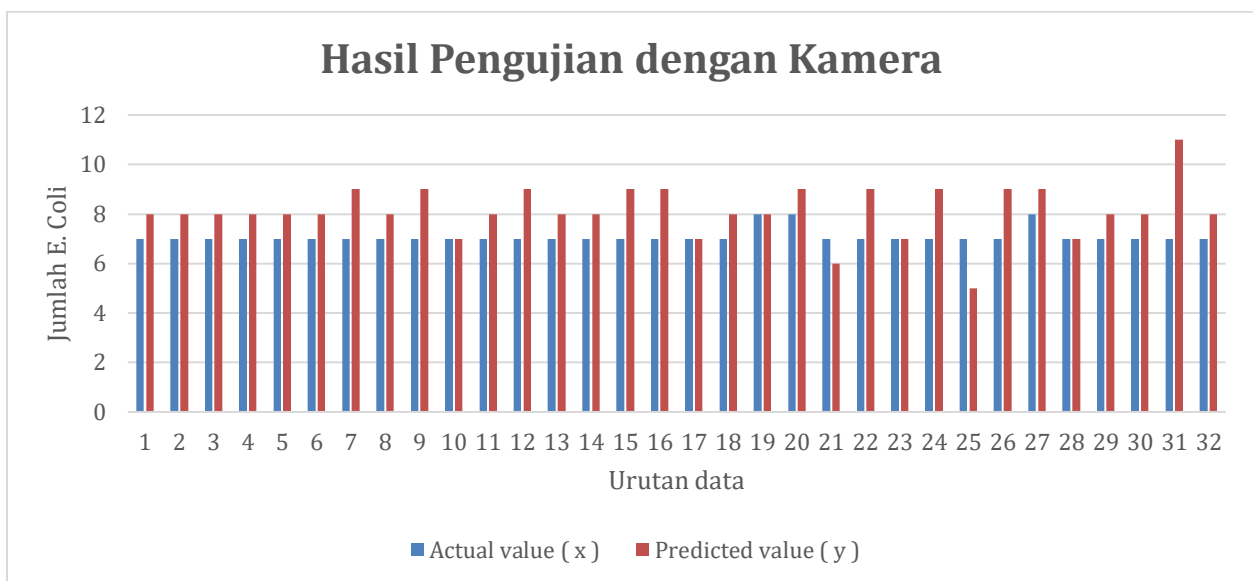
Gambar 5.2 Citra *E. Coli* saat deteksi *counting* tanpa kamera



Gambar 5.3 Citra *E. Coli* saat deteksi *counting* dengan kamera



Gambar 5.4 Hasil pengujian tanpa kamera



Gambar 5.5 Hasil pengujian dengan kamera

Dari hasil di atas dapat diperoleh nilai RMSE dan akurasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.3. Pengujian tanpa kamera menghasilkan RMSE sebesar 1,97 dan akurasi 84,38%. RMSE (*Root Mean Square Error*) menggambarkan rata-rata kesalahan kuadrat antara nilai yang diprediksi dan nilai aktual, dan nilai 1,97 menunjukkan bahwa prediksi model memiliki tingkat kesalahan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan dengan kamera. Akurasi 84,38% menunjukkan bahwa model dapat memprediksi nilai *E. Coli* dengan tingkat kecocokan

yang relatif tinggi, di mana sekitar 84,38% dari prediksi model sesuai dengan nilai aktual. Sebaliknya, pengujian dengan kamera memberikan RMSE yang lebih rendah, yaitu 1,47, dan akurasi sebesar 81,25%. RMSE yang lebih rendah menunjukkan bahwa model prediksi yang diuji dengan kamera menghasilkan kesalahan kuadrat rata-rata yang lebih kecil, menandakan bahwa model lebih mendekati nilai aktual dalam hal kesalahan kuadrat. Namun, akurasi 81,25% menunjukkan bahwa meskipun kesalahan kuadrat lebih kecil, tingkat kesesuaian antara nilai aktual dan nilai prediksi sedikit menurun. Ini menunjukkan bahwa model dengan kamera mungkin menghasilkan lebih banyak prediksi yang salah, meskipun kesalahan rata-rata per prediksi lebih kecil.

Tabel 5.3 Perbandingan jenis pengujian tanpa dan dengan kamera

No	Jenis Pengujian	RMSE	Akurasi (%)
1	Tanpa kamera	1,97	84,38
2	Dengan kamera	1,47	81,25

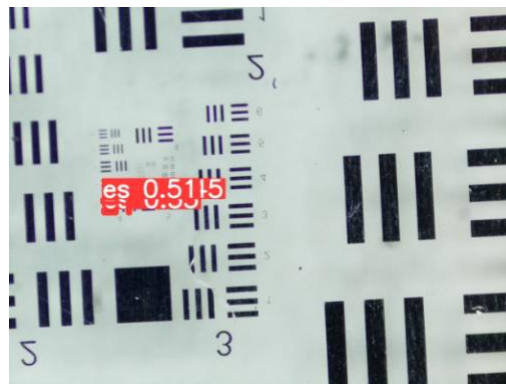
5.1.1.2 Pengujian Instrumen Kalibrasi Objek Lensa

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil deteksi dari alat berbasis model YOLOv8n yang telah dibuat menggunakan Raspberry Pi dan sistem optiknya. Alat ini mampu mendeteksi detail sampai dengan grup 4 nomor 1 pada target uji daya resolusi USAF 1951. Hal ini terlihat pada gambar Gambar 5.6 di mana tabel resolusi menunjukkan bahwa grup 4 nomor 1 memiliki ukuran 31,3 μm . Namun, kemampuan deteksi ini masih kurang untuk mendeteksi bakteri *E. Coli* yang memiliki ukuran jauh lebih kecil, yaitu sekitar 1,0-1,5 μm x 2,0-6,0 μm . Resolusi minimum yang dicapai oleh alat ini adalah 31,3 μm , yang berarti tidak cukup untuk mengidentifikasi atau mendeteksi bakteri dengan ukuran mikroskops seperti *E. Coli* secara akurat. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan dalam sistem optik atau penggunaan alat dengan resolusi lebih tinggi untuk mendeteksi bakteri berukuran kecil tersebut.

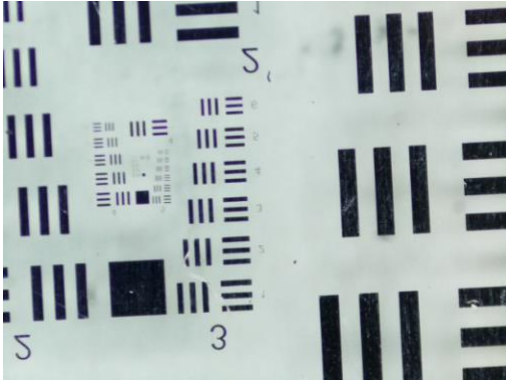
Lebih jelasnya, untuk membuktikan bahwa percobaan telah dilakukan sebanyak tiga kali dalam menentukan ukuran yang dapat terdeteksi oleh model, berikut adalah penjelasan mengenai setiap percobaan model. Pada Gambar 5.6, terlihat bahwa model yang dilatih menggunakan YOLOv8 dengan Raspberry Pi dan sistem optiknya mampu mendeteksi detail pada grup 4 nomor 1 pada target uji daya resolusi USAF 1951. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat mendeteksi

ukuran yang sesuai dengan gambar acak yang diberikan, menandakan bahwa resolusi optik mencukupi untuk mendeteksi garis pada grup tersebut.

Pada Gambar 5.7, pelatihan model dilakukan untuk grup 5 nomor 1. Terlihat bahwa model tidak dapat mendeteksi ukuran yang sesuai. Ketidakmampuan ini disebabkan oleh piksel yang tidak terdeteksi karena gambar terlalu buram selama proses pelatihan berlangsung. Resolusi optik yang dibutuhkan untuk mendeteksi detail pada grup 5 nomor 1 tidak tercapai, menunjukkan bahwa sistem optik yang digunakan tidak mampu menangkap detail sekecil itu dengan jelas. Selanjutnya, pada Gambar 5.8, model dilatih pada grup 4 nomor 5. Hasilnya juga menunjukkan bahwa model tidak dapat mendeteksi ukuran yang sesuai ketika dicoba dengan gambar acak. Alasan ketidakberhasilan ini mirip dengan gambar kedua, yaitu piksel yang tidak terdeteksi karena gambar yang terlalu buram. Ini menunjukkan bahwa resolusi optik tidak cukup tinggi untuk menangkap detail pada grup 4 nomor 5 dengan baik. Dari ketiga percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa model yang dilatih menggunakan sistem optik yang ada hanya mampu mendeteksi detail hingga grup 4 nomor 1, dengan ukuran sekitar $31,3 \mu\text{m}$.



Gambar 5.6 Percobaan model dengan data latih grup 4 dan nomor 1



Gambar 5.7 Percobaan model dengan data latihan grup 5 dan nomor 1



Gambar 5.8 Percobaan model dengan data latihan grup 4 dan nomor 5

5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Sistem yang dirancang sudah memenuhi spesifikasi alat yang diusulkan. Namun, spesifikasi sistem yang telah dirancang oleh tim pada Tugas Akhir 2 ini mengalami beberapa perubahan dari usulan Tugas Akhir 1 dikarenakan penulis melakukan penyesuaian dari kebutuhan *stakeholder* serta pada tahap pengujian alat masih memiliki beberapa kekurangan. Oleh karena itu, penulis melakukan beberapa perbaikan serta evaluasi pada sistem ini. Perubahan spesifikasi tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya kemudahan dalam implementasi maupun komponen yang digunakan tidak dapat berfungsi secara maksimal, serta mengubah dimensi alat. Tujuan melakukan perubahan serta pergantian spesifikasi adalah untuk dapat lebih memudahkan untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh *stakeholder*. Modifikasi dan perubahan komponen dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	<i>Computer</i>	Raspberry Pi 4B	Raspberry Pi 4B
2	<i>Camera</i>	Pi Camera HQ dengan lensa 300x	Pi Camera HQ dengan lensa 180x
3	<i>Power supply</i>	Baterai 20000mAh atau daya PLN 220VAC	Baterai 5000mAh atau daya PLN 220VAC
5	<i>Database</i>	Internal dan <i>cloud</i>	<i>Cloud</i>

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
6	<i>Access</i>	Internet atau lokal	Internet
7	<i>Dimension</i>	10 × 8 × 20 cm	16 × 11,5 × 24 cm
8	<i>Interface</i>	<i>Mobile apps</i>	<i>Mobile apps</i>
9	<i>Accuracy</i>	97.5%	81,25%

Alasan penulis melakukan perubahan pada spesifikasi alat ini adalah untuk meningkatkan efisiensi serta mendapatkan hasil yang maksimal dalam operasional sistem. Perubahan ini dimulai dengan pergantian modul dari baterai 10000mAh ke baterai 5000mAh. Penggantian ini dilakukan karena keterbatasan ukuran 10000mAh yang cukup besar dan menghilangkan nilai portabilitas. Kemudian pergantian ukuran dimensi disebabkan karena penyesuaian tempat komponen. Kemudian juga nilai akurasi total yang menargetkan di persentase 97,5% tetapi belum bisa dipenuhi karena data yang digunakan dalam pelatihan model belum cukup untuk mencapai target tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi kurangnya akurasi yaitu jumlah dan kualitas data pelatihan yang mungkin tidak cukup banyak atau tidak cukup beragam untuk mencakup semua kemungkinan variasi yang akan dihadapi alat ini dalam penggunaannya, menyebabkan model tidak mampu mengenali pola dengan baik. Perubahan kondisi lingkungan, seperti pencahayaan yang buruk, objek yang bergerak cepat, atau latar belakang yang kompleks, juga dapat mempengaruhi akurasi deteksi, karena algoritma mungkin mengalami kesulitan dalam kondisi-kondisi tersebut. Meskipun algoritma YOLOv8n digunakan untuk mencapai akurasi tinggi, optimasi lebih lanjut mungkin diperlukan, termasuk penyesuaian dan pengujian parameter algoritma secara ekstensif untuk memastikan kinerja yang optimal di berbagai situasi. Selain itu, keterbatasan perangkat keras juga dapat mempengaruhi akurasi, karena komponen dengan spesifikasi yang lebih rendah mungkin tidak dapat memproses data dengan efisien, sehingga mengurangi kemampuan alat untuk mendeteksi dengan akurat. Dengan berbagai perubahan ini, penulis berupaya untuk mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi dan memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan lebih andal dan efektif, sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi yang telah ditetapkan.

5.1.3 Pengalaman Pengguna

Dalam realisasi pengujian prototipe didapatkan beberapa rangkuman terkait pengalaman yang didapatkan saat mengoperasikan prototipe. Berdasarkan pengalaman saat pengujian, diperoleh beberapa klasifikasi pengalaman yang terkait pada fungsi, kegunaan, kualitas, performa, hingga kendala. Pada Tabel 5.5 dapat diamati klasifikasi hasil pengalaman penggunaan mikroskop ini.

Tabel 5.5 Pengalaman pengguna

No	Komponen	Capaian	Aksi
1	Fungsi	Sistem telah dengan baik mendeteksi bakteri <i>E. Coli</i> pada deteksi lewat aplikasi, tetapi belum pada objek yang asli.	Akan diperbaiki tingkat optimasi dan pengaturan pada lensa untuk mendapatkan pembesaran yang sesuai pada preparat.
2	App	Pengguna dapat melihat hasil pengambilan <i>frame</i> berupa picture dan melihat hasil perhitungan bakteri serta tiap berapa detik diambil <i>framenya</i> .	Dilakukan penambahan <i>bounding box</i> pada <i>frame</i> yang diambil dimana diperlukan penyesuaian antara kode program dan komputer yang digunakan.
3	Keamanan	Keamanan data sudah cukup baik karena perlu <i>login</i> sebelum melihat data.	Dipertahankan
4	Daya	Menggunakan <i>powerbank</i> agar lebih efisien dan fleksibel.	Dipertahankan
5	Desain	Desain sudah mampu menopang lensa yang akan digunakan untuk deteksi objek dan komponen.	Diperlukan perbaikan desain pada jarak antara objek dan lensa.

5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pada realisasi proyek ini terdapat beberapa perubahan dari rencana yang diusulkan. Perubahan terjadi pada *timeline* realisasi yang diusulkan, perubahan banyak terjadi dikarenakan berbagai kendala di lapangan terkait ketersediaan komponen. Perubahan pada *timeline* pengerjaan bukan hanya terjadi kemunduran dari realisasi, tetapi pada beberapa kegiatan mengalami kemajuan dari *timeline* yang ada. Perubahan *timeline* diperlukan untuk menyesuaikan perubahan *timeline* yang dilakukan pada proyek Tugas Akhir 2. Pada beberapa kegiatan terdapat perubahan *timeline*

yang diakibatkan perlunya verifikasi dari hasil kegiatan sebelumnya, sehingga untuk kegiatan selanjutnya belum dapat dilakukan finalisasi. Pada Tabel 5.6 dapat diamati kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan Tugas Akhir 2.

Tabel 5.6 Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan Tugas Akhir 2

No	Kegiatan	Usulan Waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Desember – Februari	Februari – Mei
2	Perancangan sistem dengan usulan	Januari – Februari	Maret
3	Perbaikan alat yang sudah dirancang	Maret – April	Mei
4	Pengambilan data	April	Juli
5	Menyusun laporan akhir	Mei – Juni	Juni - Juli
6	Expo dan pengumpulan laporan akhir	Juli	Juli

Dalam perancangan alat ini terdapat beberapa perubahan alat dan bahan yang dilakukan dari usulan yang rancang. Perubahan tersebut melibatkan penggantian beberapa alat dan bahan yang diusulkan dengan komponen lain yang tidak diusulkan sebelumnya. Langkah ini diambil untuk merealisasikan desain terbaik yang diusulkan serta meminimalisir kendala yang terjadi selama implementasi. Dengan adanya perubahan ini, anggaran yang dibutuhkan juga mengalami penyesuaian, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.7 Penyesuaian ini mencakup pembelian komponen baru yang lebih efektif dan efisien, tujuan dari perubahan ini adalah untuk memastikan bahwa mikroskop dapat berfungsi secara optimal dan andal.

Tabel 5.7 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
1	Raspberry Pi 4B 8GB	1	Rp 1.800.000	1	Rp 1.800.000
2	Pi HQ Camera 12,3 MP	1	Rp 950.000	1	Rp 950.000
3	Microscope lens 180x	1	Rp1.406.294	1	Rp1.406.294
4	Microscope LED	1	Rp617.500	1	Rp617.500

5	Powerbank 20000mAh	1	Rp. 1.320.635	-	-
6	Cetak akrilik	-	-	1	Rp415.000
7	Powerbank 5000mAh	-	-	1	Rp150.000
TOTAL			Rp 6.094.429		Rp 5.188.794

Pada Tabel 5.8 merupakan aktivitas atau kegiatan yang dilakukan selama pengerjaan Tugas Akhir 2. Selama pengerjaan Tugas Akhir 2 ini, terdapat beberapa kendala yang bisa dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Realisasi aktivitas pelaksanaan Tugas Akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi	Aktivitas	Pelaksana
1	11 Januari 2024 (14 hari)	Pembelian alat dan bahan	Arya
2	6 Februari 2024 (21 hari)	Pembuatan aplikasi dan Firebase	Arya
3	7 Februari 2024 (21 hari)	Pembuatan model	Hanas
4	8 Maret 2024 (14 hari)	Pengujian dan perbaikan model yang sudah ada ke aplikasi	Arya Hanas
5	1 April 2024 (30 hari)	Perbaikan <i>bug</i> dan model dari yang sebelumnya agar lebih optimal	Arya Hanas
6	1 Mei 2024 (30 hari)	Uji coba alat langsung ke preparat	Arya Hanas
7	1 Juni 2024 (30 hari)	Pembuatan 3D desain dan cetak	Hanas
8	1 Juni 2024 (30 hari)	Mencoba optimasi pada lensa dan kalibrasi untuk dapat melihat preparat langsung	Arya Hanas
9	1 juli 2024 (9 hari)	Melakukan penyusunan laporan akhir Tugas Akhir 2	Arya Hanas

5.2 Dampak Implementasi Sistem

Mikroskop ini memiliki dampak implementasi sistem yang positif bagi perkembangan teknologi. Mikroskop ini dirancang dengan melalui observasi serta kajian menghasilkan suatu solusi terbaik yang dapat diaplikasikan. Suatu metode perhitungan serta prototipe dengan solusi terbaik memberikan hasil yang lebih optimal dari solusi teknologi sejenis yang sudah dilakukan sebelumnya. Realisasi mikroskop ini juga memberikan dampak positif pada pengguna beberapa dampak positif dari implementasi mikroskop terdapat pada aspek teknologi/informasi, sosial, dan ekonomi sebagai berikut.

5.2.1 Aspek Teknologi/Inovasi

Implementasi teknologi pintar mikroskop ini mampu meningkatkan efisiensi, kecepatan waktu hitung, dan akurasi perhitungan secara signifikan daripada perhitungan manual. Selain itu alat ini mampu dimonitor secara jarak jauh dengan aplikasi gawai.

5.2.2 Aspek Sosial

Alat ini memberikan keuntungan dengan mempermudah pekerjaan periset. Para periset tidak perlu lagi mengawasi secara langsung dan berkontak dengan objek uji. Implementasi sistem ini mengurangi kebutuhan tenaga periset secara fisik untuk mendeteksi dan menghitung manual objek uji.

5.2.3 Aspek Ekonomi

Berkenaan dengan aspek ekonomi, alat ini cukup terjangkau dalam biaya produksi dengan biaya di bawah 5,2 juta rupiah untuk mendapatkan teknologi pintar yang mampu melakukan perhitungan secara otomatis. Dengan biaya yang relatif rendah ini, alat tersebut memungkinkan akses yang lebih luas bagi berbagai kalangan, yang mungkin memiliki keterbatasan anggaran. Selain itu, efisiensi yang ditawarkan oleh teknologi pintar ini dapat memberikan penghematan waktu dan tenaga kerja yang signifikan, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas dan profitabilitas.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Prototipe mikroskop yang telah dirancang berhasil meningkatkan portabilitas, mengurangi intervensi operator, dan menekan biaya pembuatan, serta memiliki akurasi yang tinggi. Penggunaan komponen utama seperti Raspberry Pi 4 model B, kamera Pi HQ dengan lensa pembesaran 180x, LED, dan catu daya *powerbank* memungkinkan mikroskop menjadi lebih portabel dan mudah dibawa serta digunakan di berbagai lokasi tanpa memerlukan sumber daya eksternal. Sistem ini juga berhasil mengurangi intervensi operator dengan mengotomatisasi proses pengambilan gambar dan deteksi bakteri menggunakan model deteksi YOLOv8n, yang memungkinkan proses berjalan secara otomatis mulai dari pengambilan gambar hingga analisis data. Selain itu, penggunaan komponen yang lebih ekonomis dibandingkan dengan mikroskop konvensional mengurangi biaya pembuatan mikroskop yang mana dibuktikan dengan harga Rp 5,2 juta. Dalam hal akurasi, meskipun terdapat beberapa keterbatasan dalam deteksi detail mikroskopik, pengujian ini dengan kamera menunjukkan peningkatan akurasi dalam mendeteksi *E. Coli* dibandingkan dengan metode tanpa kamera. Pengujian menunjukkan nilai RMSE dan akurasi untuk pengujian dengan kamera masing-masing adalah 1,47 dan 81,25%, dibandingkan dengan 1,97 dan 84,38% tanpa kamera. Namun, hasil instrumen kalibrasi objek lensa mengindikasikan bahwa sistem optik saat ini hanya mampu mendeteksi detail hingga grup 4 nomor 1 atau di ukuran 31,3 μm pada target uji daya resolusi USAF 1951, yang menunjukkan kebutuhan untuk peningkatan lebih lanjut dalam sistem optik untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi dalam deteksi bakteri mikroskopis seperti *E. Coli*. Kesimpulan ini menunjukkan bahwa prototipe mikroskop yang dirancang telah berhasil mencapai tujuan utama dalam meningkatkan portabilitas, mengurangi intervensi operator, dan menekan biaya pembuatan, meskipun masih diperlukan peningkatan pada sistem optik untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi.

6.2 Saran

1. Pengujian lebih lanjut dengan data *real*

Melakukan lebih banyak pengujian dengan berbagai kondisi dan *dataset* terutama data *real* untuk memastikan performa alat dalam situasi yang berbeda. Ini akan membantu dalam memahami batasan dan potensi perbaikan lebih lanjut.

2. Pengoptimalan lensa optik

Lensa yang digunakan saat ini belum mampu membaca preparat secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan atau penggantian lensa dengan spesifikasi yang lebih tinggi atau yang lebih sesuai untuk mendeteksi bakteri *E. Coli* pada preparat. Penggunaan lensa dengan kemampuan fokus yang lebih baik dan pembesaran yang lebih tinggi dapat membantu dalam mencapai deteksi yang lebih akurat dan jelas.

3. Perbaiki desain

Desain fisik sistem perlu diperbaiki untuk menyesuaikan jarak dan posisi antara lensa dan preparat. Penyesuaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa lensa dapat memfokuskan gambar dengan lebih baik pada objek preparat. Desain yang ergonomis dan mudah disesuaikan akan mempermudah proses kalibrasi dan penggunaan sistem.

4. Perbaiki aplikasi

Pada bagian aplikasi, diperlukan perbaikan untuk memastikan bahwa *frame* yang diambil dan disimpan memiliki *bounding box* yang jelas. *Bounding box* ini penting untuk menandai area di mana bakteri terdeteksi, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan analisis lebih lanjut. Pengembangan fitur ini akan meningkatkan keakuratan dan kegunaan aplikasi dalam konteks penelitian dan pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amalia, E. et al. (2022) 'Caffeic Acid Phenethyl Ester as a DHODH Inhibitor and Its Synergistic Anticancer Properties in Combination with 5-Fluorouracil in a Breast Cancer Cell Line', *Journal of Experimental Pharmacology*, 14, pp. 243–253. doi: 10.2147/JEP.S365159.
- [2] Ameen, F. et al. (2023) 'Photocatalytic investigation of textile dyes and *E. Coli* bacteria from wastewater using Fe₃O₄@MnO₂ heterojunction and investigation for hydrogen generation on NaBH₄ hydrolysis', *Environmental Research*, 220 (December 2022). doi: 10.1016/j.envres.2023.115231.
- [3] Balasubramanian, H. et al. (2023) 'Imagining the future of optical microscopy: everything, everywhere, all at once', pp. 1–12. doi: 10.1038/s42003-023-05468-9.
- [4] R. Sangameswaran, "MAIScope: A low-cost *portable* microscope with built-in vision AI to automate microscopic diagnosis of diseases in remote rural settings," *arXiv preprint arXiv:2208.06114*, 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2208.06114>. [Accessed: Aug. 3, 2024].
- [5] N. Ali et al., "Predictive Modeling of Antibiotic Susceptibility in *E. Coli* Strains Using the U-Net Network and One-Class Classification," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 167711-167720, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3022829.
- [6] J. B. Lugagne, H. Lin, and M. J. Dunlop, "DeLTA: Automated cell segmentation, tracking, and lineage reconstruction using deep learning," *PLOS Computational Biology*, vol. 16, no. 4, Article e1007673, 2020, doi: 10.1371/journal.pcbi.1007673.
- [7] "Advances in Microscopy," FluoroFinder, [Online]. Available: <https://fluorofinder.com/advances-in-microscopy/>. [Accessed: Aug. 17, 2024].
- [8] Nnadozie, C. F. and Odume, O. N. (2019) 'Freshwater environments as reservoirs of antibiotic-resistant bacteria and their role in the dissemination of antibiotic resistance genes', *Environmental Pollution*, 254, p. 113067. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113067.
- [9] Pinkard, H. and Waller, L. (2022) 'Microscopes are coming for your job', *Nature Methods*, 19(10), pp. 1175–1176. doi: 10.1038/s41592-022-01566-4.
- [10] J. Torres, "YOLOv8 Architecture: A Deep Dive into its Architecture," YOLOv8, Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://yolov8.org/yolov8-architecture/>. [Accessed: Aug. 3, 2024].

- [11] I. M. D. Maleh, R. Teguh, A. S. Sahay, S. Okta, and M. P. Pratama, "Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) Untuk Object Detection Sarang Orang Utan," JURNAL INFORMATIKA, vol. 10, no. 1, pp. 19-27, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.31294/inf.v10i1.1392219>.
- [12] S. Sena, "A Medium Corporation," Medium.com, 13 Nov. 2017. [Online]. Available: <https://medium.com/@samuelsena/pengenalan-deep-learning-part-7-convolutional-neural-network-cnn-b003b477dc94>. [Accessed: Jan. 3, 2019].
- [13] "What is YOLOv8?," YOLOv8, [Online]. Available: <https://yolov8.org/what-is-yolov8/>. [Accessed: Aug. 14, 2024].
- [14] ioLight Limited. "Pocket Microscope, *Portable* Microscope, Field Microscope." *ioLight*, 2024. [Online]. Available: <https://iolight.co.uk>. [Accessed: Aug. 6, 2024].
- [15] Optowiki. (n.d.) 'How to Read a USAF 1951 Target'. [Online]. Available: <https://www.optowiki.info/faq/how-to-read-an-usaf1951-target/>. [Accessed: Aug. 6, 2024].

LAMPIRAN

TABEL PERBAIKAN LAPORAN AKHIR CAPSTONE

MAHASISWA #1 : 20524108 Hanas Muchammad Hanis
MAHASISWA #2 : 20524151 Arya Steva
JUDUL/TOPIK : *Low-cost Microscope for Live Cells Sample Detection*

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Rumusan masalah diperbaiki sesuai arahan dosen penguji, begitu juga dengan tujuannya	Menuliskan kembali dengan bahasa singkat dan terstruktur sesuai dengan tujuan proyek	3	In progress
2	Untuk batasan masalah dan engineering constraints/batasan realistis disesuaikan dengan rumusan masalah dan tujuan	Mengenai batasan masalah tidak ada perubahan karena sudah sesuai kemudian batasan <i>engineering</i> , penulis menambahkan beberapa poin menyesuaikan poin rumusan masalah dan tujuan	4	In progress
3	Dasar teori -> tekankan pada teknologi microscope, kamera, AI, bakteri e-coli, dan sistem yang ada saat ini untuk automasi / AI detection	Memperjelas sub dasar teori Mikroskop dan <i>E. Coli</i> dan menambahkan dasar teori Yolov8	8	In progress
4	Spesifikasi diperbaiki, bahasanya menggunakan cara mendeskripsikan spesifikasi sesuai dengan beberapa produk-produk teknologi yang ada di internet (silahkan coba cari contoh penulisan spesifikasi produk teknologi seperti smartphone)	Mengubah penyampaian bahasa spesifikasi seperti produk teknologi berupa tabulasi spesifikasi prototipe Tabel 1.1	11	In progress
5	Usulan solusi harus mencantumkan dimensi alat yang dikembangkan. Baik usulan 1 dan 2, silahkan lakukan definisi perbedaan dengan jelas, dan algorithms tidak dapat dijadikan bagian pembeda untuk solusinya	Menambahkan gambar 3D dan dimensinya pada Gambar 3.1, lalu menghilangkan perbandingan algoritma pada analisis risiko di 3.1.3 & 3.2.3	12, 18, dan 24	In progress
6	Blok diagram sistem secara keseluruhan disertakan dan penjelasan proses masing-masing blok yang dibuat. Blok diagram adalah gambaran sistem secara umum antara sensor -> processing -> <i>database/server</i> -> aplikasi (sesuaikan dengan desain anda)	Menambahkan blok diagram terkait pada Gambar 4.8	36	In progress
7	dalam flowchart sistem / aplikasi, sertakan ada proses checking akurasi, dan jika tercapai apa yang harus dilakukan dan jika tidak harus kembali ke proses bagian apa. Silahkan dilengkapi sesuai arahan penguji.	Menambahkan diagram alir terkait pada Gambar 4.7	35	In progress

No	Saran penguji	Perbaiki oleh mahasiswa	Halaman	Status
8	Usulan desain sistem 1 dan 2, fokuskan perbedaan disisi hardware, kemudian dibuatkan dalam tabulasi apa pembeda antara usulan 1 dan 2 dilihat dari beberapa aspek seperti harga, material, atau lensa/magnifier yang digunakan. jika sudah beda kualitas (tidak mencapai tujuan), jangan dibandingkan.	Menambahkan variabel untuk perbandingan usulan terbaik yang diambil pada Tabel 3.5	27	In progress
9	Kesimpulan disesuaikan dengan rumusan/tujuan capstone yang ditulis di bab awal.	Memperbaiki kesimpulan dengan menjawab rumusan masalah yang sudah diperbaiki	39	In progress
10	Untuk parameter akurasi / unjuk kerja sistem, gunakan heatmap confusion matrix (silahkan cari di google). Contoh tabel 4.3 itu salah dan menyesatkan. Untuk pembahasan parameter adalah parameter input untuk sistem AI, namun yang ditampilkan pada tabel tersebut adalah metrics untuk accuracy performances, mohon diperbaiki dan konsultasikan dengan penguji	Memperbaiki nama tabel menjadi metric performance model dan mengenai <i>heatmap/confusion matrix</i> sudah ada di Gambar 4.11	37 dan 38	In progress
11	Kualitas diperbaiki, terutama tulisan yang ada harus dapat terbaca, contoh pada gambar 4.11 dan 4.12 tidak terbaca sama sekali. increase the resolution and font size. Selain itu, gambar-gambar yang ada dari external source/bukan gambar yang dibuat/disiapkan sendiri harus disitasi dan disertakan referensinya di daftar pustaka.	Memperbesar dan mengatur kecerahan dan ketajaman gambar serta menyoyal gambar dari sumber eksternal sudah diberikan sitasi yaitu pada Gambar 4.6	38 dan 34	In progress
12	Tabel 5.1 mohon digantikan dengan visualisasi tidak dengan tabel.	Menambahkan visualisasi <i>bar chart</i> dari Tabel 5.1 dan 5.2 berupa Gambar 5.4 dan 5.5	44 dan 45	In progress
13	Pada laporan perlu ditambahkan metode untuk pengujian sistem dan pengukurannya beserta analisisnya. Proses, mekanisme dan pengujian kalibrasi lensa masih terbatas deskripsi dan informasinya. Silahkan ditambahkan.	Pada mekanisme pengujian lensa memakai kalibrasi sudah ditambahkan contoh perhitungan dan perbaikan <i>equation</i>	43	In progress

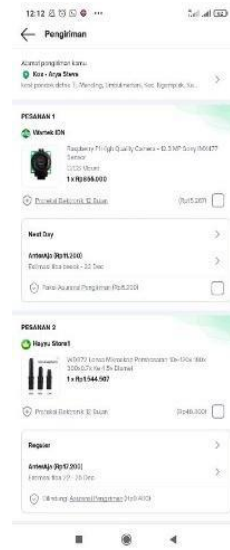
Yogyakarta, 26 Juli 2024

Menyetujui,
Penguji

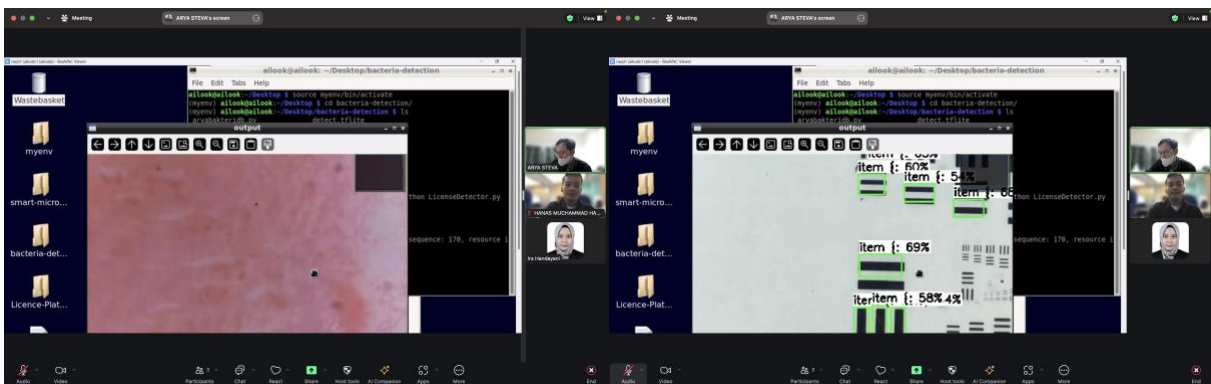
(Alvin Sahroni, Ph.D.)



Gambar 1. Skematik elektronik prototipe



Gambar 2. Bukti pembelian barang



Gambar 3. Pertemuan dengan *stakeholder* BRIN Fotonik dan Bioteknologi