

# LAPORAN TUGAS AKHIR

## Alat Pengukur Dimensi Luka pada Kasus Forensik



Penyusun:

Kern Cesarean Ahnaf (20524086)

Nayef Hafidz Riyadi (20524138)

**Program Studi Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta**

**2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

# Alat Pengukur Dimensi Luka pada Kasus Forensik

Penyusun:

Kern Cesarean Ahnaf (20524086)

Nayef Hafidz Riyadi (20524138)

Yogyakarta, 09 Juli 2024

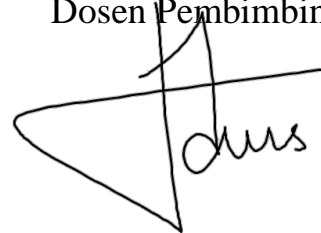
Dosen Pembimbing 1



Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd.,  
M.Eng.

155231301

Dosen Pembimbing 2



Firdaus, S.T., M.T.,  
Ph.D.

105240101

**Program Studi Teknik  
Elektro Fakultas Teknologi  
Industri Universitas Islam  
Indonesia Yogyakarta**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ALAT PENGUKUR DIMENSI LUKA PADA KASUS FORENSIK**



**Disusun oleh:**

**Kern Cesarean Ahnaf 20524086**

**Nayef Hafidz Riyadi 20524138**

**Telah dipertahankan di depan dewan penguji  
pada tanggal: 19 Juli 2024**

**Susunan Dewan Penguji**

**Ketua Penguji**

**Anggota Penguji 1**

**Anggota Penguji 2**

**: Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.**

**: Alvin Sahroni, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**: Dr. dr. Isnatin Miladiyah, M.Kes.**

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

**Tanggal: 09-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, 08-Agustus-2024



Kern Cesarean Ahnaf (20524086)



Nayef Hafidz Riyadi (20524138)

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	2
RINGKASAN	7
BAB 1. PENDAHULUAN	8
1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah	8
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Tujuan	12
1.4 Batasan Masalah	12
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan	12
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	14
2.1 Studi Literatur dan Observasi	14
2.2 Dasar Teori	17
2.2.1 Ilmu Forensik	17
2.2.2 Luka	18
2.2.3 Pentingnya Pengukuran Kedalaman Luka dalam Ilmu Forensik	19
2.2.4 <i>Image Processing</i>	20
2.2.5 <i>Computer Vision</i>	20
2.2.6 <i>Object Detection</i>	21
2.2.7 <i>Camera Calibration</i>	21
2.2.8 <i>Image Segmentation</i>	22
2.2.9 <i>Pixel to Metric System</i> [26]	22
2.2.10 <i>Artificial Intelligence</i> [27]	23
2.2.11 <i>Color Analysis</i> [28]	24
2.2.12 ArUco Marker	25
2.3 Analisis Stakeholder	26
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem	27
2.5 Spesifikasi Sistem	28
BAB 3. USULAN SOLUSI	29
3.1 Usulan Solusi 1	30
3.1.1 Desain Sistem 1	31
3.1.2 Rencana Anggaran Desain Sistem 1	35
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1	35
3.1.4 Pengukuran Performa Desain 1	35
3.2 Usulan Solusi 2	36

3.2.1	Desain Sistem 2	37
3.2.2	Rencana Anggaran Desain 2	41
3.2.3	Analisis Risiko Desain 2	41
3.2.4	Pengukuran Performa Desain 2	41
3.3	Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik	42
3.4	Gantt <i>Chart</i>	44
3.5	Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	45
<b>BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN</b>		48
4.1	Hasil Rancangan Sistem	48
4.1.2	Program Pengukuran Panjang dan Lebar Luka	48
4.1.2	Program Pengukuran Kedalaman Luka	50
4.1.3	Hasil Perancangan Software	53
4.2	Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan	61
4.2.1	Akurasi dan <i>Error Rate</i>	61
4.2.2	Precision, Recall, dan F1 Score	62
<b>BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS</b>		63
5.1.	Analisis Hasil	63
5.1.1	Hasil dan Analisis Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Otomatis	63
5.1.2	Hasil dan Analisis Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Penanda Garis	65
5.1.3	Hasil dan Analisis Pengujian Pengukuran Kedalaman	67
5.1.4	Hasil perbandingan performa dengan studi sebelumnya	73
5.1.5	Pemenuhan Spesifikasi Sistem	75
5.1.6	Pengalaman Pengguna	76
5.1.7	Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya	77
5.2	Dampak Implementasi Sistem	81
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN</b>		82
6.1	Kesimpulan	82
6.2	Saran	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		84
<b>LAMPIRAN</b>		87

## RINGKASAN

Dalam disiplin ilmu forensik, pengukuran dimensi luka menjadi titik kritis yang menghubungkan analisis medis dengan investigasi hukum. Pada saat ini proses pengukuran luka masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan tenaga ahli forensik. Metode manual ini memunculkan permasalahan dalam melakukan pembuatan *Visum et Repertum* dikarenakan sering terjadinya kesalahan dalam dilakukannya pengukuran luka akibat adanya *human error* sehingga mendapatkan nilai pengukuran yang kurang akurat dan kurang presisi, serta dibutuhkan waktu yang cukup lama dalam melakukan proses pengukuran.

Oleh karena itu berdasarkan pembahasan di atas kami merancang suatu sistem “Alat Pengukur Dimensi Luka pada Kasus Forensik”. Sistem yang diusulkan menggunakan teknologi pengukuran berbasis citra digital dengan *marker* ArUco untuk mengukur panjang dan lebar luka, serta analisis warna (*color analysis*) untuk mengukur kedalaman luka. Metode ini dipilih karena keakuratannya yang tinggi dan kemampuannya untuk mengurangi risiko kontaminasi dibandingkan metode manual. Parameter performa yang diukur meliputi akurasi, *error rate*, *precision*, *recall*, dan *F1 score*.

Hasil dari implementasi sistem ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi dan efisiensi pengukuran luka. Sistem mampu melakukan pengukuran dengan cepat dan tepat tanpa memerlukan kontak fisik, yang sangat bermanfaat dalam konteks forensik dan medis. Selain itu, sistem ini juga terbukti mengurangi biaya operasional dan waktu kerja, serta meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna.

Penggunaan *marker* ArUco untuk pengukuran panjang dan lebar luka, serta *color analysis* untuk pengukuran kedalaman, membuat sistem ini sangat sesuai untuk digunakan dalam lingkungan forensik dan medis, di mana kecepatan dan ketelitian sangat penting. Implementasi sistem ini menunjukkan kesesuaian hasil rancangan dengan kebutuhan lapangan, serta memberikan berbagai dampak positif dari segi teknologi, ekonomi, sosial, dan lingkungan.

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Bidang ilmu kedokteran forensik merupakan bidang yang membahas mengenai kejelasan sebab-akibat terjadinya luka pada seseorang baik dalam keadaan hidup maupun dalam keadaan meninggal dunia berdasarkan ilmu kedokteran[1]. Pada bidang ini selain terkandung aspek ilmu kedokteran juga terkandung ilmu hukum sehingga kejelasan penyebab terjadinya luka pada seseorang diperlukan untuk dijadikan kesaksian di ranah hukum. Kesaksian tersebut dapat berupa suatu gambaran mengenai kondisi fisik seseorang dimana kesaksian itu didokumentasikan pada suatu dokumen tertulis[2]. Dokumen tertulis yang digunakan oleh ahli forensik biasanya dinamakan dengan *Visum et Repertum*.

*Visum et Repertum* adalah dokumentasi yang berisikan keterangan tertulis mengenai hasil pemeriksaan forensik medis terhadap seseorang dalam keadaan hidup maupun meninggal dimana proses dokumentasi ini dibuat berdasarkan permintaan resmi dari penegak hukum serta dilandasi dengan sumpah atas dasar kepentingan penegakan hukum[3]. *Visum et Repertum* termasuk alat bukti surat yang dibuat atas sumpah jabatan, sehingga surat tersebut mempunyai keotentikan. Sebagaimana dalam Pasal 184 ayat (1) dan Pasal 187 KUHP, maka *Visum et Repertum* dapat dikatakan sebagai alat bukti yang sah[4]. Pemeriksaan kondisi fisik seseorang harus dideskripsikan secara lengkap pada *Visum et Repertum* agar dapat dijadikan informasi dalam mengetahui jenis kekerasan yang dialami oleh subjek forensik. Kondisi fisik paling umum yang didokumentasikan pada *Visum et Repertum* adalah kondisi luka pada tubuh seseorang

Luka merupakan suatu fenomena terjadinya kerusakan jaringan, ditandai dengan terputusnya kontinuitas pada jaringan tersebut yang disebabkan oleh tekanan berlebih oleh benda tajam ataupun tumpul serta faktor lainnya[5]. Luka sendiri dibedakan berdasarkan sifatnya yaitu luka terbuka dan luka tertutup. Luka terbuka merupakan suatu kondisi luka dimana terjadi kerusakan jaringan epitel serta jaringan dibawahnya sehingga luka terpapar langsung dengan udara. Sedangkan pada luka tertutup merupakan suatu kondisi luka dimana hanya terjadi kerusakan pada jaringan dibawah jaringan epitel sehingga luka tidak terpapar langsung dengan udara.

Proses pengukuran luka dilakukan dengan mengukur aspek 2 dimensi dan 3 dimensi[6]. Pada pengukuran luka aspek 2 dimensi dilakukan pengukuran pada unsur panjang dan lebar dengan menggunakan *disposable measuring tape* steril serta *marker* sebagai penanda, umumnya dilakukan pada luka yang terbuka. Pada pengukuran luka aspek 3 dimensi dilakukan pengukuran

pada unsur kedalaman luka dengan menggunakan *cotton swab* steril serta *marker* sebagai penanda, umumnya dilakukan pada luka yang berongga. Pada pengukuran luka aspek 3 dimensi memiliki 2 unsur pengukuran yaitu kedalaman luka dan rongga luka (*undermining*). Unsur kedalaman luka dilakukan dengan mengukur kedalaman suatu luka, sedangkan unsur rongga luka dilakukan dengan mengukur kedalaman rongga di bawah tepi luka. Indikator arah pada luka dapat diumpamakan seperti jarum jam yaitu jam 12 bagian atas luka, jam 3 bagian kanan luka, jam 6 bagian bawah luka, dan jam 9 bagian kiri luka.

Pada saat ini proses pengukuran luka masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan tenaga ahli forensik. Metode manual ini memunculkan permasalahan dalam melakukan pembuatan *Visum et Repertum* dikarenakan sering terjadinya kesalahan dalam dilakukannya pengukuran luka akibat adanya *human error* sehingga mendapatkan nilai pengukuran yang kurang akurat serta kurang presisi, serta dibutuhkan waktu yang cukup lama dalam melakukan proses pengukuran. Padahal dalam melakukan dokumentasi *Visum et Repertum* diperlukan data yang akurat agar menghasilkan *Visum et Repertum* berkualitas baik. Maka diperlukan suatu teknologi yang dapat membantu dokter ahli forensik dalam melakukan pengukuran suatu luka. Penggunaan teknologi *image processing* dapat menjadi solusi yang tepat dari permasalahan tersebut dikarenakan teknologi ini sudah terbukti cepat dan akurat dalam melakukan pengukuran luka. Teknologi ini memiliki sistem pengukuran yang dapat dilakukan secara *real-time* maupun tidak sehingga lebih efisien dibandingkan dengan metode manual.

Oleh karena itu berdasarkan pembahasan di atas kami merancang suatu sistem “Alat Pengukur Dimensi Luka pada Kasus Forensik”. Sistem ini beroperasi berbasis teknologi *image processing* dimana dilakukannya proses manipulasi pada suatu citra luka sehingga dapat menghasilkan nilai pengukuran yang lebih cepat dan akurat jika dibandingkan dengan metode manual karena berkurangnya probabilitas faktor *human error* pada proses pengukuran. Dengan terciptanya alat ini diharapkan dapat membantu tenaga ahli forensik dalam melakukan proses pengukuran luka.

Tabel 1.1. Hasil Survei antara Pengembang dan Pengguna

<b>Pertanyaan</b>	<b>Jawaban/tanggapan</b>
<i>Apakah pernah terjadi masalah akibat human error dalam proses pengukuran forensik?</i>	<i>Pernah terjadi. Contoh umum human error yang sering terjadi adalah pemeriksaan forensik pada saat tubuh sedang lelah dan perbedaan hasil pengukuran antar orang akibat perbedaan metode pengukuran yang digunakan</i>
<i>Bagaimana cara dokter forensik melakukan pengukuran dimensi luka (panjang, lebar, dan kedalaman) secara manual?</i>	<i>Hal pertama yang dilakukan adalah dengan membersihkan luka, kemudian dilakukan pengukuran dimensi luka. Proses pengukuran pada panjang dan lebar luka menggunakan disposable measurement dan kedalaman luka menggunakan disposable cotton swab. Umumnya proses pengukuran dilakukan sebanyak 2 – 3 kali dan setelah itu nilainya dirata – rata.</i>
<i>Apakah subjek (korban) harus segera diperiksa untuk mendapatkan data forensik yang akurat?</i>	<i>Iya harus segera diperiksa dikarenakan semakin lama subjek diperiksa maka data pengukuran semakin tidak akurat akibat pembusukan yang terjadi. Pembusukan dapat merubah karakteristik dari suatu luka pada subjek. Umumnya pembusukan terjadi setelah 24 jam</i>
<i>Apakah sudah umum penggunaan teknologi pada proses pemeriksaan forensik? Jika penggunaan teknologi sudah umum digunakan, apa teknologi yang digunakan?</i>	<i>Belum ada, baru terdapat beberapa prototype yang sedang dikembangkan. Saat ini proses pemeriksaan forensik masih menggunakan metode manual</i>
<i>Apakah luka harus dibersihkan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pengukuran?</i>	<i>Iya dikarenakan untuk memperjelas objek luka yang diukur. Biasanya terdapat pasir, tanah, dan hal – hal lain yang mengganggu proses pengukuran luka</i>
<i>Bagaimana kondisi tingkat kecerahan pada ruang pemeriksaan forensik?</i>	<i>Kondisi ruang pemeriksaan forensik memiliki tingkat kecerahan ruangan normal, tetapi terdapat lampu bedah yang biasanya digunakan untuk membantu dokter dalam melakukan pemeriksaan forensik</i>
<i>Dalam melakukan pengukuran kedalaman luka, apakah terdapat klasifikasi terhadap kedalaman luka tersebut? (misal dimensi luka</i>	<i>Saat ini masih belum ada standar klasifikasi luka berdasarkan kedalaman luka, tetapi terdapat klasifikasi pada luka bakar</i>

<i>dalam range 4cm lebih, dimensi luka sedang 2-3 cm, dimensi luka tidak dalam &lt;1cm)</i>	
<i>Apakah warna pada luka dapat mengindikasikan kedalaman luka? (misal semakin dalam luka maka semakin gelap warnanya)</i>	<i>Warna tidak dapat mengindikasikan kedalaman luka dikarenakan setiap kedalaman luka memiliki warna yang sama</i>
<i>Apakah tekstur pada luka dapat mengindikasikan kedalaman luka? (misal terdapat ciri tekstur tertentu pada setiap kedalaman luka)</i>	<i>Tekstur tidak dapat mengindikasikan kedalaman luka dikarenakan setiap kedalaman luka memiliki tekstur yang sama. Umumnya hanya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis luka seperti luka gesek dan lain – lain, bukan kedalamannya</i>
<i>Pada kasus forensik, luka diklasifikasikan menjadi jenis luka apa saja?</i>	<i>Terdapat kekerasan mekanik, fisika, kimia, dan barometrik. Setiap kekerasan memiliki klasifikasi jenis lukanya masing- masing</i>
<i>Apa urgensi pengukuran kedalaman luka dalam ilmu forensik?</i>	<i>Pengukuran kedalaman luka dalam ilmu forensik sangat penting dikarenakan kedalaman luka dapat dimanfaatkan untuk melakukan penggambaran senjata yang digunakan pada korban</i>
<i>Apakah kedalaman luka dapat menjadi dasar klasifikasi luka menjadi ringan, sedang, atau berat, yang berkonsekuensi langsung pada tingkat hukuman dalam sistem peradilan pidana?</i>	<i>Biasanya yang dijadikan acuan terhadap tingkat hukuman dalam sistem peradilan pidana adalah tingkat keparahan luka</i>

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana cara kerja dari sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik?
2. Algoritma apa yang digunakan dalam pembuatan sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik serta mengapa algoritma tersebut digunakan?
3. Bagaimana tingkat akurasi pengukuran yang dihasilkan oleh sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah diatas maka dapat disimpulkan tujuan penelitian, yaitu:

#### 1. Tujuan Umum

Mengembangkan algoritma piranti medis khususnya pada alat pengukuran dimensi luka pada kasus forensik berdasarkan pengetahuan dari penelitian sebelumnya

#### 2. Tujuan Khusus

- a. Diketahui cara kerja dari sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik
- b. Diketahui algoritma apa yang digunakan dalam pembuatan sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik serta mengapa algoritma tersebut digunakan
- c. Diketahui tingkat akurasi pengukuran yang dihasilkan oleh sistem alat pengukur dimensi luka pada kasus forensik

### 1.4 Batasan Masalah

1. Sistem dirancang hanya dapat melakukan proses pengukuran luka seperti pengukuran panjang, lebar, dan kedalaman luka
2. Sistem dirancang untuk digunakan pada *smartphone* dan PC (*personal computer*)
3. Sistem tidak dirancang untuk melakukan proses klasifikasi jenis luka

### 1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

1. Alat harus memiliki tingkat akurasi diatas 80% dalam mengukur panjang, lebar, dan kedalaman luka untuk memastikan data yang dihasilkan dapat diandalkan dalam proses hukum. Dalam sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik ini, akurasi pengukuran menjadi prioritas utama dibandingkan dengan kecepatan pemrosesan. Data yang akurat sangat penting untuk memastikan validitas bukti dalam proses hukum, sehingga hasil pengukuran yang tepat harus diutamakan pada sistem.
2. Sistem harus *user-friendly*, dengan antarmuka yang mudah dipahami dan dioperasikan oleh tenaga ahli forensik tanpa memerlukan pelatihan khusus yang mendalam.
3. Sistem harus dirancang dengan mempertimbangkan biaya komponen yang terjangkau, memastikan bahwa biaya operasional tetap rendah dan sistem dapat diadopsi secara luas oleh

berbagai institusi forensik dan medis, dimana anggaran maksimalnya adalah sebesar Rp. 3.000.000

4. Sistem harus bersifat *contactless* untuk mengurangi risiko kontaminasi dan menjaga kebersihan selama proses pengukuran pada jenazah dalam konteks forensik

## BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

### 2.1 Studi Literatur dan Observasi

*Literature review* serta observasi dilakukan dengan tujuan untuk mencari solusi permasalahan penelitian berdasarkan penelitian yang sudah ada. Solusi tersebut dapat berbentuk suatu landasan teori yang menunjang proses pemecahan dari suatu permasalahan penelitian. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai kebutuhan permasalahan pada sistem yang dirancang. Tabel 2.1 merupakan seluruh informasi yang didapatkan dari berbagai jurnal mengenai landasan teori yang berhubungan dengan sistem pengukuran dengan proses *image processing*.

*Tabel 2.1 Hasil Studi Literatur Solusi Sejenis*

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<i>A Practical Comparison between Zhang's and Tsai's Calibration Approaches</i> [7]	Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan <i>Zhang's Method</i> dalam kalibrasi untuk penghilangan distorsi secara sederhana	Hasil: Kalibrasi dengan metode Zhang yang lebih sederhana untuk kasus distorsi  Kelebihan: Metode Zhang dapat melakukan proses estimasi parameter kamera lebih akurat jika digunakan untuk menghilangkan distorsi saja  Kekurangan: Hasil penelitian merupakan perbandingan metode kalibrasi saja
<i>The Importance of Camera Calibration and Distortion Correction to Obtain Measurements with Video Surveillance Systems</i> [8]	Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan <i>Zhang's Method</i> dalam melakukan proses kalibrasi kamera	Hasil: Kalibrasi dengan metode Zhang  Kelebihan: Metode Zhang dapat melakukan proses estimasi parameter kamera (kalibrasi internal parameter dan eksternal parameter) dengan akurat  Kekurangan: Hasil penelitian belum menjelaskan metode pengukuran objek
<i>Experimental Study on Wound Area Measurement with Mobile Devices</i> [9]	Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan metode <i>image preprocessing</i> yang efektif pada pengukuran panjang luka serta penggunaan metode pengukuran panjang luka berdasarkan DPI ( <i>Dot per-Inch</i> )	Hasil: Penggunaan metode <i>image preprocessing</i> yang efektif dan penggunaan metode pengukuran panjang luka berdasarkan DPI ( <i>Dot per-Inch</i> )  Kelebihan: Metode <i>image preprocessing</i> yang digunakan terbukti efektif dalam melakukan pengukuran panjang luka serta hasil pengukuran berbasis DPI terbukti akurat dengan kalkulasi sederhana

		<p>Kekurangan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat masalah pada proses pengukuran panjang luka yaitu perbedaan DPI pada citra. Perbedaan ini dapat diakibatkan oleh terjadinya kehilangan metadata dari suatu citra pada saat dilakukan pengiriman ke perangkat elektronik lainnya sehingga dapat menghasilkan <i>error</i> pada hasil pengukuran</p>
<p><i>Measuring Object Dimensions and its Distances Based on Image Processing Technique by Analysis the Image Using Sony Camera</i>[10]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan formula SCF (<i>Scale Factor</i>) pixel dalam melakukan konversi pixel menjadi satuan panjang sistem metrik</p>	<p>Hasil: Pengukuran panjang objek dengan formula SCF (<i>Scale Factor</i>) pixel</p> <p>Kelebihan: Formula SCF pixel dapat melakukan konversi panjang pixel menjadi panjang sistem metrik dengan kalkulasi yang sederhana dan akurat</p> <p>Kekurangan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar SCF pixel dipengaruhi oleh jarak objek terhadap kamera, semakin besar jarak objek terhadap kamera maka semakin besar SCF pixel dan sebaliknya, sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran panjang suatu objek</p>
<p><i>Efficient Wound Measurements using RGB and Depth Images</i>[11]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan <i>registration and fusion of RGB and depth image</i> pada metode pengukuran area luka dengan menggunakan <i>stereo vision</i>.</p>	<p>Hasil: <i>Registration and fusion of RGB and depth image stereo vision</i> dapat melakukan pengukuran area luka dengan akurat (panjang dan kedalaman)</p> <p>Kelebihan: Penggunaan <i>stereo vision</i> dapat membantu proses pengukuran dengan akurat dikarenakan hasil pengukuran berbentuk 3D model dari area luka</p> <p>Kekurangan: Penelitian memerlukan beberapa kamera (2 atau lebih kamera) untuk menghasilkan beberapa citra 2D yang nantinya citra 2D tersebut dapat direkonstruksi menjadi citra 3D</p>
<p><i>A Survey on Depth Estimation Using Vanishing Point</i>[12]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan metode deteksi <i>vanishing point</i> dengan menggunakan <i>deep learning CNN</i></p>	<p>Hasil: Penggunaan CNN dalam melakukan pengukuran kedalaman luka</p> <p>Kelebihan: Dapat melakukan pengukuran kedalaman luka secara <i>single image 2D</i> secara akurat</p> <p>Kekurangan: Pemrosesan <i>deep learning</i> yang cukup kompleks</p>
<p><i>Estimation of Face Depth Maps from Color Textures using Canonical Correlation Analysis</i>[13]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan metode <i>color</i></p>	<p>Hasil: Penggunaan metode <i>color textures</i> menggunakan <i>canonical correlation analysis</i></p>

	<p><i>textures canonical analysis</i> menggunakan <i>correlation</i></p>	<p>Kelebihan: Dapat melakukan pengukuran kedalaman gambar secara <i>single image 2D</i></p> <p>Kekurangan: Dibutuhkan beberapa citra untuk melakukan <i>training</i> sistem dan hasil pengukuran kurang akurat</p>
<p><i>Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space</i>[14]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah penggunaan metode <i>color analysis</i> memanfaatkan <i>HSV masking</i></p>	<p>Hasil: Penggunaan metode <i>color analysis</i> memanfaatkan <i>HSV masking</i></p> <p>Kelebihan: Dapat melakukan pendeteksian klasifikasi warna secara akurat</p> <p>Kekurangan: Proses <i>masking</i> hanya dimanfaatkan sebagai proses segmentasi saja, tidak dikembangkan ke unsur lain</p>
<p><i>A Novel and Accurate Technique of Photographic Wound Measurement</i>[15]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah dengan menggunakan referensi objek berbentuk kotak persegi untuk mengukur luas luka</p>	<p>Hasil: Penggunaan referensi objek sebagai metode untuk mengukur panjang dan lebar luka.</p> <p>Kelebihan: Kelebihan utama dari teknik pengukuran luka ini adalah tingkat akurasi yang tinggi dengan deviasi hanya 2-4%. Selain itu, metode ini sederhana dan mudah diterapkan, memanfaatkan kamera digital biasa sehingga biaya operasional menjadi rendah.</p> <p>Kekurangan: Membutuhkan objek referensi saat proses pengambilan foto. Selain itu, metode ini memerlukan ruang yang cukup untuk penempatannya, yang bisa menjadi masalah dalam area yang sempit atau dengan banyak objek.</p>
<p><i>Image Processing Based Object Measurement System</i>[16]</p>	<p>Solusi dari jurnal hasil penelitian adalah dengan membandingkan hasil pengukuran objek tanpa referensi objek, dengan referensi objek dan dengan <i>ArUco marker</i>.</p>	<p>Hasil: Penggunaan <i>ArUco marker</i> sebagai referensi objek dapat meningkatkan akurasi pengukuran.</p> <p>Kelebihan: Sistem pengukuran dengan menggunakan <i>ArUco marker</i> menunjukkan akurasi yang tinggi dan konsisten dibandingkan dengan sistem yang menggunakan objek referensi umum atau tanpa referensi sama sekali.</p> <p>Kekurangan: <i>ArUco marker</i> memerlukan ruang yang cukup untuk penempatannya, yang bisa menjadi masalah dalam area yang sempit atau dengan banyak objek</p>

Berdasarkan hasil *literature review* dan observasi didapatkan bahwa sistem “Pengukuran Dimensi Luka pada Kasus Forensik” harus dirancang secara tepat sehingga dapat menghasilkan sistem yang memberikan solusi terbaik. Dalam melakukan proses pengukuran dengan kamera dibutuhkan yang namanya proses kalibrasi kamera dengan tujuan untuk mengestimasi parameter-parameter kamera tersebut. Proses kalibrasi kamera yang diusulkan adalah dengan menggunakan metode zhang dikarenakan penggunaan metode ini cukup sederhana dan menghasilkan estimasi parameter kamera yang baik. Pada proses pengukuran panjang dan lebar luka digunakan proses komputasi dengan memanfaatkan panjang pixel terhadap panjang objek nyata seperti penggunaan DPI, SCF, maupun *ArUco Marker* dalam konversi ke sistem pengukuran metrik. Sedangkan pada proses pengukuran kedalaman luka terdapat 2 pilihan metode yaitu metode dengan menggunakan analisis warna dan metode dengan menggunakan *artificial intelligence*.

## **2.2 Dasar Teori**

Penelitian “Alat Pengukuran Dimensi Luka pada Kasus Forensik” ini dilakukan berdasarkan penerapan beberapa ilmu dasar dari 2 bidang yaitu bidang ilmu kedokteran forensik dan ilmu *image processing*. Teori – teori yang digunakan dari kedua bidang ilmu tersebut adalah ilmu forensik, luka, *image processing*, *computer vision*, *object detection*, *camera calibration*, *image segmentation*, *pixel to metric system*, *artificial intelligence*, *color analysis*, dan *ArUco marker*.

### **2.2.1 Ilmu Forensik**

Ilmu forensik adalah cabang ilmu yang mempelajari teknik dan metode untuk mengumpulkan bukti fisik, analisis, serta interpretasinya dalam konteks hukum[17]. Tujuannya adalah untuk mengungkap kebenaran di balik suatu peristiwa atau kejadian, khususnya yang berkaitan dengan tindak pidana. Ilmu forensik mencakup beragam disiplin, seperti biologi, kimia, fisika, hingga ilmu komputer, dan digunakan untuk mendukung proses penyidikan dan peradilan. Salah satu aspek penting dalam ilmu forensik adalah identifikasi personal, yang mencakup analisis sidik jari, DNA, dan pemeriksaan dental. Teknik ini dapat mengungkap identitas pelaku atau korban dengan tingkat akurasi yang tinggi.

### 2.2.2 Luka

Luka didefinisikan sebagai kerusakan yang terjadi pada fungsi perlindungan kulit yang mengakibatkan hilangnya kontinuitas jaringan epitel[18]. Kerusakan ini bisa melibatkan jaringan lain seperti otot, tulang, dan nervus. Beberapa faktor dapat menyebabkan luka, antara lain tekanan, sayatan, dan prosedur operasi. Penyebab luka bervariasi dan meliputi trauma mekanik seperti dampak dari benda tumpul, benda tajam, senjata api, dan bahan peledak. Selain itu, paparan fisik seperti suhu ekstrem (panas atau dingin) dan listrik, serta paparan kimia dari zat asam dan basa, juga bisa menyebabkan luka. Dari segi jenisnya, luka dibedakan menjadi dua yaitu luka terbuka dan luka tertutup[19]. Luka terbuka adalah luka yang menyebabkan kerusakan kulit sehingga terpapar udara, dan ini adalah jenis luka yang paling umum dijumpai. Sementara luka tertutup mengacu pada cedera yang terjadi pada jaringan di bawah kulit, namun permukaan kulitnya tetap utuh.

Dalam kajian medis forensik, pemahaman mendalam tentang beragam jenis luka menjadi dasar penting dalam analisis dan penanganan kasus. Luka yang timbul sebagai akibat dari kontak dengan benda tumpul mencakup luka lecet, luka robek, dan luka memar. Luka lecet muncul akibat adanya gesekan yang mengakibatkan hilangnya lapisan epidermis dan mungkin bagian atas dari dermis. Secara umum, luka jenis ini tidak terlalu dalam namun menimbulkan sensasi sakit akibat terbukanya ujung-ujung saraf. Sementara itu, luka robek terjadi dari tarikan yang menghasilkan kerusakan dengan tepi yang tidak rata dan seringkali diiringi oleh cedera pada jaringan sekitar. Terakhir, luka memar atau kontusio merupakan manifestasi dari trauma yang menimbulkan pecahnya kapiler darah tanpa disertai laserasi pada kulit.

Luka yang disebabkan oleh benda tajam, seperti luka iris, luka tusuk, dan luka bacok, memiliki ciri khas yang berbeda tergantung pada sifat interaksi antara penyebab dan jaringan yang terluka. Luka iris ditandai oleh irisan dengan batas yang jelas, tepian yang halus, dan umumnya lebih superfisial. Luka tusuk, yang diakibatkan oleh penetrasi benda tajam, sering kali terlihat sebagai luka dengan bukaan kecil pada permukaan kulit namun memiliki potensi untuk mencapai jaringan atau organ yang lebih dalam. Luka bacok menggambarkan cedera yang lebih kompleks karena gabungan dari kedalaman dan lebar luka, mengindikasikan penggunaan benda tajam dan berat yang menghasilkan luka dengan tepi yang lebih kasar dan kerusakan jaringan yang lebih ekstensif.

Adapun luka tembak, yang dihasilkan oleh proyektil dari senjata api, menunjukkan karakteristik tersendiri yang dipengaruhi oleh variabel seperti jenis peluru, kecepatan peluru, jarak tembak, dan lokasi tubuh yang terkena. Luka ini biasanya memiliki dua komponen utama, yaitu luka masuk yang lebih kecil dan teratur serta luka keluar yang cenderung lebih besar dan tidak beraturan. Selain itu, fenomena kavitasi sering terjadi, di mana energi kinetik dari proyektil membentuk rongga dalam jaringan yang menyebabkan kerusakan yang luas, melampaui jalur lintasan peluru itu sendiri.

Berdasarkan konsep luka[20] terdapat 3 klasifikasi luka yang umum dijumpai yaitu tingkat kontaminasi, kedalaman, dan waktu penyembuhan luka. Pada klasifikasi tingkat kontaminasi luka terdapat:

- *Clean Wounds*
- *Clean Contaminated-Wounds*
- *Contaminated Wounds*
- *Dirty or Infected Wounds*

Pada klasifikasi kedalaman luka terdapat:

- *Stage/Stadium 1*: luka pada lapisan epidermis kulit, biasanya berwarna merah *blushing*
- *Stage/Stadium 2*: luka hingga lapisan atas dermis, biasanya berwarna merah cerah/pink
- *Stage/Stadium 3*: luka hingga lapisan dermis tetapi belum mengenai jaringan otot, lemak, dan tulang, biasanya berwarna merah maroon
- *Stage/Stadium 4*: luka telah mencapai lapisan otot, lemak, dan tulang, biasanya berwarna merah kekuningan

Pada klasifikasi waktu penyembuhan luka terdapat:

- Luka Akut: luka dengan masa penyembuhan yang sudah direncanakan
- Luka Kronis: luka yang mengalami kegagalan dalam proses penyembuhan

### **2.2.3 Pentingnya Pengukuran Kedalaman Luka dalam Ilmu Forensik**

Dalam disiplin ilmu forensik, pengukuran kedalaman luka menjadi titik kritis yang menghubungkan analisis medis dengan investigasi hukum. Kedalaman luka dapat menjadi dasar klasifikasi luka menjadi ringan, sedang, atau berat, yang berkonsekuensi langsung pada tingkat hukuman dalam sistem peradilan pidana[21]. Analisis kedalaman luka memungkinkan ahli

forensik untuk menggali lebih dalam mengenai intensitas serangan dan jenis senjata yang digunakan, serta kondisi korban saat cedera terjadi. Keterkaitan ini menjadikan pengukuran kedalaman luka tidak hanya esensial dalam penanganan medis tetapi juga penting dalam pembentukan narasi hukum, sehingga menjadi kunci dalam pengungkapan kebenaran dan penegakan keadilan.

#### **2.2.4 Image Processing**

*Image processing* merupakan sebuah metode yang diterapkan untuk mengolah sebuah gambar dengan tujuan mendapatkan gambar berkualitas lebih baik atau mengekstrak informasi relevan darinya[22]. Metode ini masuk dalam ranah pengolahan sinyal, di mana gambar berfungsi sebagai input, dan output yang dihasilkan bisa berupa gambar dengan kualitas yang telah ditingkatkan atau karakteristik khusus yang bersumber dari gambar tersebut.

Dalam konteks teknis, terdapat dua pendekatan dalam *image processing*, yaitu analog dan digital. Pengolahan citra analog biasanya diterapkan pada objek fisik, seperti cetakan atau foto. Sedangkan, pengolahan citra digital dilakukan dengan memanipulasi gambar digital menggunakan komputer. Pada metode digital, ada tiga fase yang harus ditempuh: pra-pengolahan, peningkatan kualitas gambar, dan ekstraksi informasi dari gambar tersebut.

#### **2.2.5 Computer Vision**

*Computer vision* adalah bidang dalam kecerdasan buatan (AI) yang memungkinkan komputer dan sistem untuk mengekstrak informasi penting dari gambar digital, video, dan sumber visual lainnya[22], kemudian bertindak atau memberikan rekomendasi berdasarkan informasi tersebut. Jika AI memungkinkan komputer untuk berpikir, maka *computer vision* memungkinkan mereka untuk melihat, mengamati, dan memahami.

Meskipun cara kerja *computer vision* mirip dengan penglihatan manusia, manusia memiliki keunggulan berdasarkan pengalaman seumur hidup yang mempelajari cara membedakan objek, menilai seberapa jauh jaraknya, apakah objek tersebut bergerak, dan apakah ada kesalahan pada gambar yang dilihat.

Sementara itu, *computer vision* melatih mesin untuk menjalankan fungsi-fungsi tersebut dalam waktu yang jauh lebih singkat dengan menggunakan kamera, data, dan algoritma, bukan dengan retina, saraf optik, dan korteks visual seperti pada manusia. Sistem yang dilatih untuk

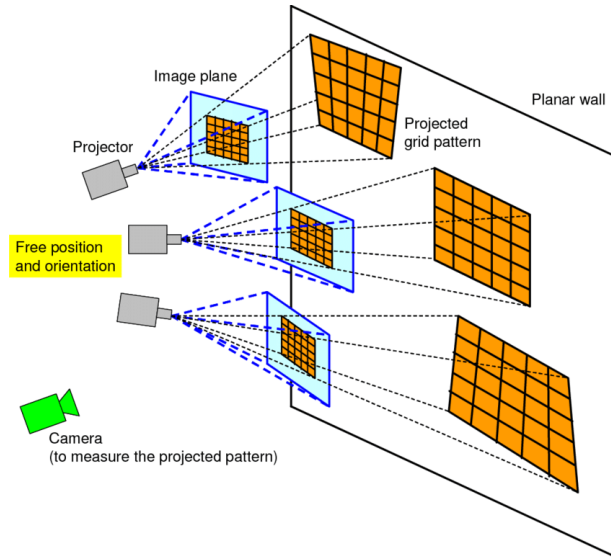
memeriksa produk atau mengawasi proses produksi dapat menganalisis ribuan produk atau proses dalam satu menit, mendeteksi cacat yang hampir tidak terlihat atau masalah lainnya, sehingga kemampuannya dapat dengan cepat melebihi kemampuan manusia

### **2.2.6 Object Detection**

*Object detection* merupakan suatu metode pada sistem *image processing* dalam melakukan proses pendeteksian terhadap objek tertentu pada suatu *image/citra* ataupun dalam bentuk rekaman gambar[23]. Pada algoritma *object detection*, objek sendiri diklasifikasikan menjadi 2 jenis objek yaitu objek target deteksi dan objek bukan target deteksi. Dalam *image processing*, proses *object detection* sendiri telah berkembang pesat dan memiliki banyak metodenya seperti dari pengenalan pola sederhana hingga penggunaan *machine learning*.

### **2.2.7 Camera Calibration**

*Camera calibration* merupakan proses melakukan estimasi parameter yang ada pada model kamera[24]. Parameter pada model kamera dibedakan menjadi 2 yaitu parameter eksternal dan parameter internal. Parameter internal adalah parameter yang menggambarkan sifat kamera itu sendiri seperti *focal length*, *principal point*, *distortion coefficient*, dan *skew*. Disisi lain parameter eksternal adalah parameter yang posisi dan orientasi kamera pada bidang 3D seperti *position* dan *orientation*. Dengan dilakukannya kalibrasi kamera maka parameter – parameter tersebut akan terestimasi sehingga membantu merubah pengukuran dalam dimensi pixel ke dunia nyata. Perubahan ini nantinya akan mempermudah pemetaan objek pada citra ke objek dunia nyata dengan akurat dan presisi. Dalam melakukan kalibrasi banyak metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode Zhang. Metode Zhang merupakan metode kalibrasi kamera yang memanfaatkan bidang datar seperti papan catur untuk melakukan kalibrasi. Metode ini terbukti baik dalam melakukan kalibrasi kamera sehingga dapat menghilangkan gangguan – gangguan pada citra (umumnya distorsi). Gambar 2.1 merupakan ilustrasi dari penggunaan Metode Zhang.



Gambar 2.1 Camera Calibration dengan Zhang's Method[7]

## 2.2.8 Image Segmentation

Segmentasi citra merupakan suatu proses pada *image processing* yang memiliki tujuan dalam melakukan pembagian citra digital dalam beberapa daerah (segmen) berdasarkan persamaan sifat/karakteristik tertentu (warna, tingkat kecerahan, dan *edge*)[25]. Tujuan dari dilakukannya segmentasi adalah untuk melakukan pemisahan antara komponen objek yang dideteksi terhadap latar belakangnya. Metode segmentasi citra sendiri sudah berkembang pesat dikarenakan banyaknya pengaplikasiannya dalam *image processing* yaitu pengenalan objek, pengukuran, ekstraksi fitur, hingga proses kompresi gambar.

## 2.2.9 Pixel to Metric System[26]

Pada proses pengukuran menggunakan kamera digital diperlukan yang namanya pengubahan panjang pixel menjadi panjang pada satuan metrik seperti cm, m, dan lain – lain. Pixel atau *picture element* merupakan suatu elemen terkecil pada gambar dimana banyaknya elemen ini mempengaruhi ketajaman suatu gambar. Proses konversi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2).

$$SCF = \frac{\text{Panjang Nyata}}{\text{Jumlah Pixel}} \quad (1)$$

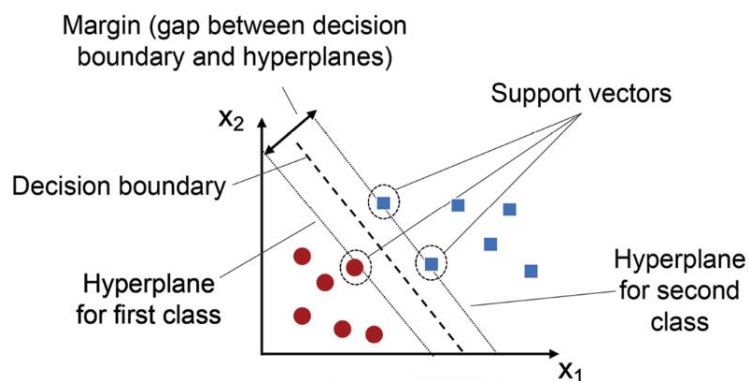
$$\text{Panjang Nyata} = \frac{\text{Jumlah Pixel}}{DPI} \quad (2)$$

### 2.2.10 Artificial Intelligence[27]

*Artificial intelligence* merupakan bidang ilmu mengenai pengembangan kecerdasan buatan yang fokusnya mampu melakukan tugas – tugas manusia. Tugas yang dimaksud dapat berupa *pattern recognition* dengan memanfaatkan data statistik. Dengan *pattern recognition*, kecerdasan buatan dapat mengenali objek – objek yang diberikan seperti citra, audio, bahasa, dan lain – lain sehingga mirip dengan kecerdasan manusia.

*Artificial intelegent* memiliki beberapa bidang pengembangannya yaitu *machine learning* dan *deep learning*. Bidang *machine learning* adalah metode kecerdasan buatan yang memanfaatkan algoritma statistik sebagai media pembelajaran dan umumnya hasil pembelajaran tersebut digunakan untuk mengambil keputusan. Sedangkan pada bidang *deep learning* adalah metode kecerdasan buatan yang memanfaatkan jaringan saraf tiruan dimana terdapat banyak lapisan yang digunakan untuk melakukan analisis data sehingga metode ini lebih *advance* dalam melakukan pembelajaran.

*Support Vector Machine* atau sering disingkat SVM merupakan salah satu metode kecerdasan buatan *supervised learning* pada bidang *machine learning* yang umum digunakan dalam tugas melakukan proses klasifikasi. Konsep utama pembelajaran dari SVM adalah dengan memanfaatkan *hyperplane* sebagai “lokasi data” tersebar. Nantinya digunakan margin yang memisahkan data berdasarkan karakteristiknya dengan memanfaatkan *support vector* yang berada paling dekat dengan margin. Gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari penggunaan Metode *Support Vector Machine/SVM*.



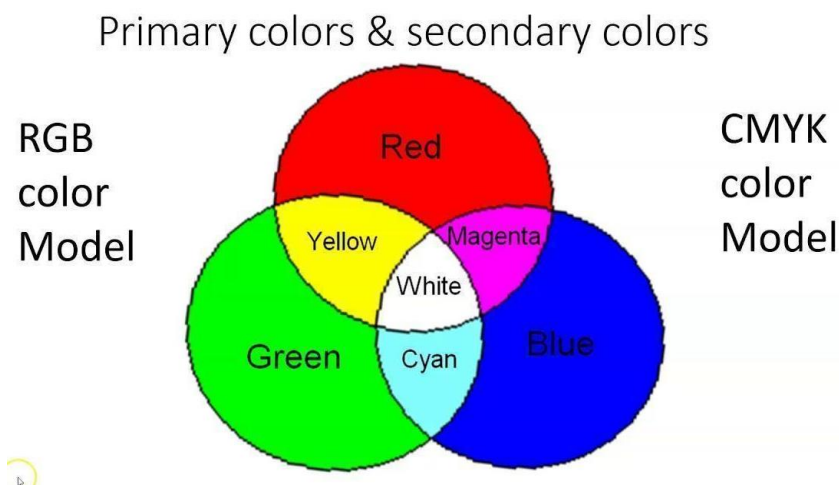
Gambar 2.2 Hyperplane pada SVM[27]

### 2.2.11 Color Analysis[28]

*Color analysis* adalah suatu metode pada *image processing* yang digunakan untuk melakukan proses analisis serta manipulasi unsur warna pada citra. Pada metode analisis warna ini terdiri dari variasi metode dan algoritma untuk mengetahui, mengkategorikan, serta memodifikasi warna citra. Pengaplikasian *color analysis* pada *image processing* yaitu deteksi, segmentasi, dan koreksi. Teknik umum yang digunakan pada *image processing* yaitu analisis histogram, *color space conversion*, *thresholding*, dan *filtering*.

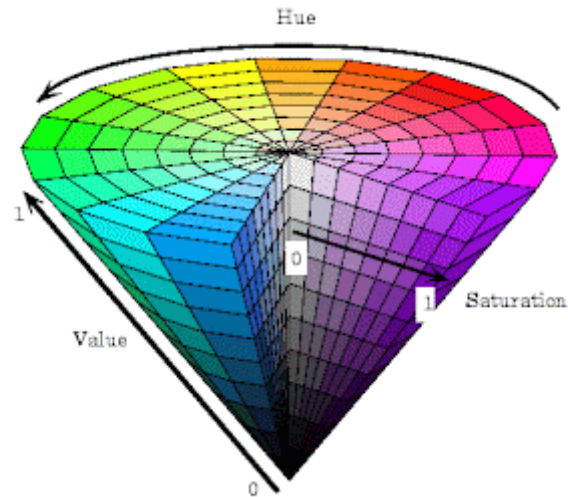
Pada analisis warna sering digunakan teknik manipulasi *color space conversion* sesuai dengan kebutuhan *image processing*. *Color space conversion* sendiri adalah suatu teknik yang dapat merubah antar ruang warna citra. Dalam analisis warna untuk melakukan fungsi deteksi sering digunakan ruang warna RGB, HSV, dan LAB.

Ruang warna RGB pada gambar 2.3 merupakan ruang warna yang terdiri dari pencampuran 3 warna dasar yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*). Model ruang warna ini sifatnya didasarkan oleh prinsip aditif yang berarti warna dihasilkan dari kombinasi *value* warna merah, biru, dan hijau.



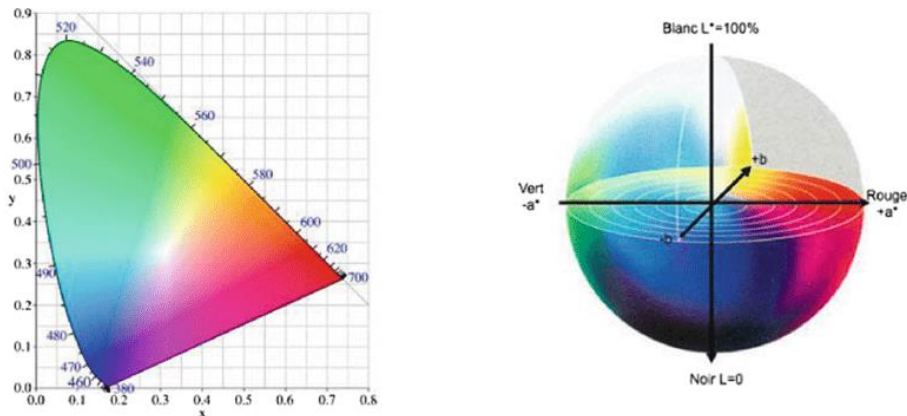
Gambar 2.3 Ruang Warna RGB[11]

Ruang warna HSV pada gambar 2.4 merupakan ruang warna yang terdiri 3 unsur yaitu HUE, *saturation*, dan *value*. HUE berfungsi dalam menentukan jenis/panjang gelombang warna yang dominan, *saturation* berfungsi dalam menentukan intensitas/kejenuhan warna, dan *value* berfungsi dalam menentukan kecerahan warna.



Gambar 2.4 Ruang Warna HSV[28]

Ruang warna LAB atau *lightness*, a (*green to red*), dan b (*blue to yellow*) pada gambar 2.5 merupakan singkatan ruang warna CIELAB, yang merupakan model warna berdasarkan persepsi manusia tentang warna. L berfungsi dalam menunjukkan kecerahan warna dengan nilai berkisar dari 0 (hitam) hingga 100 (putih), A berfungsi dalam menunjukkan posisi warna antara hijau (negatif) dan merah (positif), dan B berfungsi dalam menunjukkan posisi warna antara biru (negatif) dan kuning (positif).

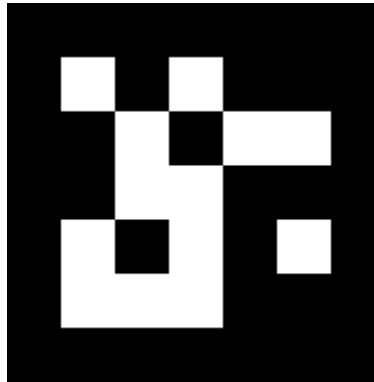


Gambar 2.5 Ruang Warna LAB[28]

### 2.2.12 ArUco Marker

*ArUco marker* seperti pada gambar 2.6 adalah jenis marker visual yang digunakan dalam aplikasi *augmented reality* dan *computer vision*. Marker ini terdiri dari kotak persegi panjang dengan pola hitam-putih yang unik, dirancang untuk dapat dikenali secara cepat dan akurat oleh

sistem *computer vision*[29]. Digunakan untuk melacak posisi dan orientasi objek di ruang 3D, *ArUco marker* sering diterapkan dalam berbagai konteks seperti *AR*, robotika, dan sistem interaktif berbasis komputer. Deteksi *marker* ini melibatkan pengenalan pola berdasarkan kombinasi pola hitam dan putih yang disusun secara spesifik, memungkinkan aplikasi yang memerlukan presisi tinggi untuk kalibrasi dan pencocokan yang akurat terhadap posisi objek dalam lingkungan nyata.



Gambar 2.6 Contoh ArUco Marker[16]

### 2.3 Analisis Stakeholder

- **Kedokteran Forensik**

Tenaga medis khususnya pada bidang forensik merupakan salah satu profesi yang memiliki dampak besar pada kesuksesan proyek *capstone design* ini. Profesi ini yang menjadi penentu apakah sistem yang dirancang sudah dinilai baik atau belum. Seperti yang kita ketahui bahwa pada era digital ini semua informasi sudah harus berbentuk digital sehingga pengukuran secara digital diperlukan pada bidang ini. Pengukuran digital dinilai memiliki dampak lebih baik serta dapat mereduksi resiko yang ada dikarenakan proses pengukuran sendiri dilakukan secara *contactless*. Oleh karena itu tenaga medis khususnya bidang forensik merupakan *user* yang dapat melakukan penilaian terhadap hasil proyek *capstone design* ini.

- **Mahasiswa/Mahasiswi Kedokteran**

Kegiatan akademik pada bidang kedokteran merupakan salah satu bidang yang cukup berdampak pada kesuksesan proyek *capstone design* ini. Sistem alat tersebut dapat dikatakan berperan penting pada bidang akademik kedokteran dikarenakan sistem yang dihasilkan menguntungkan bagi bidang ilmu pengetahuan kedokteran.

Proses pengukuran dimensi luka yang cepat dan akurat dapat dijadikan panduan pembelajaran bagi mahasiswa/mahasiswi kedokteran. Oleh karena itu sistem ini dapat bermanfaat pada bidang akademik kedokteran sebagai media pembelajaran modern.

- **Kepolisian**

Pihak kepolisian merupakan salah satu pihak yang diuntungkan dalam pembuatan sistem alat pada penelitian ini. Dengan adanya sistem alat ini dapat membantu pihak kepolisian dalam melakukan penegakan hukum pada suatu kasus. Oleh karena itu sistem ini dapat bermanfaat bagi kepolisian pada bidang penegakan hukum sebagai media bukti pidana.

## 2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

- **Aspek Ekonomi**

Perancangan sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini mengusulkan suatu *design* yang mempertimbangkan biaya penggunaan komponen sehingga dapat dihasilkan suatu sistem dengan biaya yang terjangkau. Biaya yang terjangkau dimaksudkan bahwa sistem telah cukup memenuhi kebutuhan tenaga medis pada bidang forensik. Sistem ini dirancang secara *low cost* dengan menitikberatkan pada *quality and quantity* sistem alat.

- **Aspek Sosial**

Perancangan sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini tentunya dipengaruhi oleh kebutuhan hukum dikarenakan hasil sistem ini berkemungkinan besar dapat dijadikan sebagai material bukti dari suatu kasus penegakan hukum. Hasil keakuratan alat dalam melakukan pengukuran akan menjadi faktor penentu dalam benar atau salahnya proses penegakan hukum dilaksanakan.

- **Aspek Akurasi dan Presisi**

Sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini berlandaskan pada proses “pengukuran” sehingga memiliki acuan akurasi dan presisi. Akurasi dan presisi dibutuhkan pada proses pengukuran dikarenakan untuk menghasilkan data pengukuran

yang tepat dan akurat. Sistem ini bekerja dengan mengacu terhadap seberapa tepat dan akurat hasil pengukuran sistem dimana pengukuran dilakukan secara *real time* dan *contact less* terhadap objek sehingga dapat menjadi piranti yang baik dalam membantu tenaga medis khususnya pada bidang forensik.

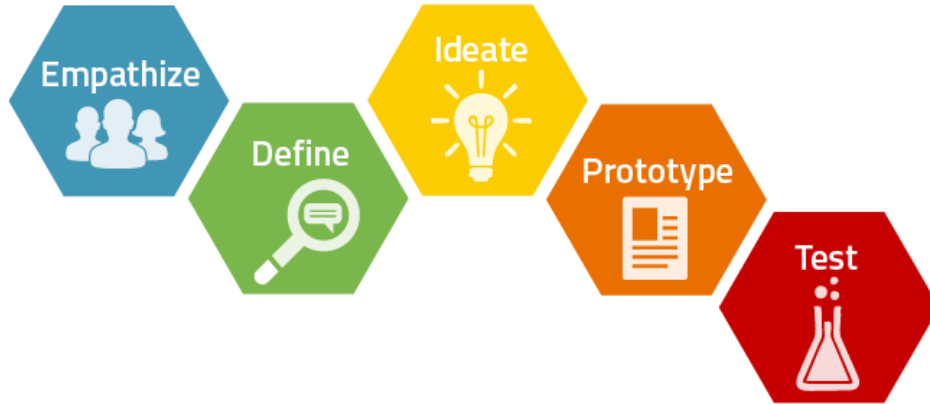
## 2.5 Spesifikasi Sistem

Melalui acuan dari beberapa proses penelitian seperti rumusan dan batasan permasalahan serta studi literatur dan observasi yang dilakukan maka sistem dapat dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini dirancang untuk melakukan proses pengukuran secara langsung/*realtime*
- Hasil dari sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini adalah dimensi luka seperti panjang luka, lebar luka, dan kedalaman luka dalam satuan metrik
- Pengoperasian sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini dapat dilakukan di *smartphone* dan PC (*Personal Computer*)
- Proses pengukuran sistem ini dilakukan secara *contactless*
- Pengoperasian sistem pengukuran kedalaman luka pada kasus forensik ini dilakukan secara *offline*

## BAB 3. USULAN SOLUSI

### DESIGN THINKING



Gambar 3.1 Flowchart Design Thinking[31]

Dalam proses perancangan sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik digunakan metode *design thinking*. Seperti pada gambar 3.1, metode ini terdiri dari 5 tahapan yaitu *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test* dimana kelima tahapan tersebut sifatnya iteratif, dengan kata lain setiap tahapannya dapat dilakukan pengembangan berulang berdasarkan solusi permasalahan penelitian[30]. Tujuan digunakannya metode *design thinking* dalam proses perancangan sistem ini adalah untuk menciptakan suatu sistem yang dapat menyelesaikan permasalahan secara sistematis serta dapat memenuhi standar keteknikan penelitian.

Pada tahapan awal proses perancangan sistem dilakukan tahapan *empathize* yang berarti perancangan sistem masuk ke dalam proses pemahaman terhadap permasalahan penelitian. Studi literatur serta observasi dilakukan pada tahapan ini untuk memahami lebih lanjut mengenai permasalahan utama penelitian. Dikumpulkan beberapa jurnal ilmiah serta data – data observasi dari narasumber terkait pada tahapan ini.

Tahapan selanjutnya dalam merancang sistem pengukuran luka pada kasus forensik ini adalah tahapan *define* yang berarti perancangan sistem masuk kedalam proses penentuan masalah penelitian. Dilakukan penyusunan masalah penelitian berdasarkan hasil riset studi literatur dan observasi narasumber yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya.

Setelah masalah penelitian sudah ditentukan maka dilakukan tahapan *ideate* dimana dilakukan pengusulan beberapa solusi permasalahan penelitian yang ada. Solusi yang diusulkan

merupakan ide – ide yang sekiranya dapat menyelesaikan permasalahan penelitian tersebut. Ide – ide ini nantinya akan disusun berdasarkan kelebihan dan kekurangannya terhadap penyelesaian masalah penelitian.

Selanjutnya yaitu tahapan *prototype*, pada tahapan ini dilakukan pembangunan model sistem berdasarkan ide solusi penyelesaian terbaik. Nantinya hasil *prototyping* tersebut akan dilakukan proses tahapan *testing* sehingga didapatkan data – data performa sistem pengukuran luka pada kasus forensik.

Standar keteknikan yang digunakan yaitu standar internasional di ranah pencitraan medis DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Dalam konteks penggunaan teknologi pencitraan dalam sistem peradilan pidana, *Scientific Working Group on Imaging Technology* (SWGIT) menjadi pedoman praktik yang penting. Mereka memberikan arahan terbaik untuk memastikan integritas dan akurasi teknologi pencitraan dalam proses peradilan. Selain itu, ketepatan waktu menjadi krusial dalam berbagai aplikasi teknologi, termasuk pengukuran kedalaman luka secara real-time. IEEE 1588: *Precision Time Protocol* (PTP) muncul sebagai solusi yang efektif dengan menyediakan sinkronisasi waktu tinggi untuk implementasi pengukuran yang akurat. Terakhir, standar keteknikan terkait sistem manajemen informasi untuk melindungi data sensitif pasien dan hasil pengukuran yaitu ISO/IEC 27001. Penerapan protokol enkripsi seperti TLS juga menjadi langkah kritis dalam memastikan keamanan data selama transmisi.

### **3.1 Usulan Solusi 1**

Solusi usulan pertama dari penyelesaian permasalahan penelitian ini adalah dilakukan pengukuran dimensi luka pada kasus forensik dengan menggunakan beberapa metode yang diawali dengan proses segmentasi luka pada citra dengan tujuan untuk memisahkan objek utama dengan *backgroundnya*. Setelah itu, dilakukan perhitungan panjang pixel terhadap panjang metrik menggunakan metode *ArUco* dengan dua cara pengukuran. Pertama, secara otomatis melalui deteksi objek luka menggunakan object detection. Kedua, dengan cara pengguna memberi garis pada objek luka untuk mendapatkan dimensi panjang dan luas luka dari citra tersebut. Sedangkan pada proses pengukuran kedalaman luka dilakukan dengan menggunakan metode *color analysis* untuk mengekstrak fitur yang dimiliki oleh citra dan kemudian hasil fitur tersebut dijadikan data pada *machine learning* SVM untuk melakukan klasifikasi kedalaman luka pada citra luka.

### 3.1.1 Desain Sistem 1

- **Akuisisi Citra**

Desain dari sistem 1 ini dapat melakukan pengukuran dimensi luka secara *realtime* ataupun tidak. Proses pengukuran dengan kamera ini diawali dengan melakukan akuisisi citra suatu luka yang ingin diukur. Proses akuisisi ini nantinya bisa diambil secara langsung dengan menggunakan kamera atau bisa diambil secara tidak langsung dengan data citra yang tersedia. Setelah didapatkan citra luka yang ingin diukur dimensinya, maka masuk kedalam tahap pemrosesan citra.

- **Proses Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan *ArUco Marker***

Pada pengukuran panjang dan lebar luka dengan menggunakan *marker ArUco*, perhitungan panjang terhadap pixel menjadi parameter yang paling penting untuk menghasilkan pengukuran yang akurat. Perhitungan panjang pixel terhadap panjang metrik ini dilakukan dengan dua cara pengukuran. Pertama, secara otomatis melalui deteksi objek luka menggunakan *object detection*. Kedua, dengan cara pengguna memberi garis pada objek luka untuk mendapatkan dimensi panjang dan lebar luka dari citra tersebut.

Pada pengukuran panjang dan lebar secara otomatis, penggunaan *marker ArUco* berfungsi sebagai titik referensi untuk kalibrasi dimensi dalam gambar. Selain itu, pada pengukuran ini dilakukan tahap *preprocessing* gambar yang bertujuan untuk mempersiapkan gambar sebelum dilakukan analisis atau ekstraksi fitur lebih lanjut. Tahap *preprocessing* ini meliputi beberapa langkah penting seperti konversi gambar ke citra *grayscale*, aplikasi *Gaussian blur* untuk mengurangi *noise*, penggunaan teknik *thresholding* untuk menghasilkan citra biner dan operasi morfologi untuk mempertajam tepi objek dalam gambar. Setelah gambar melalui tahap *preprocessing*, deteksi tepi dengan algoritma Canny dilakukan untuk mengidentifikasi kontur area luka yang menjadi fokus pengukuran. Selanjutnya, iterasi dilakukan melalui daftar kontur objek yang telah diidentifikasi sebelumnya dalam gambar. Setiap kontur kemudian digunakan untuk menghitung persegi panjang terkecil yang melingkupi objek tersebut. Dari hasil ini, didapatkan informasi tentang pusat objek, ukuran (lebar dan tinggi), dan

sudut rotasi. Selanjutnya, program menggambar kotak yang melingkupi objek menggunakan sudut-sudut yang dihitung sebelumnya dan menambahkan sebuah lingkaran pada titik tengah objek untuk menandai pusatnya. Selain itu, program juga menghitung panjang dan lebar objek dalam satuan sentimeter dengan membagi nilai panjang dan lebar dalam piksel dengan rasio konversi *pixel\_cm\_ratio* yang telah didapatkan sebelumnya.

Sedangkan pada pengukuran panjang dan lebar dengan penanda garis, pemrosesan dimulai dengan menginput citra yang akan dianalisis. Gambar ini kemudian diproses untuk mendeteksi *marker* ArUco, yang berfungsi sebagai referensi skala untuk pengukuran. Setelah *marker* terdeteksi, *perimeter marker* dihitung untuk menentukan rasio antara piksel dan sentimeter. Langkah berikutnya adalah menggambar dua garis yang mewakili panjang dan lebar luka pada gambar. Koordinat garis-garis ini kemudian diekstrak dan digunakan untuk menghitung panjang dan lebar luka dalam satuan piksel. Dengan menggunakan rasio yang telah dihitung sebelumnya, ukuran luka dalam piksel dikonversi menjadi satuan cm.

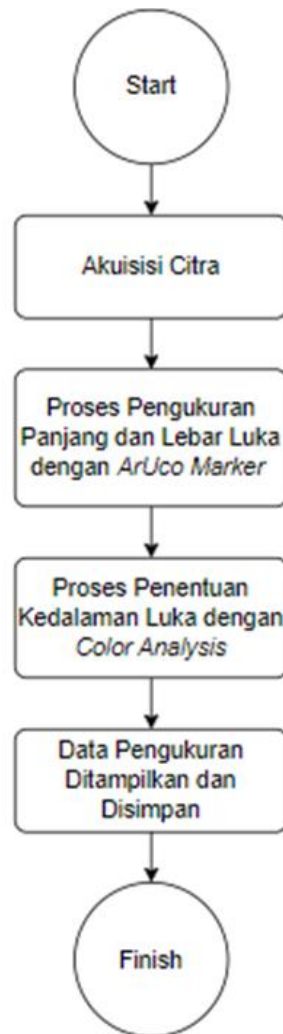
- **Proses Penentuan Kedalaman Luka dengan Color Analysis**

Pada proses pengukuran kedalaman nantinya akan digunakan metode *color analysis* yaitu dengan mengklasifikasikan dimensi kedalaman berdasarkan warna pada luka. Metode ini diawali dengan melakukan *preprocessing* data berupa melakukan *cropping* pada *data training* luka sehingga letak objek luka berada ditengah gambar. Setelah itu dilakukan konversi ruang warna dari RGB ke ruang warna HSV dan ruang warna LAB dimana dilakukan ekstraksi nilai HSV dan LAB pada data training luka tersebut. Hasil pengambilan nilai HSV dan LAB dari *data training* digunakan oleh *machine learning SVM* untuk mengidentifikasi karakteristik luka pada citra. Nantinya didapatkan kedalaman luka dengan klasifikasi stadium 2, stadium 3, dan stadium 4.

- **Data Hasil Pengukuran Ditampilkan dan Disimpan**

Hasil pengukuran akan ditampilkan pada antarmuka *software*, memungkinkan pengguna untuk melihat dan menyimpan hasil pengukuran untuk kemudahan akses data pengukuran dimensi luka yang telah dilakukan. *Software* sistem ini nantinya akan

dapat dijalankan pada perangkat *smartphone*. Pada *software* diberikan 2 pilihan dalam mengakuisisi citra yaitu dengan akuisisi secara langsung (*realtime*) dan akuisisi secara tidak langsung (citra yang sudah ada). Setelah citra sudah diakuisisi, *software* akan menjalankan algoritma komputasi pengukuran dimensi luka. Hasil dari kalkulasi algoritma tersebut nantinya akan ditampilkan pada *interface software* sehingga *user* dapat melihat hasil pengukurannya. Hasil pengukuran tersebut dapat disimpan sehingga memudahkan *user* dalam mengakses data hasil pengukuran dimensi luka yang sudah dilakukan. Gambar 3.2 merupakan diagram alir dari algoritma sistem 1 pengukuran luka pada kasus forensik.



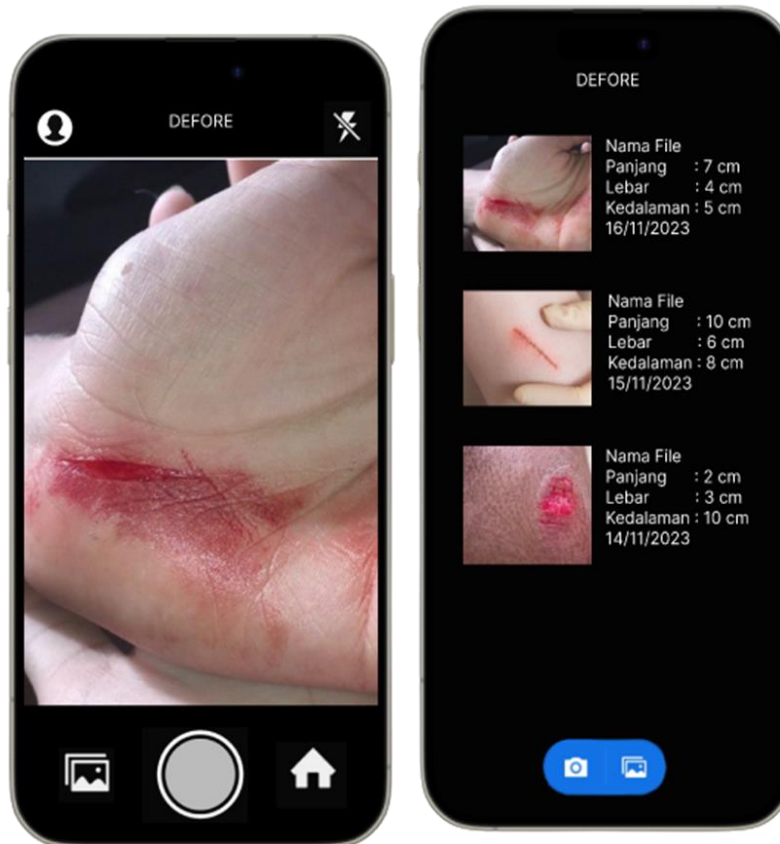
Gambar 3.2 Flowchart Design 1

Pada usulan *design* sistem 1 ini agar dapat direalisasikan maka dibutuhkan inventarisasi kebutuhan sistem. Tabel 3.1 merupakan daftar inventarisasi kebutuhan dari sistem pengukuran luka pada kasus forensik.

Tabel 3.1. Inventarisasi Kebutuhan Usulan Design Sistem 1

No	Nama Alat	Keterangan
1	Smartphone	Spesifikasi PC minimal yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>● CPU: Octa core</li> <li>● Kamera: 12 – 24 Megapixel</li> <li>● RAM: 4GB</li> </ul>

Pada perancangan usulan *design* 1 sistem pengukuran luka pada kasus forensik ini lebih mengedepankan perancangan perangkat lunaknya dibandingkan dengan perancangan perangkat kerasnya sehingga dibutuhkan *software* pengoprasian sistem. Sistem dapat dijalankan dengan menggunakan aplikasi pada *smartphone*. Gambar 3.3 merupakan ilustrasi dari pengoprasian *software* sistem pengukuran luka pada kasus forensik.



Gambar 3.3 Usulan Rancangan Aplikasi untuk Smartphone

### 3.1.2. Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Perancangan *design* sistem 1 membutuhkan anggaran untuk tercapainya pembuatan sistem pengukuran luka pada kasus forensik ini. Tabel 3.2 merupakan daftar anggaran yang dibutuhkan oleh pembuatan sistem 1 ini.

Tabel 3.2. Rencana Anggaran Pembuatan Usulan Design Sistem 1

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Pembuatan <i>Software Smartphone</i> dengan <i>Object Detection</i> dan <i>Support Vector Machine</i>	Pcs	Rp. 2.000.000, -	1	Rp. 2.000.000, -
<b>Total Belanja</b>					Rp. 2.000.000, -

### 3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Pada usulan perancangan sistem 1 ini menggunakan metode konvensional. Metode konvensional yang digunakan adalah dengan menggunakan metode perhitungan *pixel to metric* dengan *ArUco* dan metode *color analysis*. Pada metode perhitungan *pixel to metric* dengan *ArUco* sebagai objek referensi, belum ada sumber literasi yang menggunakan metode tersebut dalam melakukan pengukuran panjang dan lebar pada objek luka. Selain itu, *ArUco* marker dapat menjadi kurang akurat dalam kondisi pencahayaan yang buruk atau tidak teratur. Sedangkan pada metode *color analysis* dengan klasifikasi oleh *machine learning SVM* di beberapa jurnal dibuktikan bahwa metode ini dapat melakukan proses klasifikasi benda dengan akurasi yang tinggi sehingga dimungkinkan dapat mengklasifikasikan kedalaman luka. Argumen tersebut masih kurang kuat dikarenakan sedikitnya literasi yang membahas mengenai metode tersebut digunakan dalam melakukan pengukuran luka sehingga dimungkinkan akan terjadi kesalahan dalam melakukan pengukuran kedalaman luka.

### 3.1.4 Pengukuran Performa Desain 1

Proses pengukuran performa dari sistem 1 ini dapat dilakukan berdasarkan parameter – parameter berikut yaitu akurasi, presisi, *recall*, *F1 score* dan waktu yang dibutuhkan sistem. Pada parameter akurasi dinyatakan bahwa dibutuhkan sistem 1 untuk dapat melakukan proses pengukuran dengan hasil yang akurat. Akurat yang dimaksudkan adalah bahwa hasil pengukuran sistem sama dengan hasil pengukuran *real*. Pada parameter presisi dinyatakan bahwa dibutuhkan

sistem 1 untuk dapat melakukan proses pengukuran dengan hasil yang konsisten. Konsisten yang dimaksudkan adalah bahwa hasil pengukuran sistem memberikan hasil yang seragam dalam kondisi pengukuran yang sama. Apabila digabungkan antara parameter akurasi dan presisi maka sistem yang dirancang sudah dikatakan menghasilkan pengukuran yang berkualitas baik. Parameter *recall* mengukur performa model untuk menemukan data positif dalam dataset dan parameter *F1 score* merupakan perpaduan harmonisasi dari performa *recall* dan presisi. Dalam sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik ini, akurasi pengukuran menjadi prioritas utama dibandingkan dengan kecepatan pemrosesan. Data yang akurat sangat penting untuk memastikan validitas bukti dalam proses hukum, sehingga hasil pengukuran yang tepat harus diutamakan pada sistem.

### 3.2 Usulan Solusi 2

Solusi usulan kedua dari penyelesaian permasalahan penelitian ini adalah dilakukan pengukuran dengan menggunakan beberapa metode seperti teknik kalibrasi kamera, teknik *image processing*, dan *deep learning*. Dalam upaya meningkatkan akurasi pengukuran kedalaman luka khususnya pada konteks forensik, solusi yang kami usulkan mengintegrasikan penerapan kalibrasi kamera dengan menggunakan metode Zhang. Metode Zhang adalah salah satu teknik kalibrasi kamera yang paling populer dan diakui karena efisiensinya[8]. Dengan memanfaatkan pola bidang datar yang diobservasi oleh kamera dari berbagai orientasi, metode ini mampu mengestimasi parameter internal dan eksternal kamera dengan tingkat presisi yang tinggi. Parameter ini penting untuk memastikan bahwa gambar yang dihasilkan mencerminkan dimensi asli dari objek yang dicitrakan, dalam hal ini luka.

Setelah kamera dikalibrasi maka kamera sudah siap melakukan pemrosesan citra atau *image processing* yang diawali dengan proses segmentasi luka pada citra dengan tujuan untuk memfokuskan objek yang ingin dianalisis. Kemudian dilakukan perhitungan panjang pixel terhadap panjang metrik dengan menggunakan metode DPI atau dot per inch sehingga nantinya didapatkan hasil pengukuran dimensi panjang dan luka dari suatu citra.

Sedangkan pada proses pengukuran kedalaman luka dilakukan dengan menggunakan metode CNN. Dengan memanfaatkan fitur canggih dari CNN, kita dapat memprediksi kedalaman luka dengan tingkat akurasi yang tinggi berdasarkan fitur visual dari gambar tersebut.

Alasan pemilihan solusi ini terletak pada kombinasi metode yang digunakan. Kalibrasi kamera memastikan gambar yang diambil adalah representasi sebenarnya dari objek yang dicitrakan. Sementara itu, dengan menggunakan metode DPI dan CNN dalam analisis gambar, kami dapat memperoleh *insight* mendalam mengenai luka yang dianalisis, memastikan bahwa hasil pengukuran luka bersifat akurat dan dapat diandalkan dalam konteks forensik.

### 3.2.1 Desain Sistem 2

- **Akuisisi Citra**

Desain dari sistem 2 ini dapat melakukan pengukuran dimensi luka secara *realtime* ataupun tidak. Proses pengukuran dengan kamera ini diawali dengan melakukan akuisisi citra suatu luka yang ingin diukur. Proses akuisisi ini nantinya bisa diambil secara langsung dengan menggunakan kamera atau bisa diambil secara tidak langsung dengan data citra yang tersedia. Setelah didapatkan citra luka yang ingin diukur dimensinya, maka masuk kedalam tahap pemrosesan citra.

- **Segmentasi Citra**

Segmentasi citra adalah tahap penting dalam pemrosesan citra yang bertujuan untuk memisahkan area luka dari latar belakang dan bagian lain dari gambar. Proses ini memastikan bahwa luka menjadi objek dominan dalam citra, sehingga analisis dan pengukuran dapat dilakukan dengan lebih akurat. Segmentasi yang efektif memainkan peran vital dalam meningkatkan keakuratan pengukuran dan identifikasi luka, yang sangat penting dalam konteks medis dan forensik. Teknik segmentasi yang digunakan mencakup beberapa metode seperti konversi gambar ke skala abu-abu, penerapan filter untuk mengurangi noise, dan penggunaan algoritma *thresholding* untuk membedakan area luka dari latar belakang.

- **Proses Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Metode DPI**

Hasil dari proses segmentasi luka digunakan untuk proses pengukuran dimensi panjang dan lebar luka dengan perbandingan DPI (*Dots Per Inch*). DPI mengacu pada jumlah titik atau piksel yang terdapat dalam satu inci pada gambar digital, sehingga semakin tinggi nilai DPI, semakin tinggi pula resolusi dan detail dari gambar tersebut.

Dalam pengukuran panjang dan lebar luka menggunakan *image processing*, DPI merupakan parameter krusial yang mempengaruhi akurasi hasil pengukuran. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat, langkah pertama adalah menentukan nilai DPI dari gambar yang diambil. Informasi ini biasanya dapat ditemukan dalam metadata gambar atau melalui pengaturan perangkat yang digunakan untuk mengambil gambar. Setelah mengetahui nilai DPI, langkah selanjutnya adalah menghitung rasio konversi dari piksel ke unit fisik, seperti centimeter atau millimeter. Misalnya, jika DPI gambar adalah 300, berarti terdapat 300 piksel dalam setiap inci gambar. Dengan konversi ini, satu piksel setara dengan 25.4 mm dibagi 300, yaitu sekitar 0.0847 mm. Rasio ini digunakan untuk mengkonversi pengukuran dalam piksel menjadi ukuran fisik yang sebenarnya.

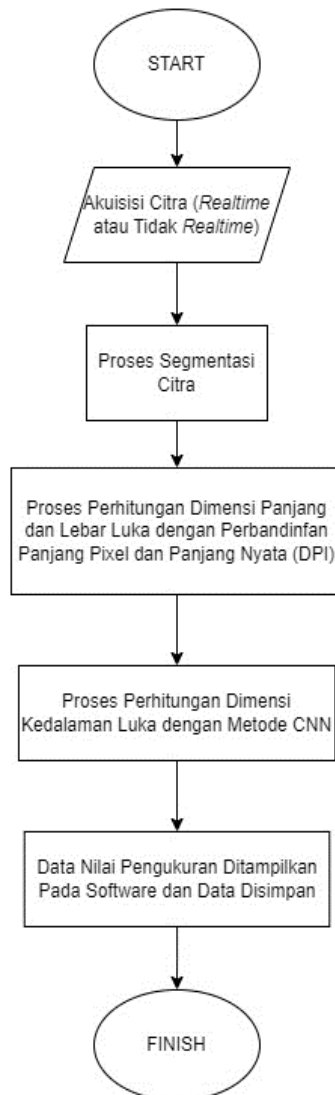
- **Proses Penentuan Kedalaman Luka dengan CNN**

Perbedaan mendasar antara desain 1 dan desain 2 terletak pada metode pengukuran kedalaman luka. Jika sistem 1 menggunakan *color analysis* dengan mengklasifikasikan kedalaman luka berdasarkan warna, sistem 2 menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN akan menganalisis citra luka dan mempelajari fitur-fitur untuk menentukan kedalaman luka dengan lebih akurat. Metode ini memungkinkan identifikasi variasi kedalaman luka yang lebih kompleks dan tidak hanya bergantung pada warna. Pada proses metode CNN dilakukan *convolutional layer* yang terdiri dari beberapa filter (kernel) digeser melintasi seluruh citra untuk mengekstrak fitur – fiturnya. Setelah itu dilakukan *pooling layer* yaitu membantu mengurangi parameter dan komputasi dalam jaringan serta mempertahankan informasi penting. Hasilnya akan dipaparkan menjadi vektor 1 dimensi. Fitur – fitur yang telah diekstrak akan digabungkan menjadi suatu output. *Output layer* ini menghasilkan prediksi berdasarkan informasi dari seluruh jaringan. Algoritma akan dilakukan optimasi berdasarkan perhitungan *loss function*, kemudian akan dilakukan pelatihan dengan beberapa data dari dataset yang tersedia.

- **Data Hasil Pengukuran Ditampilkan dan Disimpan**

Hasil pengukuran akan ditampilkan pada antarmuka *software*, memungkinkan pengguna untuk melihat dan menyimpan hasil pengukuran untuk kemudahan akses

data pengukuran dimensi luka yang telah dilakukan. *Software* sistem ini nantinya akan dapat dijalankan pada perangkat *smartphone*. Pada *software* diberikan 2 pilihan dalam mengakuisisi citra yaitu dengan akuisisi secara langsung (*realtime*) dan akuisisi secara tidak langsung (citra yang sudah ada). Setelah citra sudah diakuisisi, *software* akan menjalankan algoritma komputasi pengukuran dimensi luka. Hasil dari kalkulasi algoritma tersebut nantinya akan ditampilkan pada *interface software* sehingga *user* dapat melihat hasil pengukurannya. Hasil pengukuran tersebut dapat disimpan sehingga memudahkan *user* dalam mengakses data hasil pengukuran dimensi luka yang sudah dilakukan. Gambar 3.4 merupakan diagram alir dari algoritma sistem 2 pengukuran luka pada kasus forensik.



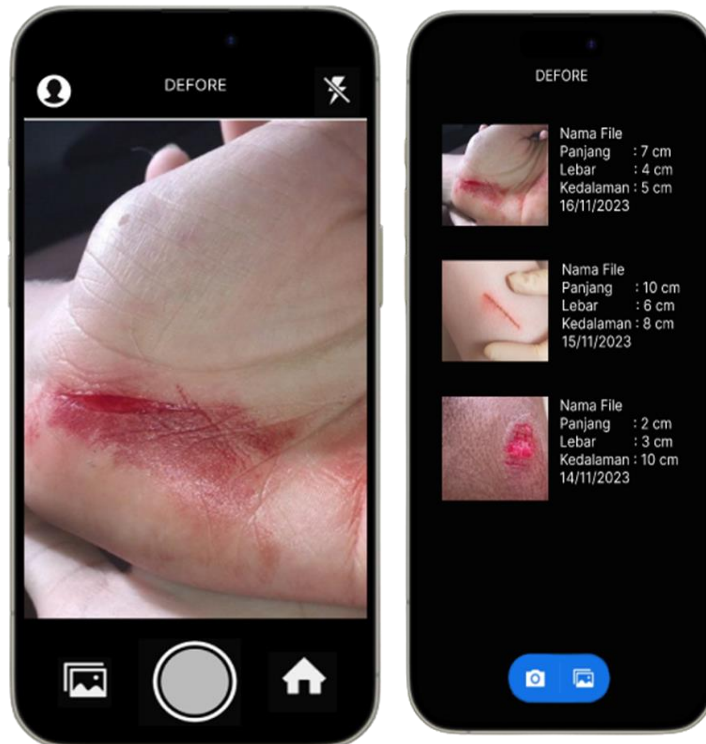
Gambar 3.4 Flowchart Design 2

Pada usulan *design* sistem 2 ini agar dapat direalisasikan maka dibutuhkan yang namanya inventarisasi kebutuhan sistem. Tabel 3.3 merupakan daftar inventarisasi kebutuhan dari sistem 2 pengukuran luka pada kasus forensik.

Tabel 3.3 Inventarisasi Kebutuhan Usulan Design Sistem 2

No	Nama Alat	Keterangan
1	Smartphone	<p>Spesifikasi PC minimal yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● CPU: Snapdragon 888, 888+, 8 Gen 1, 8 Gen 2:</li> <li>● Kamera: 24 - 64 Megapixel</li> <li>● RAM: 12GB</li> </ul>

Pada perancangan usulan *design* 2 sistem pengukuran luka pada kasus forensik ini lebih mengedepankan perancangan perangkat lunaknya dibandingkan dengan perancangan perangkat kerasnya sehingga dibutuhkan *software* pengoprasian sistem. Sistem dapat dijalankan dengan menggunakan aplikasi pada *smartphone*. Gambar 3.5 merupakan ilustrasi dari pengoprasian *software* sistem pengukuran luka pada kasus forensik.



Gambar 3.5 Usulan Rancangan Aplikasi untuk Smartphone

### 3.2.2 Rencana Anggaran Desain 2

Sama halnya dengan sistem 1, perancangan *design* sistem 2 membutuhkan anggaran untuk tercapainya pembuatan sistem pengukuran luka pada kasus forensik ini. Tabel 3.4 merupakan daftar anggaran yang dibutuhkan oleh pembuatan sistem 2 ini.

Tabel 3.4 Rencana Anggaran Pembuatan Usulan Design Sistem 2

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Pembuatan <i>Software Smartphone</i> dengan <i>Object Detection</i> dan <i>Convolutional Neural Network</i>	Pcs	Rp. 3.000.000, -	1	Rp. 3.000.000, -
<b>Total Belanja</b>					Rp. 3.000.000, -

### 3.2.3 Analisis Risiko Desain 2

Desain kedua menghadirkan beberapa potensi tantangan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan dalam implementasinya. Dalam aspek teknik, meskipun penggunaan metode kalibrasi kamera Zhang dianggap efisien, kesalahan dalam proses kalibrasi dapat menyebabkan distorsi pada citra, mengakibatkan pengukuran yang tidak akurat. Selain itu, penggunaan metode analisis gambar menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN) selain memiliki keunggulan dalam ekstraksi fitur hierarkis dan kompleksitas model yang tinggi, tetapi juga memiliki beberapa kekurangan. Salah satu keterbatasannya adalah kebutuhan akan jumlah data pelatihan yang besar agar model dapat belajar secara efektif. Jika dataset yang digunakan terlalu kecil, CNN dapat mengalami *underfitting* di mana model hanya dapat menghafal data pelatihan tanpa mampu menggeneralisasikan informasi ke data baru sehingga menghasilkan sistem dengan akurasi yang buruk. Selain itu, CNN kurang efektif dalam menangani variasi ekstrim dalam kondisi pencahayaan, sudut pengambilan gambar, atau kualitas gambar. Jika variasi ini tidak tercermin dalam data pelatihan, model dapat menghasilkan hasil yang kurang dapat diandalkan untuk gambar-gambar baru.

### 3.2.4 Pengukuran Performa Desain 2

Untuk mengukur performa dari desain alat yang diusulkan dalam desain 2, beberapa parameter kunci dapat digunakan. Parameter utama yang akan diukur adalah akurasi pengukuran,

parameter ini digunakan untuk menilai sejauh mana alat mampu memberikan hasil yang mendekati nilai sebenarnya. Pengukuran akurasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat dengan pengukuran referensi yang dianggap akurat, memberikan pemahaman tentang tingkat ketepatan hasil yang dihasilkan. Selain akurasi, presisi akan menjadi parameter kritis yang diukur untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran. Presisi yang tinggi diperlukan agar alat memberikan hasil yang seragam dalam kondisi pengukuran yang sama, memberikan kepercayaan bahwa alat dapat diandalkan dan konsisten dalam performanya. Selain itu, aspek waktu respon akan menjadi pertimbangan penting, terutama untuk memberikan pengalaman pengguna yang memuaskan. Dalam sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik, akurasi pengukuran menjadi prioritas utama dibandingkan dengan kecepatan pemrosesan. Data yang akurat sangat penting untuk memastikan validitas bukti dalam proses hukum, sehingga hasil pengukuran yang tepat harus diutamakan pada sistem. Dengan menganalisis dan mengevaluasi kinerja alat berdasarkan parameter-parameter tersebut, dapat diambil keputusan apakah Desain 2 dapat memenuhi persyaratan dan tujuan yang diinginkan.

### **3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik**

Berdasarkan pemaparan usulan – usulan perancangan sistem pengukuran luka pada kasus forensik diatas maka disepakati bahwa usulan perancangan sistem pertama merupakan desain terbaik. Usulan solusi pertama dikatakan desain terbaik dibandingkan dengan usulan solusi kedua dikarenakan usulan solusi pertama memiliki metode yang lebih efektif direalisasikan dan akurasi yang lebih tinggi dibanding dengan usulan solusi kedua.

Pada usulan solusi kedua digunakan proses estimasi pengukuran panjang dan lebar luka dengan menggunakan metode DPI dan pengukuran kedalaman luka menggunakan metode *deep learning* yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN). Terdapat permasalahan pada usulan sistem kedua ini yaitu proses komputasi pada metode CNN yang cukup berat untuk dilakukan sehingga kurang tepat untuk menjadi solusi permasalahan penelitian. Penggunaan CNN memerlukan dataset *training* yang cukup besar untuk mencegah terjadinya *underfitting* yaitu ketika model tidak mampu menangkap pola-pola yang mendasari data dengan baik sehingga dapat mengurangi performa akurasi model, padahal dataset *training* yang digunakan pada sistem terdiri kurang dari 30 data untuk masing-masing kelas sehingga kurang tepat apabila menggunakan metode CNN. Selain itu, penggunaan metode DPI akan menghasilkan keluaran panjang dan lebar yang berbeda jika objek

yang sama di foto pada jarak yang berbeda. Hal ini dikarenakan metode DPI tidak memperhitungkan perspektif dan skala yang berubah seiring dengan jarak kamera ke objek.

Sedangkan pada usulan solusi pertama digunakan proses estimasi pengukuran panjang dan lebar luka dengan menggunakan *ArUco marker* sebagai objek referensi dan pengukuran kedalaman luka menggunakan metode *color analysis*. Berbeda dengan usulan solusi kedua, penggunaan *ArUco marker* sebagai objek referensi dalam solusi ini memastikan bahwa keluaran panjang dan lebar objek akan tetap konsisten, meskipun objek tersebut difoto dari jarak yang berbeda. Hal ini dikarenakan *ArUco marker* memiliki ukuran fisik yang diketahui, sehingga meskipun gambar diambil dari jarak yang berbeda, *marker* tetap dapat diidentifikasi dan diukur dengan tepat. Dengan menggunakan ukuran *marker* yang diketahui, sistem dapat menghitung skala gambar dan kemudian mengkonversi ukuran objek dalam gambar menjadi ukuran sebenarnya dengan akurat. Selain itu, penggunaan *color analysis* dalam melakukan estimasi pengukuran kedalaman luka memiliki proses komputasi yang cukup ringan dan memiliki akurasi tinggi pada data latih kecil sehingga dimungkinkan untuk menjadi solusi permasalahan penelitian. Warna akan diekstrak ke ruang warna HSV dan LAB, kemudian dari hasil ekstraksi nantinya akan dilakukan identifikasi dengan *machine learning SVM* untuk menentukan kedalaman luka.

Tabel 3.5 Decision Matrix Usulan Perancangan Sistem

	Jumlah Literasi	<i>Processing</i>	Akurasi	Total
<i>Weight</i>	3	4	4	
Usulan Solusi 1	6	16	16	38
Usulan Solusi 2	12	8	12	32

Dalam menentukan usulan solusi terbaik berdasarkan proses analisis setiap usulan maka digunakan alat bantu berupa decision matrix sebagai parameternya seperti pada tabel 3.5. Dipaparkan beberapa faktor yang mempengaruhi masing – masing usulan sistem dimana setiap faktor tersebut memiliki bobot nilai tertentu yang besarnya antara 1 – 5. Setiap usulan akan diberikan nilai yang sesuai pada setiap faktor tersebut.

Pada faktor jumlah literasi dengan bobot nilai 3 didapatkan usulan pertama mendapatkan skor 6 dan usulan kedua mendapatkan skor 12 yang berarti bahwa jumlah literasi pada usulan kedua lebih baik dibandingkan usulan solusi pertama dari segi kuantitas literasinya. Pada faktor processing dengan bobot nilai 4 didapatkan usulan pertama mendapatkan skor 16 dan usulan kedua

mendapatkan skor 8 yang berarti bahwa tingkat komputasi pada usulan 1 lebih baik dibandingkan usulan solusi 2 dari segi kerumitan kompleksnya algoritma komputasi yang digunakan. Terakhir pada faktor akurasi dengan bobot nilai 4 didapatkan usulan pertama mendapatkan skor 16 dan usulan kedua mendapatkan skor 12 yang berarti bahwa tingkat akurasi pada usulan pertama lebih akurat dibandingkan usulan solusi kedua dari segi akurasi dan presisi berdasarkan dari penelitian yang sudah dilakukan.

Pada proses penilaian didapatkan bahwa nilai usulan solusi pertama memiliki skor tertinggi yaitu 38, sedangkan usulan solusi kedua memiliki skor terendah yaitu 32. Maka ditentukan bahwa usulan solusi pertama merupakan usulan perancangan sistem pengukuran luka pada kasus forensik terbaik.

### 3.4 Gantt Chart

Dalam proyek *capstone design* ini, diperlukan perencanaan dan manajemen yang baik agar seluruh target dan tugas pada setiap tahap pencapaian dapat terpenuhi. Perencanaan sistem ini dilaksanakan selama dua semester dengan menggunakan metode *Gantt Chart*, seperti yang terlihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Gantt chart pelaksanaan Capstone Project Sistem Pengukuran Kedalaman Luka pada Kasus Forensik

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -									
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1	Proses identifikasi permasalahan penelitian	K									
2	Proses melakukan studi literatur dan observasi penelitian	K	K, N								
3	Pengajuan usulan solusi – solusi dari permasalahan penelitian		K, N	K, N							
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1/ <i>Capstone Project</i> dan melakukan seminar				K, N						

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -									
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
5	Pembelian perangkat (lunak dan keras) yang dibutuhkan oleh sistem				K, N	K, N					
6	Melakukan proses perancangan sesuai dengan struktur di proposal Tugas Akhir 1				K, N	K, N	K, N	K, N	K, N		
7	Melakukan <i>testing</i> dan validasi								K, N	K, N	
8	Pengumpulan Tugas Akhir 2 dan melakukan Expo Tugas Akhir 2									K, N	K, N

Ket.: PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) K: Kern Cesarean Ahnaf, N: Nayef Hafidz Riyadi

### 3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Disusun realisasi pelaksanaan tugas akhir 1 ini dalam daftar – daftar secara berurutan sehingga seluruh kegiatan pembuatan proposal ini dapat dilihat secara sistematis. Tabel 3.7 merupakan rentetan kegiatan pembuatan proposal tugas 1.

Tabel 3.7 Realisasi Aktivitas Pelaksanaan Tugas Akhir 1

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Rabu, 13 September 2023, 4 Hari	Survei literatur terkait permasalahan penelitian	Kern
2	Senin, 18 September 2023, 3 jam	Pengerjaan latar belakang penelitian	Kern
3	Selasa, 19 September 2023, 2 jam	Pengerjaan rumusan permasalahan penelitian	Kern Nayef
4	Rabu, 20 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan masalah penelitian	Kern Nayef

5	Kamis, 21 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan realistis aspek keteknikan	Kern Nayef
6	Jum'at, 22 September 2023, 2 Jam	Bimbingan 1 dengan dosen pembimbing (via Zoom)	Kern Nayef
7	Senin, 25 September 2023, 6 Hari	Revisi proposal bab 1	Kern Nayef
8	Senin, 2 Oktober 2023, 9 Hari	Melakukan studi literatur dan observasi terkait dengan solusi permasalahan penelitian	Kern Nayef
9	Jum'at, 13 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 2 dengan dosen pembimbing	Kern
10	Senin, 16 Oktober 2023, 3 Hari	Revisi proposal sub bab studi literatur dan observasi	Kern
11	Jum'at, 20 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 3 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
12	Senin, 23 Oktober 2023, 2 Hari	Pengerjaan dasar teori	Kern Nayef
13	Rabu, 25 Oktober 2023, 2 Hari	Pengerjaan analisis <i>stakeholder</i> , analisis aspek yang mempengaruhi sistem, dan spesifikasi sistem	Kern Nayef
14	Sabtu, 28 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 4 dengan dosen pembimbing (via Zoom)	Kern Nayef
15	Senin, 30 Oktober 2023, 1 Hari	Revisi proposal bab 2	Kern Nayef
16	Selasa, 31 Oktober 2023, 3 Hari	Pengerjaan usulan solusi 1 dan 2	Kern Nayef
17	Jum'at, 3 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 5 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
18	Senin, 6 November 2023, 4 Hari	Pengerjaan desain sistem 1 dan sistem 2 serta pengerjaan ilustrasi aplikasi	Kern Nayef
19	Jum'at, 10 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 6 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef

20	Senin, 13 November 2023, 3 Jam	Revisi proposal sub bab desain sistem 1 dan 2	Kern Nayef
21	Selasa, 14 November 2023, 3 Hari	Pengerjaan rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran performa sistem 1 dan sistem 2	Kern Nayef
22	Jum'at, 17 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 7 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
23	Senin, 20 November 2023, 3 Jam	Revisi proposal sub bab rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran performa sistem 1 dan sistem 2	Kern Nayef
24	Selasa, 21 November 2023, 3 Hari	Pengerjaan analisis dan penentuan usulan terbaik, gantt chart, dan realisasi tugas akhir 1	Kern Nayef
25	Jum'at, 24 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 8 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
26	Senin, 27 November 2023, 1 Hari	Revisi proposal bab 3	Kern Nayef
27	Jum'at, 8 Desember 2023	Wawancara mitra/narasumber	Kern Nayef
28	Senin, 11 Desember 2023	Bimbingan 9 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
29	Selasa, 12 Desember 2023	Revisi keseluruhan proposal tugas akhir 1	Kern Nayef
30	Jum'at, 22 Desember 2023	Presentasi proposal tugas akhir 1	Kern Nayef
31	Senin, 25 Desember 2023, 7 Hari	Revisi keseluruhan proposal tugas akhir 1	Kern Nayef

## BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

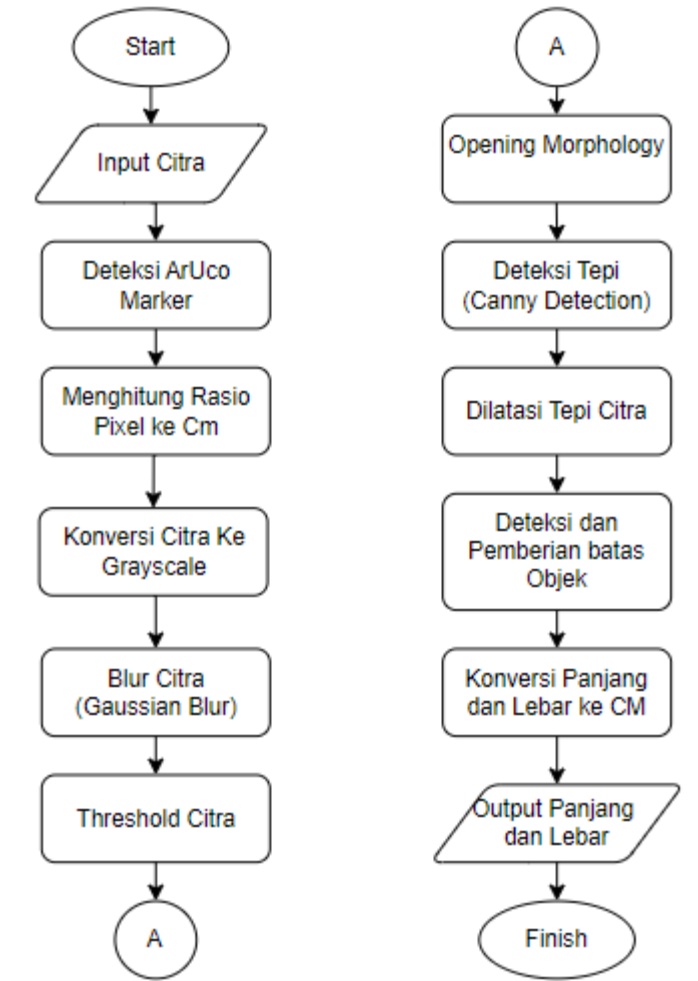
### 4.1 Hasil Rancangan Sistem

#### 4.1.2 Program Pengukuran Panjang dan Lebar Luka

Pada program pengukuran panjang dan lebar luka dengan menggunakan *marker* ArUco, perhitungan panjang terhadap pixel menjadi parameter yang paling penting untuk menghasilkan pengukuran yang akurat. Perhitungan panjang pixel terhadap panjang metrik ini dilakukan dengan dua cara pengukuran. Pertama, secara otomatis melalui deteksi objek luka menggunakan *object detection*. Kedua, dengan cara pengguna memberi garis pada objek luka untuk mendapatkan dimensi panjang dan lebar luka dari citra tersebut.

##### 1. Pengukuran panjang dan lebar luka otomatis

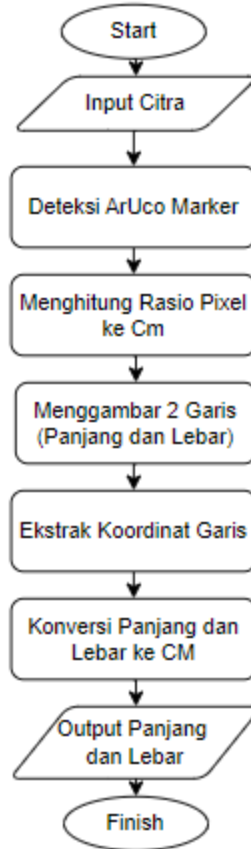
Gambar 4.1 menjelaskan tahapan proses pengukuran panjang dan lebar secara otomatis. Pada pengukuran ini penggunaan *marker* ArUco berfungsi sebagai titik referensi untuk kalibrasi dimensi dalam gambar. Selain itu, pada pengukuran ini dilakukan tahap *preprocessing* gambar yang bertujuan untuk mempersiapkan gambar sebelum dilakukan analisis atau ekstraksi fitur lebih lanjut. Tahap *preprocessing* ini meliputi beberapa langkah penting seperti konversi gambar ke citra *grayscale*, aplikasi *Gaussian blur* untuk mengurangi noise, penggunaan teknik *thresholding* untuk menghasilkan citra biner dan operasi morfologi untuk mempertajam tepi objek dalam gambar. Setelah gambar melalui tahap *preprocessing*, deteksi tepi dengan algoritma *Canny* dilakukan untuk mengidentifikasi kontur area luka yang menjadi fokus pengukuran. Selanjutnya, iterasi dilakukan melalui daftar kontur objek yang telah diidentifikasi sebelumnya dalam gambar. Setiap kontur kemudian digunakan untuk menghitung persegi panjang terkecil yang melingkupi objek tersebut. Dari hasil ini, didapatkan informasi tentang pusat objek, ukuran (lebar dan tinggi), dan sudut rotasi. Selanjutnya, program menggambar kotak yang melingkupi objek menggunakan sudut-sudut yang dihitung sebelumnya dan menambahkan sebuah lingkaran pada titik tengah objek untuk menandai pusatnya. Selain itu, program juga menghitung panjang dan lebar objek dalam satuan sentimeter dengan membagi nilai panjang dan lebar dalam piksel dengan rasio konversi *pixel\_cm\_ratio* yang telah didapatkan sebelumnya.



Gambar 4.1 Flowchart Pengukuran Panjang dan Lebar Otomatis

## 2. Pengukuran panjang dan lebar luka dengan penanda garis

Gambar 4.2 menjelaskan tahapan proses pengukuran panjang dan lebar dengan penanda garis. Pada pengukuran ini, pemrosesan dimulai dengan menginput citra yang akan dianalisis. Gambar ini kemudian diproses untuk mendeteksi *marker ArUco*, yang berfungsi sebagai referensi skala untuk pengukuran. Setelah *marker* terdeteksi, perimeter *marker* dihitung untuk menentukan rasio antara piksel dan sentimeter. Langkah berikutnya adalah menggambar dua garis yang mewakili panjang dan lebar luka pada gambar. Koordinat garis-garis ini kemudian diekstrak dan digunakan untuk menghitung panjang dan lebar luka dalam satuan piksel. Dengan menggunakan rasio yang telah dihitung sebelumnya, ukuran luka dalam piksel dikonversi menjadi satuan cm.



Gambar 4.2 Flowchart Pengukuran Panjang dan Lebar dengan Pemberian Garis

#### 4.1.2 Program Pengukuran Kedalaman Luka

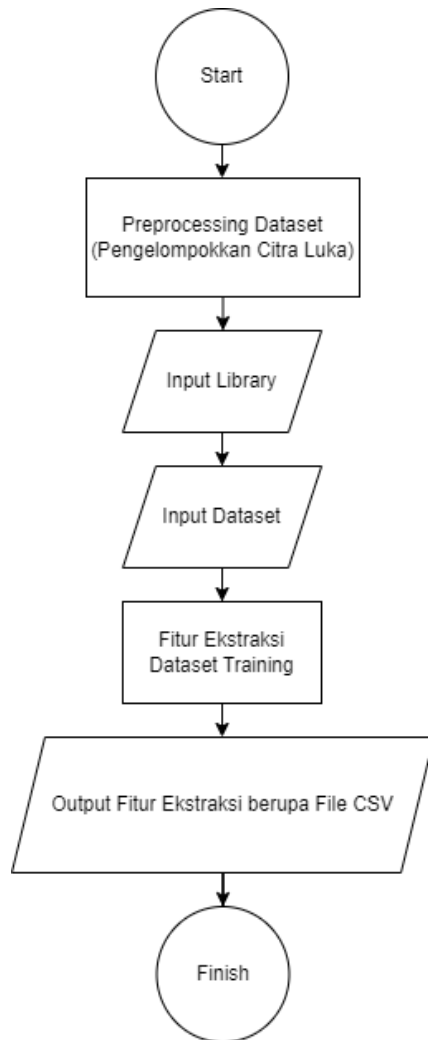
Pada program pengukuran kedalaman luka terbagi menjadi 2 tahapan yaitu tahap *preprocessing* dataset dan tahap pengukuran kedalaman luka. Pada *preprocessing* dataset dilakukan proses *preprocessing data* dan fitur ekstraksi, kemudian pada tahap pengukuran kedalaman luka dilakukan proses klasifikasi dengan menggunakan *machine learning support vector machine* (SVM).

##### 1. *Preprocessing* dataset

Gambar 4.3 merupakan *flowchart* dari program *preprocessing dataset training*. Proses *preprocessing* dataset dilakukan dengan persiapan berupa pengelompokkan citra luka berdasarkan stadiumnya yang terdiri dari stadium 1, 2, 3, dan 4, dimana stadium 1 tidak dianggap dikarenakan bukan termasuk jenis luka terbuka. Didapatkan *data training* yang lolos pengelompokkan luka sebagai berikut:

- Stadium 2: 36 Citra
- Stadium 3: 12 Citra
- Stadium 4: 28 Citra

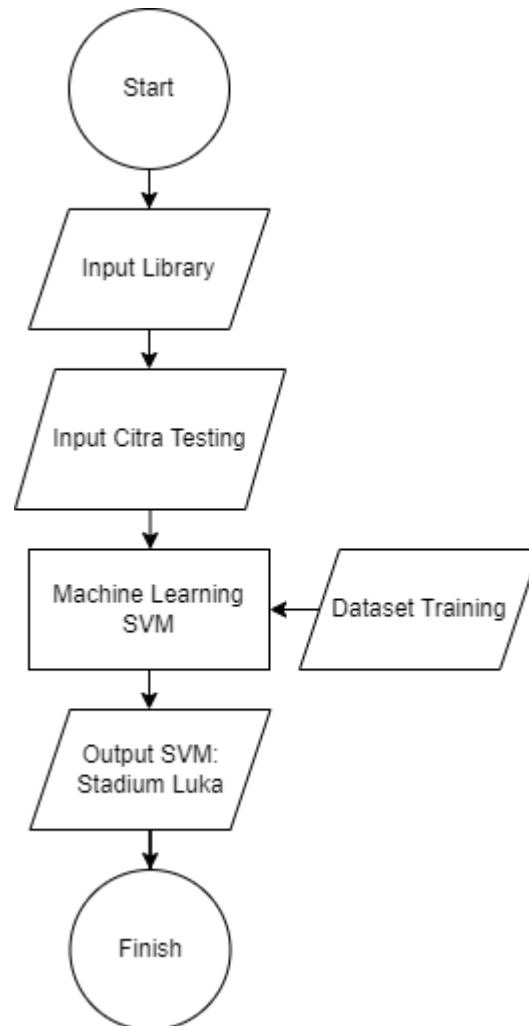
Kemudian dilanjutkan dengan melakukan proses *cropping* pada citra luka dengan tujuan letak objek luka berada ditengah citra sehingga memudahkan ekstraksi nilai warna HSV dan LAB pada bagian tengah citra. Dilakukan penginputan *library* yaitu OpenCV sebagai dasar program pemrosesan *image processing* dan Pandas sebagai analisis data berbentuk *data frame* yang digunakan untuk menyimpan nilai fitur dan kelas pada *data training*. Hasil ekstraksi fitur berupa nilai H, S, L, A, dan B dan kelas stadium 2, 3, dan 4 pada *dataframe* disimpan pada file dengan format .csv sebagai file *dataset training*. Proses *preprocessing* dataset selesai pada tahap ini.



Gambar 4.3 Flowchart Preprocessing Dataset Training

## 2. Pengukuran kedalaman luka

Proses pengukuran kedalaman luka dilakukan dengan memanfaatkan metode *machine learning* SVM. Prosesnya dimulai dengan menginputkan citra luka yang ingin diukur kedalamannya dengan memanfaatkan *library* CV2 yaitu perintah “cv2.imread”, kemudian ditentukan fitur - fitur dari citra tersebut berupa nilai dari parameter HSV dan LAB-nya. Pada dataset *training* citra luka didefinisikan bahwa variabel x merupakan fitur berupa nilai HSV dan LAB serta variabel y merupakan kelas berupa stadium 2, 3, dan 4. Dengan menggunakan *library* sklearn.svm, dilakukan pembelajaran oleh *machine learning* SVM dari dataset *training* tersebut. SVM nantinya dapat melakukan klasifikasi stadium kedalaman luka pada citra yang ingin diukur berdasarkan kemiripan karakteristik dari citra dataset *training*. Gambar 4.4 merupakan flowchart dari program pengukur kedalaman luka



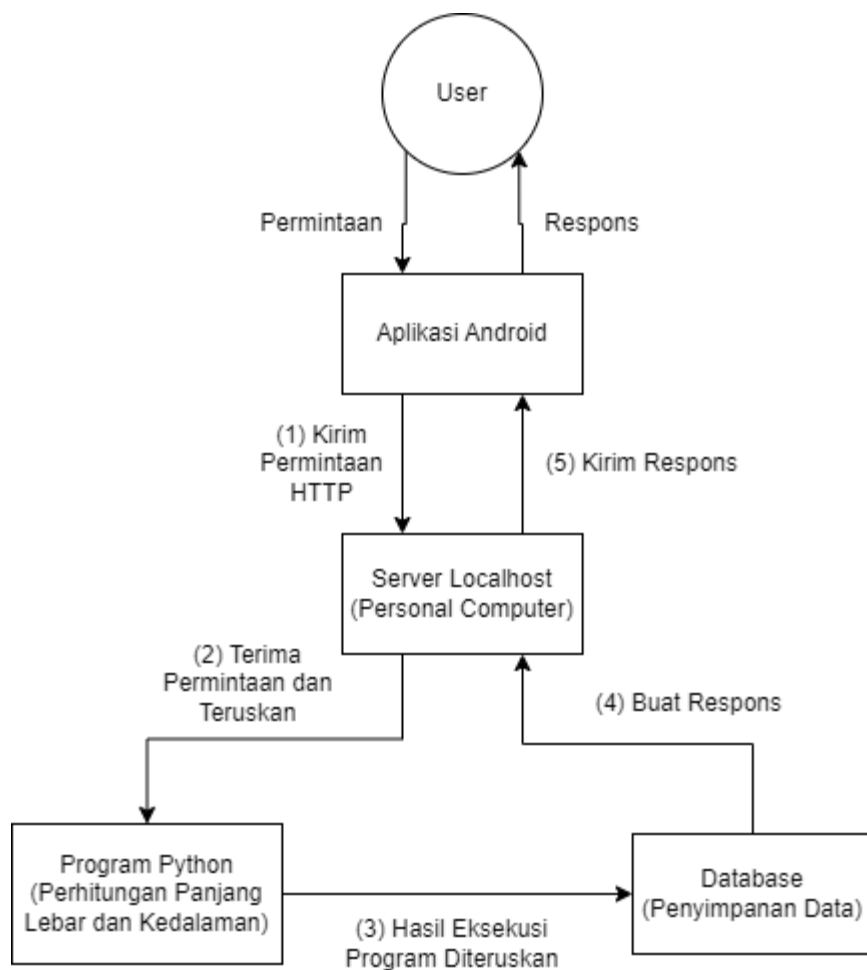
Gambar 4.4 Flowchart Pengukuran Kedalaman Luka

### 4.1.3 Hasil Perancangan Software

- *Software*

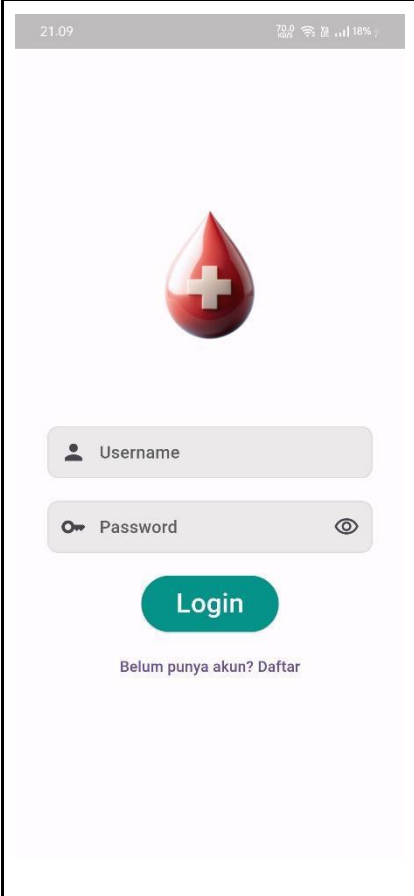
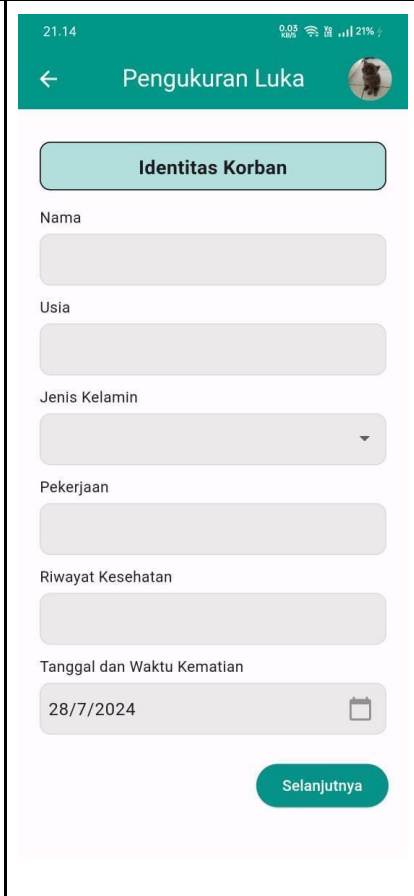
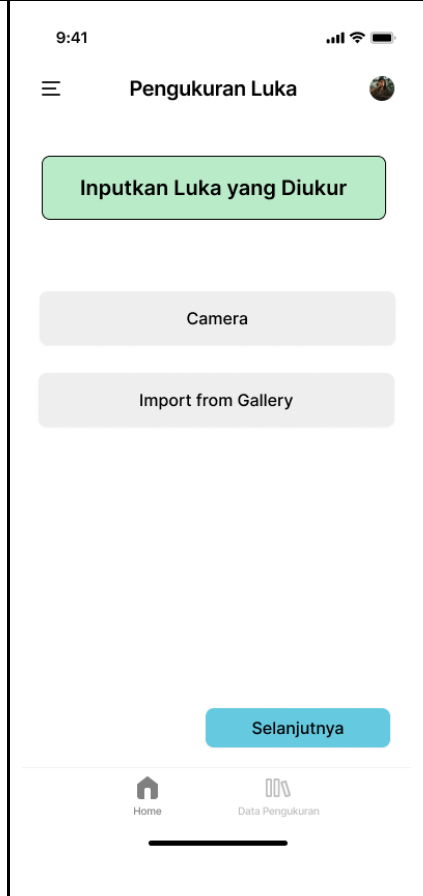
Pada perancangan *software* terdiri dari 3 bagian yaitu aplikasi android, server, dan program python. Pada bagian aplikasi android dirancang dengan menggunakan *framework open source* Flutter dimana bahasa pemrogramannya adalah dart serta memanfaatkan kotlin dalam menulis kode native Android untuk melakukan tugas yang tidak didukung langsung oleh Flutter. Pada bagian server digunakan server berjenis *localhost* yaitu dengan merubah PC (*personal computer*) menjadi *virtual server* dimana *framework* yang digunakan adalah Django. Pada bagian program python digunakan program panjang lebar secara otomatis, program panjang lebar secara garis, dan program kedalaman dimana *library* yang digunakan adalah opencv, pandas, sklearn.svm, dan object\_detector.

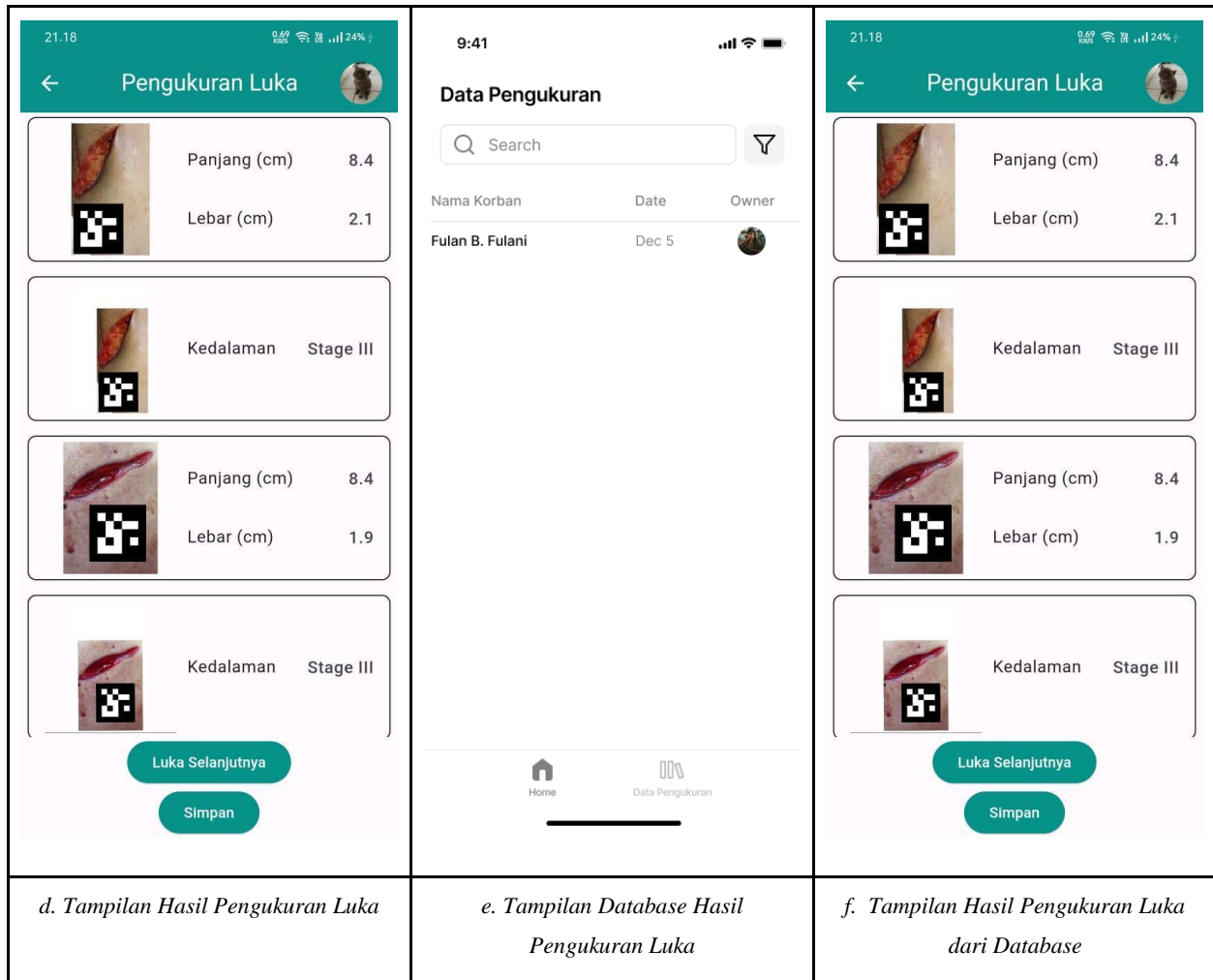
Proses sistem android – server diawali dengan bagian *front end* yaitu aplikasi *user* gunakan. Aplikasi mengirimkan permintaan ke server lokal melalui HTTP/HTTPS. Server lokal menerima permintaan dan meneruskannya ke program Python (bagian *back end*) yang dijalankan di *virtual server*. Program Python memproses permintaan dan menghasilkan respons yang diperlukan berupa nilai panjang, lebar, dan kedalaman luka. Hasil eksekusi program disimpan pada database, kemudian server lokal mengirimkan respons tersebut kembali ke aplikasi Android. Terakhir aplikasi Android menerima respons dan memproses data pengukuran yang diterima untuk ditampilkan kepada pengguna. Gambar 4.5 merupakan *flowchart* aplikasi dan server.



Gambar 4.5 Flowchart Aplikasi dan Server

Pada bagian hasil perancangan software ini, disajikan beberapa rancangan tampilan dari aplikasi yang dikembangkan, sebagaimana terlihat pada gambar 4.6. Rancangan-rancangan ini mencakup tampilan *log-in*, tampilan identitas korban, tampilan input citra luka, tampilan hasil pengukuran luka, tampilan *database* hasil pengukuran luka, serta tampilan hasil pengukuran luka dari *database*. Setiap tampilan dirancang dengan tujuan untuk memudahkan pengguna dalam mengakses dan mengelola data korban serta hasil pengukuran luka secara efektif dan efisien

		
<p><i>a. Tampilan Log-in</i></p>	<p><i>b Tampilan Identitas Korban</i></p>	<p><i>c. Tampilan Input Citra Luka</i></p>



Gambar 4.6 Tampilan Software

● **Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Otomatis**

Tabel 4.1 menampilkan dan menjelaskan kode program yang digunakan pada pengukuran panjang dan lebar luka otomatis. Program ini mengukur panjang dan lebar luka secara otomatis menggunakan bantuan modul OpenCV, Numpy, dan HomogeneousBgDetector. Program mendeteksi objek dalam gambar, mengonversi ke *grayscale*, menerapkan *adaptive threshold*, dan menghitung ukuran objek berdasarkan rasio piksel ke sentimeter yang ditentukan oleh *ArUco marker*.

Tabel 4.1 Pembahasan Program Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Otomatis

Kode Program	Penjelasan
<pre> 1 import cv2 2 import numpy as np 3 from object_detector import HomogeneousBgDetector </pre>	<p>Menginput pustaka OpenCV dan Numpy yang diperlukan untuk pemrosesan gambar, serta modul Homogeneous BgDetector untuk mendeteksi objek dengan latar belakang homogen.</p>
<pre> class HomogeneousBgDetector():     def __init__(self):         pass      def detect_objects(self, frame):         # Convert image to grayscale         gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)          # Create a Mask with adaptive threshold         mask = cv2.adaptiveThreshold(gray, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C, cv2.THRESH_BINARY_INV, 19, 5)          # Find contours         contours, _ = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)          #cv2.imshow("mask", mask)         objects_contours = [] </pre>	<p>Metode utama dalam modul HomogeneousBgDetector yaitu <i>detect objects</i>, mengonversi gambar input ke dalam format <i>grayscale</i>, kemudian menerapkan <i>adaptive threshold</i> untuk membuat <i>mask</i> biner. Setelah itu, kontur objek pada <i>mask</i> biner ditemukan dan di filter berdasarkan luasnya.</p>
<pre> # Load Aruco detector parameters = cv2.aruco.DetectorParameters() aruco_dict = cv2.aruco.getPredefinedDictionary(cv2.aruco.DICT_5X5_50)  # Sesuaikan parameter deteksi jika diperlukan parameters.adaptiveThreshConstant = 7 parameters.minMarkerPerimeterRate = 0.03 parameters.maxMarkerPerimeterRate = 4.0 </pre>	<p>Pada bagian ini, parameter deteksi untuk <i>ArUco marker</i> diatur dan kamus ArUco yang sesuai dimuat. Beberapa parameter deteksi seperti <i>adaptiveThreshConstant</i>, <i>minMarkerPerimeterRate</i>, dan <i>maxMarkerPerimeterRate</i> disesuaikan untuk mengoptimalkan deteksi <i>marker</i></p>
<pre> # Create ArucoDetector object aruco_detector = cv2.aruco.ArucoDetector(aruco_dict, parameters) corners, ids, rejectedImgPoints = aruco_detector.detectMarkers(gray)  print(f"Corners: {corners}") print(f"IDs: {ids}") print(f"Rejected: {rejectedImgPoints}") </pre>	<p>Pada bagian ini perimeter <i>ArUco</i> dihitung dan digunakan untuk menentukan rasio piksel ke centimeter (cm), yang akan digunakan dalam pengukuran selanjutnya.</p>
<pre> # Convert to grayscale for wound detection img_wound_gray = cv2.cvtColor(img_no_aruco, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  # Bluring Image blurImage = cv2.GaussianBlur(img_wound_gray, (15, 15), 0)  # Threshold Image imw = cv2.threshold(blurImage, 60, 255, cv2.THRESH_BINARY)[1]  # Teknik Opening (Erosi-Dilatasi) Image kernel = np.ones((5, 5), np.uint8) opening = cv2.morphologyEx(imw, cv2.MORPH_OPEN, kernel)  # Edge Detection Canny Image canny = cv2.Canny(opening, 100, 200)  # Dilatasi Edge Image kernel = np.ones((3, 3), np.uint8) dilatasi = cv2.dilate(canny, kernel, iterations=1)  # Mewarnai Bagian dalam Edge Image contours, _ = cv2.findContours(dilatasi, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE) </pre>	<p>Pada bagian ini dilakukan tahap <i>preprocessing</i>, yang meliputi beberapa langkah penting seperti konversi gambar ke citra <i>grayscale</i>, aplikasi <i>Gaussian blur</i> untuk mengurangi noise, penggunaan teknik <i>thresholding</i> untuk menghasilkan citra biner dan operasi morfologi untuk mempertajam tepi objek dalam gambar</p>

<pre> # Deteksi objek di gambar luka detector = HomogeneousBgDetector() contours = detector.detect_objects(imn) print(contours)  # Draw objects boundaries for cnt in contours:     # Get rect     rect = cv2.minAreaRect(cnt)     (x, y), (w, h), angle = rect     box = cv2.boxPoints(rect)     box = np.int0(box)  # Konversi panjang dan lebar dari piksel ke cm w_cm = round(w / pixel_cm_ratio, 1) h_cm = round(h / pixel_cm_ratio, 1) </pre>	<p>Pada bagian ini objek pada gambar luka dideteksi menggunakan Homogeneous BgDetector. Batas objek yang terdeteksi digambar, dan dimensi panjang dan lebar dalam cm diukur berdasarkan rasio piksel ke cm yang telah dihitung sebelumnya.</p>
<pre> # Membuat panjang dan lebar terbalik jika panjang lebih kecil dari lebar Panjang = w_cm Lebar = h_cm  if Panjang &lt; Lebar:     Panjang, Lebar = Lebar, Panjang print("Panjang:", Panjang) print("Lebar :", Lebar) </pre>	<p>Mengatur variabel panjang dan lebar berdasarkan hasil pengukuran, untuk memastikan bahwa nilai kedua variabel tersebut tidak tertukar.</p>

- **Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Penanda Garis**

Tabel 4.2 menampilkan dan menjelaskan kode program yang digunakan pada pengukuran panjang dan lebar luka dengan penanda garis. Program ini mengukur panjang dan lebar luka dengan deteksi *ArUco marker* dan input pengguna. Setelah mengkonversi gambar ke *grayscale* dan mendeteksi *marker*, pengguna dapat menggambar garis pada gambar untuk mengukur panjang dan lebar luka, yang kemudian dikonversi ke centimeter.

Tabel 4.2 Pembahasan Program Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Penanda Garis

Kode Program	Penjelasan
<pre>import cv2 import numpy as np  # Fungsi untuk menghitung panjang garis def calculate_line_length(x1, y1, x2, y2):     length = np.sqrt((x2 - x1)**2 + (y2 - y1)**2)     return length  # Fungsi untuk menggambar garis dan mendapatkan koordinatnya drawing = False # true jika mouse sedang digerakkan ix, iy = -1, -1 # koordinat awal  lines = [] # menyimpan koordinat garis yang digambar  # Fungsi untuk menggambar garis pada gambar def draw_line(event, x, y, flags, param):     global ix, iy, drawing, img, lines</pre>	<p>Mengimpor <i>library</i> OpenCV dan NumPy, menginisialisasi variabel, serta mendefinisikan fungsi dasar untuk menghitung panjang garis dan menggambar garis berdasarkan input pengguna.</p>
<pre># Load Aruco detector parameters = cv2.aruco.DetectorParameters() aruco_dict = cv2.aruco.getPredefinedDictionary(cv2.aruco.DICT_5X5_50)  # Sesuaikan parameter deteksi jika diperlukan parameters.adaptiveThreshConstant = 7 parameters.minMarkerPerimeterRate = 0.03 parameters.maxMarkerPerimeterRate = 4.0  # Load Image img_path = "Desain tanpa judul (7).jpg" # Ganti dengan jalur gambar Anda img = cv2.imread(img_path)</pre>	<p>Menyiapkan parameter untuk deteksi <i>ArUco</i>, memilih kamus <i>ArUco</i> dan memuat gambar</p>
<pre># Convert image to grayscale gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  # Create ArucoDetector object aruco_detector = cv2.aruco.ArucoDetector(aruco_dict, parameters) corners, ids, rejectedImgPoints = aruco_detector.detectMarkers(gray)</pre>	<p>Mengkonversi gambar ke <i>grayscale</i> dan mendeteksi <i>marker ArUco</i></p>
<pre># Ensure at least one marker is detected if ids is not None:     # Draw polygon around the marker     int_corners = np.array(corners, dtype=np.intp)     cv2.polylines(img, int_corners, True, (0, 255, 0), 5)      # Aruco Perimeter     aruco_perimeter = cv2.arcLength(corners[0], True)      # Pixel to cm ratio     pixel_cm_ratio = aruco_perimeter / 20     print(f"Pixel to cm ratio: {pixel_cm_ratio}")</pre>	<p>Menggambar poligon di sekitar <i>marker</i> dan menghitung parameter <i>marker</i> serta rasio piksel ke cm.</p>

<pre># Display the image and set the mouse callback function cv2.namedWindow('image') cv2.setMouseCallback('image', draw_line)  print("Gambar slap. Gambarlah dua garis untuk panjang dan lebar luka.")  # Display the image until two lines are drawn while True:     cv2.imshow('image', img)     if len(lines) &gt;= 2:         break     if cv2.waitKey(20) &amp; 0xFF == 27:         break</pre>	<p>Menampilkan gambar dan menangani input pengguna untuk menggambar garis yang digunakan untuk mengukur panjang dan lebar luka.</p>
<pre># Menghitung panjang dan lebar luka berdasarkan garis yang digambar length_pixels = calculate_line_length(x1_length, y1_length, x2_length, y2_length) width_pixels = calculate_line_length(x1_width, y1_width, x2_width, y2_width)  # Konversi panjang dan lebar dari piksel ke cm length_cm = length_pixels / pixel_cm_ratio width_cm = width_pixels / pixel_cm_ratio</pre>	<p>Menghitung panjang dan lebar luka dalam piksel dan mengkonversinya ke cm.</p>

### ● Pengukuran Kedalaman Luka

Tabel 4.3 menampilkan dan menjelaskan kode program yang digunakan pada pengukuran kedalaman luka. Program ini mengukur kedalaman luka menggunakan *machine learning*. Dengan OpenCV untuk pemrosesan gambar dan SVM untuk prediksi, program ini mengekstrak fitur dari ruang warna HSV dan LAB, lalu menggunakan model SVM terlatih untuk memprediksi kedalaman luka berdasarkan karakteristik citra.

Tabel 4.3 Pembahasan Program Pengukuran Kedalaman Luka dengan Penanda Garis

Kode Program	Penjelasan
<pre>1 #Library 2 import cv2 3 import pandas as pd 4 from sklearn.svm import SVC</pre>	<p>Melakukan penginputan <i>library</i> yang akan digunakan yaitu openCV untuk pengolahan gambar, sklearn.SVM untuk <i>machine learning</i> SVM, dan pandas untuk <i>preprocessing</i> data</p>

<pre> 6 #Fungsi mencari fitur HSV dan LAB pada citra 7 def feature_extractor(dataset): 8     image_dataset = pd.DataFrame() 9     for image in dataset: 10        df = pd.DataFrame() 11 12        #Memastikan citra benjarnis RGB 13        if len(image.shape) == 2 or image.shape[2] == 1: 14            image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_GRAY2RGB) 15 16        #Konversi RGB to HSV dan LAB 17        hsv_img = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2HSV) 18        lab_img = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2LAB) 19 20        #Alat Kalkulasi dibagian tengah citra 21        height, width, _ = hsv_img.shape 22        center = (width // 2, height // 2) 23 24        #Peggunaan alat untuk mengekstrak HSV dan LAB ditengah citra 25        hsv_value = hsv_img[center[1], center[0]] 26        hue = hsv_value[0] 27        saturation = hsv_value[1] 28 29        middle_pixel_lab = lab_img[center[1], center[0]] 30        l_value, a_value, b_value = middle_pixel_lab 31 32        #Input nilai HSV dan LAB pada dataframe 33        df['HUE'] = [hue] 34        df['Saturation'] = [saturation] 35 36        df['L'] = [l_value] 37        df['A'] = [a_value] 38        df['B'] = [b_value] 39 40        image_dataset = pd.concat([image_dataset, df], ignore_index=True) 41 42    return image_dataset </pre>	<p>Membuat fungsi untuk melakukan perintah fitur ekstraksi terhadap ruang warna HSV dan LAB pada citra luka di wilayah tengah luka</p>
<pre> 43 #Fitur HSV dan LAB 44 df = pd.read_csv("D:/Kuliah/Semester 8/TA 2/DIT1/Kedokteran/Progres 9_(Color and Machine Learning Part 5 END)/Data_train.csv") 45 46 #Fitur HSV dan LAB pada citra 47 x = df[['Stage', 'HUE']] 48 y = df['Stage'] 49 50 # Training SVM model 51 svm = svm(kernel='linear') 52 svm.fit(x, y) </pre>	<p>Model SVM diinputkan dataset 76 data <i>training</i> yang sudah diberikan kelas sebagai media pembelajaran</p>
<pre> 53 #Fitur HSV dan LAB pada citra 54 imga = cv2.imread("D:/Kuliah/Semester 8/TA 2/DIT1/Kedokteran/Progres 9_(Color and Machine Learning Part 5 END)/DATA.jpg", 1) </pre>	<p>Melakukan penginputan citra luka yang ingin diukur kedalamannya</p>
<pre> 58 #Mengekstrak fitur HSV dan LAB pada citra 59 test_dataset = [imga] 60 x_test = feature_extractor(test_dataset) 61 62 #Memprediksi stage kedalaman luka 63 y_test = svm.predict(x_test) 64 print(y_test) </pre>	<p>Model SVM melakukan prediksi stadium luka berdasarkan karakteristik data <i>training</i></p>

## 4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

### 4.2.1 Akurasi dan *Error Rate*

Parameter utama yang akan diukur pada pengukuran panjang dan lebar luka adalah akurasi pengukuran. Akurasi mengacu pada seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi yang dianggap akurat. Akurasi menggambarkan tingkat ketepatan atau kebenaran hasil yang diberikan oleh suatu alat atau metode pengukuran. Pengukuran yang akurat akan memberikan hasil yang mendekati nilai yang sebenarnya dengan tingkat ketepatan yang tinggi.

Sedangkan *error rate* dalam konteks pengukuran adalah perbedaan antara nilai yang diukur dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi yang dianggap akurat. *Error* mengindikasikan seberapa jauh hasil pengukuran dari alat atau metode tertentu dari nilai yang sebenarnya. *Error*

dapat terjadi karena berbagai faktor, termasuk kesalahan sistematis yang konsisten, kesalahan acak yang tidak dapat diprediksi, atau kesalahan manusia dalam melakukan pengukuran.

$$Akurasi = 100\% - Error Rate \quad (3)$$

$$Error Rate = \frac{Nilai Terukur - Nilai Aktual}{Nilai Aktual} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.2.2 Precision, Recall, dan F1 Score

- *Precision*

*Precision* adalah perbandingan antara jumlah prediksi positif yang benar dengan seluruh hasil yang diprediksi sebagai positif. Komponen kinerja ini dapat menjawab pertanyaan “berapa persen luka yang benar diprediksi stadium 2 dari keseluruhan luka yang diprediksi stadium 2?”. *Precision* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 3.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

- *Recall* (Sensitivitas)

*Recall* adalah perbandingan antara jumlah prediksi positif dengan seluruh data yang benar positif. Komponen kinerja ini dapat menjawab pertanyaan “berapa persen luka yang diprediksi stadium 2 dibandingkan keseluruhan luka yang benar stadium 2?”. *Recall* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 4.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

- *F1 Score*

*F1 Score* adalah rasio rata - rata antara nilai *precision* dan *recall*. *F1 Score* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 5.

$$F1 Score = 2 \times \frac{Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (7)$$

## BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

### 5.1. Analisis Hasil

#### 5.1.1 Hasil dan Analisis Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Otomatis

Tabel 5.1 menunjukkan hasil pengukuran panjang dan lebar luka secara otomatis dengan penggunaan *ArUco marker* sebagai objek referensi dan algoritma *Canny* sebagai *object detection*. Pengukuran dilakukan untuk mengukur dua parameter utama, yaitu panjang dan lebar luka. Untuk setiap pengukuran, dilakukan pengukuran *error rate* dan akurasi sebagai indikator performa.

*Tabel 5.1 Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Otomatis*

No	Panjang Aktual	Panjang Terukur	Error Rate	Akurasi	Lebar Aktual	Lebar Terukur	Error Rate	Akurasi
1	8	8,4	5%	95%	2,5	2,1	16%	84%
2	8	8,4	5%	95%	1,7	1,9	12%	88%
3	5	5,3	6%	94%	3	2,8	7%	93%
4	1,5	1,5	0%	100%	1	0,8	20%	80%
5	2	2,2	10%	90%	0,7	0,8	14%	86%
6	2	2,4	20%	80%	0,5	0,8	60%	40%
7	4	4	0%	100%	1	1,3	30%	70%
8	4	3,9	3%	98%	2	1,9	5%	95%
9	5	4,4	12%	88%	1,5	1,3	13%	87%
10	1,5	1,6	7%	93%	1	1,2	20%	80%
	Rata-Rata		<b>7%</b>	<b>93%</b>	Rata-Rata		<b>20%</b>	<b>80%</b>

Dari 10 data yang digunakan dalam pengujian ini, tujuh luka berjenis luka terbuka dan tiga luka berjenis luka tekan. Lokasi luka bervariasi, termasuk di dada, dagu, siku, dan paha. Semua luka awalnya diukur menggunakan penggaris, dan hasilnya dijadikan sebagai nilai aktual. Sedangkan luka yang diukur secara otomatis menggunakan *ArUco marker* sebagai objek referensi dan algoritma *Canny* untuk deteksi objek, hasilnya dijadikan sebagai nilai terukur. Rata-rata pengukuran dari kedua evaluator digunakan untuk evaluasi data. Hasil dari kedua teknik tersebut kemudian ditabulasi dan dibandingkan.

Rata-rata *error rate* untuk pengukuran panjang luka adalah sebesar 7%. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi panjang luka melalui metode otomatis umumnya mendekati nilai aktual, dengan kesalahan relatif kecil. Dengan kata lain, rata-rata akurasi untuk pengukuran panjang luka adalah sebesar 93%, menunjukkan performa yang tinggi dan keandalan metode otomatis yang digunakan.

Rata-rata *error rate* untuk pengukuran lebar luka adalah sekitar 20%. Ini menunjukkan bahwa prediksi lebar luka melalui metode otomatis memiliki tingkat kesalahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran panjang. Rata-rata akurasi untuk pengukuran lebar luka adalah sekitar 80%, yang masih menunjukkan tingkat keandalan yang cukup baik meskipun ada ruang untuk perbaikan.

Secara keseluruhan, metode otomatis menggunakan *ArUco* dan deteksi objek luka dengan algoritma *Canny* menunjukkan performa yang baik dalam mengukur panjang luka, dengan rata-rata *error rate* yang rendah dan akurasi yang tinggi. Namun, untuk pengukuran lebar luka, performa sedikit menurun dengan *error rate* yang lebih tinggi dan akurasi yang lebih rendah dibandingkan pengukuran panjang.

Performa yang tinggi dalam pengukuran panjang luka menunjukkan bahwa metode *ArUco* dan deteksi objek luka bekerja efektif dalam mendeteksi batas-batas luka dan mengukur dimensi panjang dan lebarnya. Namun, metode ini juga memiliki batasan terkait jenis dan kondisi luka yang dapat diukur secara optimal. Dimana metode ini akan menghasilkan pengukuran yang optimal pada luka berjenis luka terbuka dan luka tekan. Selain itu, metode ini juga baru bisa mengukur luka pada objek luka tunggal, bukan pada objek luka yang terdiri dari gabungan beberapa objek luka yang lebih kecil.

### 5.1.2 Hasil dan Analisis Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Penanda Garis

Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengukuran panjang dan lebar luka dengan penanda garis dan *ArUco marker* sebagai objek referensi. Pengukuran dilakukan untuk mengukur dua parameter utama, yaitu panjang dan lebar luka. Untuk setiap pengukuran, dilakukan pengukuran *error rate* dan akurasi sebagai indikator performa.

Tabel 5.2 Pengukuran Panjang dan Lebar Luka dengan Penanda Garis

No	Panjang Aktual	Panjang Terukur	Error Rate	Akurasi	Lebar Aktual	Lebar Terukur	Error Rate	Akurasi
1	8	7,36	8%	92%	2	2,01	0%	100%
2	1,05	1,17	11%	89%	0,85	0,82	4%	96%
3	2,9	2,75	5%	95%	1,3	1,26	3%	97%
4	4	3,8	5%	95%	2,2	2,28	4%	96%
5	1,2	1,18	2%	98%	1,15	1,14	1%	99%
6	1,9	1,88	1%	99%	1,1	1,1	0%	100%
7	1,25	1,21	3%	97%	0,95	1	5%	95%
8	1,75	1,67	5%	95%	1,1	0,98	11%	89%
9	13,5	13,05	3%	97%	4,1	4,14	1%	99%
10	1,6	1,53	4%	96%	0,7	0,66	6%	94%
11	1,3	1,21	7%	93%	0,057	0,05	12%	88%
12	0,85	0,93	9%	91%	0,75	0,8	7%	93%
13	5	4,77	5%	95%	3	3,16	5%	95%

14	2,6	2,8	8%	92%	2,6	2,62	1%	99%
15	1,3	1,21	7%	93%	1,5	1,3	13%	87%
16	1,5	1,5	0%	100%	0,95	0,84	12%	88%
17	1,35	1,45	7%	93%	0,17	0,15	12%	88%
18	6,1	6,62	9%	91%	1,7	1,8	6%	94%
19	2,1	2,16	3%	97%	1,3	1,21	7%	93%
20	3	3,02	1%	99%	1	1,09	9%	91%
21	8	8,12	1%	99%	2,5	2,08	17%	83%
22	8	8,17	2%	98%	1,7	1,71	1%	99%
23	5	5,07	1%	99%	3	2,78	7%	93%
24	1,5	1,52	1%	99%	1	0,97	3%	97%
25	2	2	0%	100%	0,7	0,65	7%	93%
26	2	2,07	3%	97%	0,5	0,48	4%	96%
27	4	3,84	4%	96%	1	1,09	9%	91%
28	4	4,18	4%	96%	2	1,77	12%	89%
29	5	4,85	3%	97%	1,5	1,35	10%	90%
30	1,5	1,38	8%	92%	1	0,94	6%	94%

	Rata-Rata	4%	96%	Rata-Rata	6%	94%
--	-----------	----	-----	-----------	----	-----

Rata-rata *error rate* sebesar 4% menunjukkan bahwa metode ini memberikan hasil prediksi panjang luka yang sangat mendekati nilai aktual. Dengan rata-rata akurasi 96%, metode ini dapat dianggap sangat andal untuk pengukuran panjang luka. Penggunaan garis yang digambar oleh pengguna memberikan hasil yang cukup akurat, meskipun ada sedikit variasi yang mungkin disebabkan oleh ketepatan pengguna dalam menggambar garis.

Rata-rata *error rate* untuk pengukuran lebar luka adalah sekitar 6%. Ini menunjukkan bahwa prediksi lebar luka melalui metode otomatis memiliki tingkat kesalahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran panjang. Rata-rata akurasi untuk pengukuran lebar luka adalah sekitar 94%, yang masih menunjukkan tingkat keandalan yang cukup baik meskipun ada ruang untuk perbaikan.

Penggunaan garis sebagai penanda panjang dan lebar luka pada metode ini, selain mengatasi batasan yang terdapat pada metode otomatis yaitu terkait objek deteksi yang terbatas pada jenis dan kondisi luka tertentu, penggunaan garis ini juga memberikan keleluasaan kepada pengguna atau tenaga ahli forensik dalam melakukan pengukuran. Hal ini diperlukan karena saat ini belum ada standar baku yang digunakan dalam pengukuran luka, sehingga pengukuran luka sepenuhnya bergantung pada perspektif tenaga ahli forensik. Misalnya, terkadang 2 buah luka atau lebih akan diukur sebagai satu kesatuan dan terkadang 2 buah luka atau lebih tersebut akan diukur masing-masing sebagai objek yang terpisah.

Dengan adanya fitur penambahan garis pada metode ini dapat memberikan akurasi yang lebih tepat dan membuatnya lebih fleksibel karena tim forensik dapat mengukur luka sesuai keinginan, baik itu posisi pengukuran luka atau keputusan penggabungan atau pemisahan luka.

### 5.1.3 Hasil dan Analisis Pengujian Pengukuran Kedalaman

Metode ekstraksi fitur HSV dan LAB diaplikasikan pada data training 76 citra luka. Digunakan 5 parameter dari value ruang warna yaitu nilai HUE, saturation, L, A, dan B sehingga pada 1 citra dihasilkan 5 fitur.

SVM pada program kedalaman dirancang dengan model konfigurasi parameter secara *default* yaitu sebagai berikut:

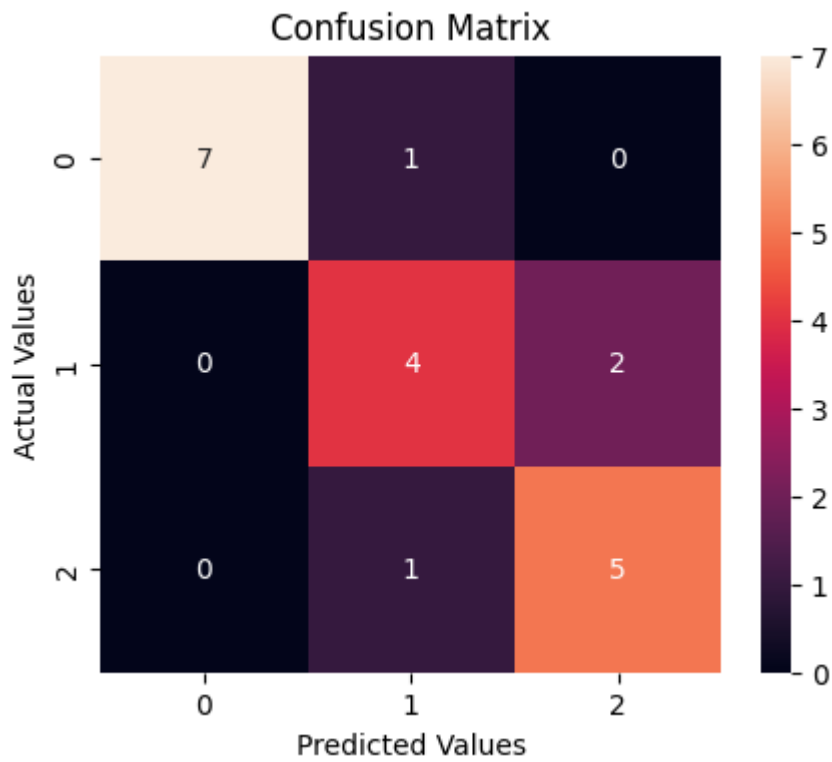
1. Parameter kernel diatur pada nilai linear
2. Parameter C diatur pada nilai 1,0
3. Parameter degree, gamma, coef0 tidak digunakan karena sistem menggunakan kernel linear
4. Parameter probability diatur pada nilai False
5. Parameter shrinking diatur pada nilai True
6. Parameter tol diatur pada nilai 1e-3
7. Parameter class\_weight diatur pada nilai None
8. Parameter verbose diatur pada nilai False
9. Parameter max\_iter diatur pada nilai -1
10. Parameter random\_state diatur pada nilai None

Berdasarkan performa *machine learning* SVM dalam melakukan klasifikasi kedalaman luka yang ditunjukkan pada tabel 5.6 dihasilkan bahwa model SVM yang dirancang memiliki performa sangat baik dikarenakan model tersebut menghasilkan akurasi dan *F1 score* yang tinggi yaitu mencapai 85% akurasi dan 0,94 *F1 score*.

Pada model SVM dilakukan modifikasi konfigurasi parameter C dengan tujuan melakukan peningkatan akurasi dengan mengoptimalkan nilai C sebagai parameter regularisasi yang menentukan seberapa besar sistem dapat menghindari kesalahan klasifikasi pada data pelatihan. Dari berbagai proses *trial* dan *error* dengan range 0,5 hingga 10, didapatkan bahwa nilai *default* parameter C merupakan nilai terbaik dengan akurasi mencapai 85%. Pada C bernilai 0,5 didapatkan akurasi sebesar 80%, pada C bernilai 1,0 didapatkan akurasi sebesar 85%, pada C bernilai 5,0 didapatkan akurasi sebesar 75%, dan pada C bernilai 10,0 didapatkan akurasi sebesar 65%. Dapat dilihat pada tabel 5.3, 5.4, 5.5, dan 5.6 merupakan data komparasi performa dari masing – masing model berdasarkan parameter C yang digunakan.

Tabel 5.3 Hasil Performa Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 0,5$

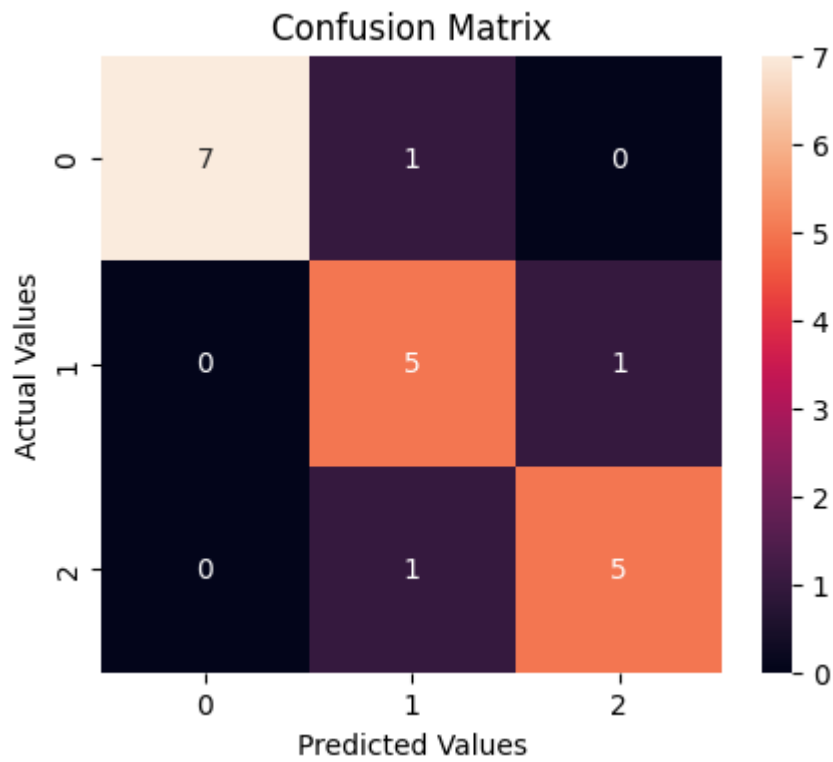
<b>Support Vector Machine (SVM) pada HSV dan LAB</b>				
Akurasi	80%			
Score		F1	Precision	Recall
	Stadium II	0,93	1	0,88
	Stadium III	0,67	0,67	0,67
	Stadium IV	0,77	0,71	0,83



Gambar 5.1 Confusion Matrix Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 0,5$

Tabel 5.4 Hasil Performa Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 1,0$

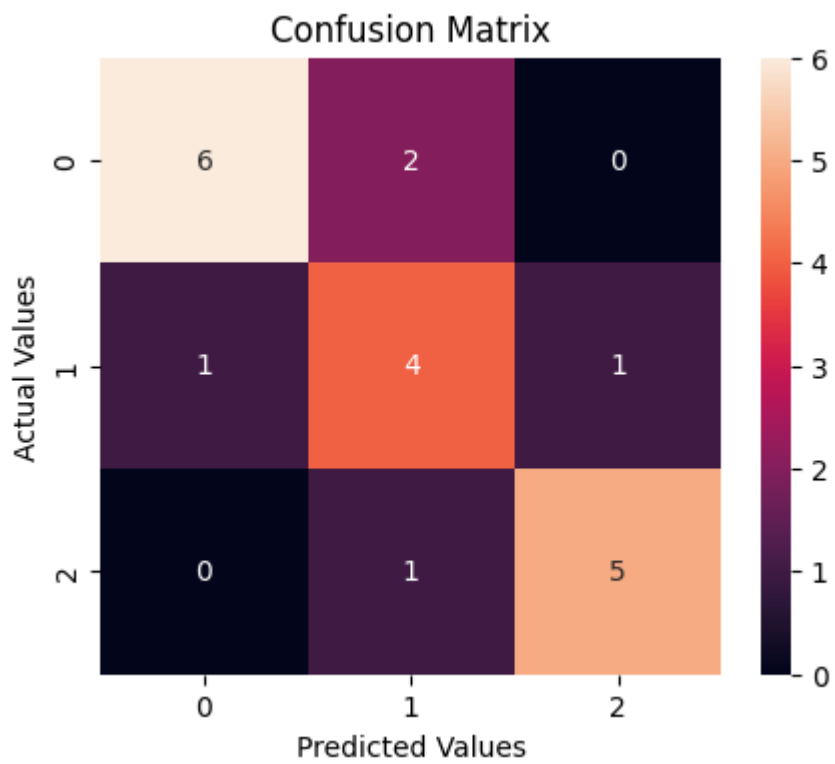
<b>Support Vector Machine (SVM) pada HSV dan LAB</b>				
Akurasi	85%			
Score		F1	Precision	Recall
	Stadium II	0,94	1	0,89
	Stadium III	0,77	0,71	0,83
	Stadium IV	0,8	0,8	0,8



Gambar 5.2 Confusion Matrix Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 1,0$

Tabel 5.5 Hasil Performa Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 5,0$

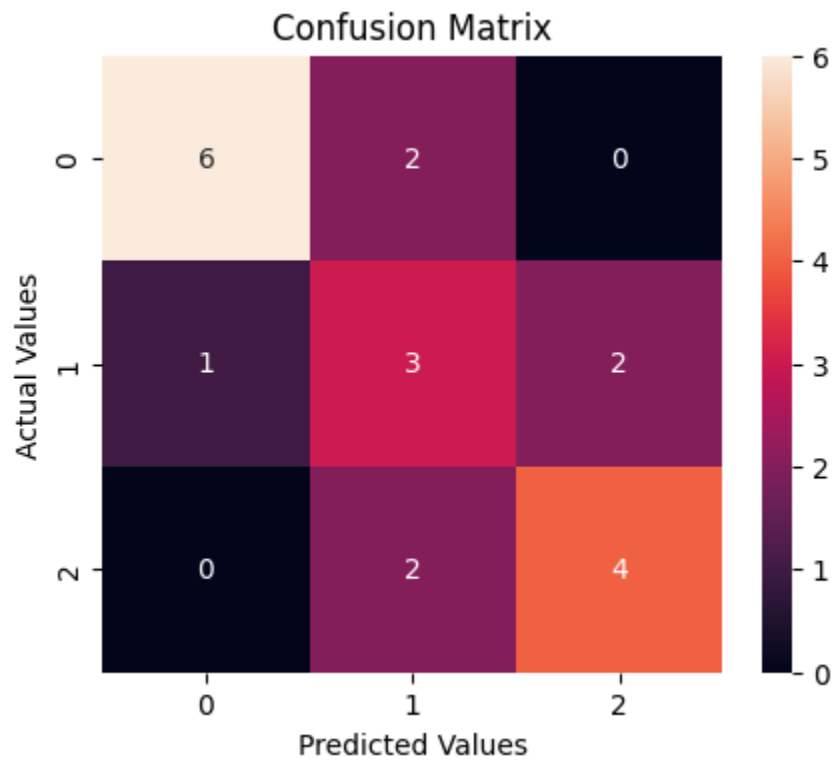
<b>Support Vector Machine (SVM) pada HSV dan LAB</b>				
Akurasi	75%			
Score		F1	Precision	Recall
	Stadium II	0,8	0,86	0,75
	Stadium III	0,62	0,57	0,67
	Stadium IV	0,83	0,83	0,83



Gambar 5.3 Confusion Matrix Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 5,0$

Tabel 5.6 Hasil Performa Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 10,0$

<b>Support Vector Machine (SVM) pada HSV dan LAB</b>				
Akurasi	65%			
Score		F1	Precision	Recall
	Stadium II	0,8	0,86	0,75
	Stadium III	0,46	0,43	0,5
	Stadium IV	0,67	0,67	0,67



Gambar 5.4 Confusion Matrix Machine Learning SVM pada Pengukuran Kedalaman  $C = 10,0$

Model *machine learning* SVM pada sistem pengukuran kedalaman luka menghasilkan akurasi tertinggi sebesar 85% yang berarti model ini dapat memprediksi secara benar sebanyak 85% dari 20 data uji. Sebagai representasi keakuratan sistem dalam memprediksi kedalaman luka, digunakan *confusion matrix* model dengan parameter C bernilai 1,0 yang dapat dilihat pada gambar 5.2. Pada *confusion matrix* terdapat 2 parameter yang digunakan yaitu *actual values* dan *predicted values* dimana label 0 adalah stadium II, label 1 adalah stadium III, dan label 2 adalah stadium IV. Pada prediksi kedalaman stadium II didapatkan 7 prediksi benar dan 1 prediksi salah. Kemudian pada prediksi kedalaman stadium III didapatkan 5 prediksi benar dan 1 prediksi salah. Terakhir pada prediksi kedalaman stadium IV didapatkan 5 prediksi benar dan 1 prediksi salah.

Pada prediksi kedalaman luka stadium II dihasilkan nilai *precision* sebesar 1 dan nilai *recall* sebesar 0,94 sehingga menghasilkan *F1 score* tertinggi sebesar 0,94. Performa tersebut menunjukkan bahwa model sangat baik dalam mengidentifikasi data pada citra stadium II. Pada prediksi kedalaman luka stadium III dihasilkan nilai *precision* sebesar 0,71 dan nilai *recall* sebesar 0,83. Nilai *precision* yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan nilai *recall* sehingga menghasilkan *F1 score* terendah sebesar 0,77. Performa tersebut menunjukkan bahwa model cukup baik dalam mengidentifikasi data pada citra stadium III, tapi masih dapat ditingkatkan lagi dengan menambahkan data *training* citra luka stadium III. Pada prediksi kedalaman luka stadium IV dihasilkan nilai *precision* sebesar 0,8 dan nilai *recall* sebesar 0,8 sehingga menghasilkan *F1 score* sebesar 0,8. Performa tersebut menunjukkan bahwa model sangat konsisten dalam mengidentifikasi data pada citra stadium IV.

#### 5.1.4 Hasil perbandingan performa dengan studi sebelumnya

- **Pengukuran Panjang dan Lebar Luka**

Pada tabel 5.7, dilakukan perbandingan antara beberapa sistem pengukuran yang berbeda untuk menentukan keunggulan dari sistem yang diusulkan. Sistem-sistem yang dibandingkan mencakup metode otomatis dengan *ArUco marker* dan *object detection*, metode *ArUco marker* dengan penanda garis, metode pengukuran luas luka dengan metode DPI, dan sistem pengukuran objek menggunakan *ArUco marker*. Fokus perbandingan adalah pada akurasi pengukuran, fleksibilitas penggunaan, dan aplikasi praktis dari masing-masing sistem. Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan hasil pengukuran luas luka dengan metode DPI. Selain itu, penggunaan

*ArUco marker* sebagai objek referensi dalam sistem yang dibuat memastikan bahwa keluaran panjang dan lebar objek akan tetap konsisten, meskipun objek tersebut difoto dari jarak yang berbeda.

Tabel 5.7 Perbandingan performa antara sistem yang dibuat dengan sistem lain

No	Fitur/ Komponen	Sistem yang dibuat (Metode Otomatis)	Sistem yang dibuat (Metode dengan Penanda Garis)	Sistem Pengukuran Luas Luka dengan Metode DPI[9]	Sistem Pengukuran Objek dengan <i>ArUco marker</i> [16]
1	Akurasi	Akurasi pengukuran panjang luka 93% dan lebar luka 80%	Akurasi pengukuran panjang luka 96% dan lebar luka 94%	Akurasi pengukuran luas luka 78,5%	Akurasi Pengukuran Objek 94%
2	Fleksibilitas	Hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar	Hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar	Hasil pengukuran dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar	Hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar
3	Aplikasi	Pada objek luka	Pada objek luka	Pada objek luka	Pada objek non luka

● **Pengukuran Kedalaman Luka**

Dalam penelitian ini, kami akan melakukan perbandingan performa antara Sistem yang dibuat (Pengukur Kedalaman Luka), *Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space*, dan *Estimation of Face Depth Maps from Color Textures using Canonical Correlation Analysis* untuk mengevaluasi keunggulan dan kelemahan masing-masing. Tabel 5.8 merupakan perbandingan performa antara ketiga sistem tersebut.

Tabel 5.8 Perbandingan performa antara sistem yang dibuat dengan sistem lain

No	Fitur/ Komponen	Sistem yang dibuat (Pengukur Kedalaman Luka)	<i>Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space</i> [14]	<i>Estimation of Face Depth Maps from Color Textures using Canonical Correlation Analysis</i> [13]
1	Akurasi	Akurasi pengukuran kedalaman luka mencapai 85%	Akurasi pengukuran kedalaman luka mencapai 80%	Akurasi pengukuran kedalaman luka mencapai 70%
2	Fleksibilitas	Hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar	Hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar	Hasil pengukuran dipengaruhi oleh jarak pengambilan gambar
3	Aplikasi	Pada objek luka	Pada objek kulit	Pada objek muka
4	Metode	Manipulasi Warna	Manipulasi Warna	Manipulasi Rekonstruksi 3D

### 5.1.5 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Pada usulan sistem awal dan hasil perancangan sistem akhir terdapat ketidaksesuaian pada realisasinya. Pada tabel 5.9 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa usulan spesifikasi yang tidak terealisasikan dan tergantikan oleh usulan lain.

Tabel 5.9 Perbandingan Usulan dan Hasil Perancangan Sistem Pengukuran Dimensi Luka

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Karakteristik Pengukuran	<i>Real time</i> dan <i>Contactless</i>	<i>Real time</i> dan <i>Contactless</i>
2	Output sistem pengukuran	Nilai Metrik: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Panjang</li> <li>● Lebar</li> <li>● Kedalaman</li> </ul>	Nilai Metrik: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Panjang</li> <li>● Lebar</li> </ul> Klasifikasi: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Kedalaman</li> </ul>
3	<i>Device</i>	PC ( <i>Personal Computer</i> ) dan <i>Smartphone</i>	<i>Smartphone</i>
4	Penggunaan Jaringan Internet	<i>Offline</i>	<i>Online</i>

Pada output sistem pengukuran diusulkan bahwa seluruh outputnya berupa nilai metrik yaitu dalam satuan cm pada pengukuran panjang, lebar, dan kedalaman. Tetapi terdapat kendala dimana pada proses pengukuran kedalaman dihasilkan pengukuran yang tidak akurat dengan menggunakan *Deep Learning Marigold Universal Monocular Depth Estimator* sehingga pada pengukuran kedalaman diubah dengan menggunakan klasifikasi berdasarkan warna luka.

Pada sistem pengukuran luka yang diusulkan menggunakan 2 *device* yaitu PC (*Personal Computer*) dan *Smartphone*. Tetapi pada penggunaan PC dikatakan kurang efektif dikarenakan kurang efisien dalam melakukan pengukuran secara *real time*. Diperlukan *webcam* tambahan dan juga laptop agar sistem dapat berjalan, hal ini berbanding terbalik dengan penggunaan *smartphone* yang telah memiliki semua komponen dalam bentuk yang kecil dan ringan.

Pada sistem pengukuran luka yang diusulkan bahwa *software* tidak tersambung dengan internet (*offline*) untuk menghindari kebocoran data korban. Tetapi terdapat kendala dimana pada pengoprasian program python di Android diperlukan server untuk menjalankannya sehingga *software* harus tersambung dengan internet (*online*). Pada realisasinya penggunaan internet hanya dibatasi pada pengoprasian program saja sehingga meminimalkan probabilitas kebocoran data korban.

### 5.1.6 Pengalaman Pengguna

Tabel 5.10 merangkum hasil pengalaman pengguna terhadap sistem pengukuran dimensi luka yang telah dikembangkan. Dalam tabel ini, terdapat beberapa komponen utama yang dievaluasi, yaitu fungsi sistem, kemudahan penggunaan, dan keamanan data. Setiap komponen dijelaskan capaian yang telah diraih serta aksi atau perbaikan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga mudah digunakan dan aman bagi pengguna, khususnya dalam konteks pengelolaan data medis yang sensitif.

Tabel 5.10 Pengalaman Pengguna Sistem Pengukuran Dimensi Luka

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Fungsi Sistem	Fungsi sebagai sistem pengukur dimensi luka bekerja dengan baik dan hasil	Metode pengukuran panjang dan lebar luka ditambah menjadi 2 metode yaitu metode pengukuran

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
		pengukurannya dapat ditampilkan ke pengguna. Tetapi terdapat masalah pada pengukuran panjang dan lebar luka yaitu pada luka dengan dimensi kecil tidak dapat terdeteksi oleh sistem	otomatis (deteksi objek luka) dan metode pengukuran manual (tarik garis luka)
2	Kemudahan Penggunaan	Pengoperasian aplikasi dikatakan mudah karena sudah memiliki <i>workflow</i> dan UI aplikasi yang mudah dimengerti	Dipertahankan
3	Keamanan Data	Keamanan data pada aplikasi sudah cukup baik karena data korban tersimpan secara lokal, tetapi masih kurang aman dikarenakan harus tersambung dengan internet	Ditambahkan fitur <i>login</i> berupa <i>id</i> dan <i>password</i> dari <i>user</i> (dokter forensik)

### 5.1.7 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pada realisasi perencanaan pembuatan sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik terjadi beberapa perubahan mulai dari jadwal dan RAB dikarenakan adanya beberapa *barrier* berupa *problem* yang muncul pada saat pembuatan sistem dan faktor eksternal lainnya. Tabel 5.11 dan tabel 5.13 merupakan rincian perubahan jadwal pengerjaan tugas akhir 2. Tabel 5.12 merupakan rincian perubahan biaya yang dikeluarkan saat pengerjaan tugas akhir 2.

Tabel 5.11 Kesesuaian antara Usulan dan Realisasi Timeline Pengerjaan Tugas Akhir 2

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian perangkat (lunak dan keras) yang dibutuhkan oleh sistem	Desember - Januari	Juni - Juli
2	Melakukan proses perancangan sesuai dengan struktur di	Desember - Mei	Januari - Juni

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
	proposal Tugas Akhir 1		
3	Melakukan testing dan validasi	April - Juni	April - Juni
4	Pengumpulan Tugas Akhir 2 dan melakukan Expo Tugas Akhir 2	Mei - Juni	Juli

Tabel 5.12 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara Usulan dan Realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
1	Pembuatan <i>Software Smartphone</i> (Android)	1 Pcs	Rp 2.000.000,00	1 Pcs	Rp 2.060.000,00

Tabel 5.13 Realisasi Aktivitas Pelaksanaan Tugas Akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Senin, 8 Januari 2024, 7 Hari	Membuka sumber - sumber terkait pembuatan program pengukuran objek	Kern Nayef
2	Senin, 19 Februari 2024, 7 Hari	Melakukan proses <i>preprocessing</i> terhadap data citra luka yang diberikan	Kern Nayef
3	Selasa, 4 Maret 2024, 7 Hari	Melakukan proses segmentasi citra luka	Kern
4	Senin, 11 Maret 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
5	Selasa, 12 Maret 2024, 19 Hari	Melakukan proses konversi <i>pixel to metric</i> menggunakan DPI pada pengukuran panjang dan lebar luka	Kern Nayef

6	Senin, 25 Maret 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
7	Senin, 15 April 2024, 20 Hari	Melakukan proses konversi <i>pixel to metric</i> menggunakan <i>aruco marker</i> pada pengukuran panjang dan lebar luka	Nayef
8	Senin, 1 April 2024, 13 Hari	Melakukan pembuatan program pengukuran kedalaman luka dengan menggunakan <i>Deep Learning Marigold Universal Monocular Depth Estimator</i>	Kern
9	Senin, 15 April 2024, 4 Hari	Mencari sumber literasi mengenai kedalaman luka	Kern
10	Senin, 22 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
11	Selasa, 23 April 2024, 17 Hari	Melakukan pembuatan program klasifikasi kedalaman luka dengan menggunakan <i>color analysis</i>	Kern
12	Rabu, 8 April 2024, 2 Jam	Seminar Kemajuan dengan dosen pembimbing 1 (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.) dan dosen pembimbing 2 (Firdaus, S.T., M.T., Ph.D.)	Kern Nayef
13	Jum'at, 19 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
14	Jum'at, 30 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
15	Jum'at, 7 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
16	Senin, 13 Mei 2024, 20 Hari	Melakukan pengujian sistem pengukuran dimensi luka pada citra (panjang, lebar, dan kedalaman).	Kern Nayef

17	Jum'at, 17 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
18	Jum'at, 31 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
19	Senin, 3 Juni 2024, 7 Hari	Melakukan perancangan aplikasi berbasis android	Kern Nayef
20	Jum'at, 10 Juni 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
21	Selasa, 11 Juni 2024, 3 Hari	Melakukan pencarian jasa pembuatan aplikasi berbasis android	Kern Nayef
22	Jum'at, 14 Juni 2024, 25 Hari	Diskusi dan penyerahan rancangan pembuatan aplikasi berbasis Android	Kern Nayef
23	Senin, 17 Juni 2024, 7 Hari	Melakukan pengujian sistem pengukuran dimensi luka pada citra dataset baru serta kalibrasi (panjang, lebar, dan kedalaman).	Kern Nayef
24	Jum'at, 28 Juni 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
25	Senin, 1 Juli 2024, 8 Hari	Penulisan laporan tugas akhir 2	Kern Nayef
26	Jum'at, 5 Juli 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
27	Jum'at, 9 Juli 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
28	Senin, 15 Juli 2024, 11 Hari	Sidang Tugas Akhir 2	Kern Nayef
29	Selasa, 30 Juli 2024, 2 Hari	Expo Tugas Akhir 2	Kern Nayef

## 5.2 Dampak Implementasi Sistem

- **Teknologi**

Implementasi sistem ini memanfaatkan teknologi pengukuran berbasis citra digital yang akurat dan efisien. Dengan menggunakan *marker* ArUco, sistem mampu melakukan pengukuran panjang dan lebar luka secara real-time dan contactless. Begitu juga untuk pengukuran kedalaman luka dengan metode *color analysis*. Kombinasi metode ini meningkatkan akurasi dan kecepatan pengukuran dibandingkan metode konvensional, serta mengurangi risiko kontaminasi

- **Sosial**

Dari aspek sosial, sistem ini memberikan manfaat besar bagi tenaga medis dan kepolisian. Tenaga medis khususnya di bidang forensik dapat melakukan pengukuran luka dengan lebih cepat dan akurat, yang dapat mendukung proses penyelidikan dan penegakan hukum. Selain itu, sistem ini juga bermanfaat bagi kegiatan akademik di bidang kedokteran sebagai alat pembelajaran yang modern dan efisien.

- **Ekonomi**

Secara ekonomi, sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan biaya penggunaan komponen yang terjangkau. Hal ini memungkinkan penggunaan sistem yang luas dengan biaya operasional yang rendah. Sistem ini mengurangi biaya operasional melalui pengurangan kebutuhan alat tambahan dan efisiensi waktu kerja, yang pada akhirnya dapat meningkatkan pendapatan institusi yang menggunakannya.

- **Budaya**

Dalam aspek budaya, implementasi sistem ini menunjukkan adaptasi budaya kerja yang lebih modern dan berbasis teknologi. Penggunaan sistem digital yang efisien dan akurat menunjukkan perubahan budaya kerja yang lebih mengandalkan teknologi untuk mencapai hasil yang lebih baik dan efisien.

- **Lingkungan**

Sistem ini juga berdampak positif terhadap lingkungan dengan mengurangi penggunaan bahan dan alat medis sekali pakai yang biasanya digunakan dalam pengukuran manual. Pengurangan limbah medis ini tentunya membantu dalam menjaga kelestarian lingkungan.

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Hasil studi dari perancangan sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik menunjukkan bahwa sistem menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi dan presisi dalam melakukan pengukuran panjang/lebar dan dapat mengidentifikasi kedalaman luka. Sistem ini dapat melakukan pengukuran secara *real time* dan sifatnya *contactless*. Sistem ini juga dapat dioperasikan menggunakan *device* berupa *smartphone* berbasis Android dimana aplikasi tersambung dengan jaringan internet. Hasil dari sistem pengukuran dimensi luka yaitu panjang dan lebar luka dengan satuan metrik (cm) serta klasifikasi kedalaman luka dengan 3 *level* yaitu stadium II, stadium III, dan stadium IV.

Pada pengukuran panjang dan lebar luka menggunakan *marker* ArUco, perhitungan panjang terhadap pixel menjadi parameter yang paling penting untuk menghasilkan pengukuran yang akurat. Perhitungan panjang pixel terhadap panjang metrik ini dilakukan dengan dua cara pengukuran yaitu secara otomatis melalui deteksi objek luka dan manual dengan garis penanda. Metode otomatis menghasilkan akurasi tinggi dalam pengukuran panjang dengan *error rate* 7% dan akurasi 93%, namun kurang akurat dalam pengukuran lebar dengan *error rate* 20% dan akurasi 80%. Sebaliknya, metode garis penanda lebih akurat untuk kedua dimensi, dengan *error rate* 4% dan akurasi 96% untuk panjang, serta *error rate* 6% dan akurasi 94% untuk lebar. Metode otomatis memiliki keunggulan dalam hal kemudahan penggunaan, namun terbatas pada jenis dan kondisi luka tertentu. Sedangkan metode garis penanda memiliki kelebihan dalam hal akurasi dan tidak terbatas pada jenis dan kondisi luka tertentu.

Pada pengukuran kedalaman dihasilkan akurasi sebesar 85% dengan 76 data *training* dan 20 data *testing* dimana model *machine learning* SVM dapat memprediksi stadium II dan stadium IV dengan sangat baik (*F1 score* stadium II = 0,94 dan *F1 score* stadium IV = 0,8). Tetapi masih terdapat kekurangan pada model yaitu dalam melakukan prediksi stadium III dikarenakan nilai *recall*-nya lebih besar dibandingkan nilai *precision*-nya sehingga walaupun model cukup baik dalam mendeteksi data positif benar, ada cukup banyak prediksi data positif salah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian perancangan sistem pengukuran dimensi luka pada kasus forensik didapatkan beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk pengembangan sistem berikutnya. Pada bagian pengukuran panjang dan lebar terdapat beberapa poin utama yang dapat diperbaiki terutama pada metode pengukuran otomatis menggunakan ArUco dan deteksi objek luka dengan algoritma *Canny*. Penggunaan metode ini masih terbatas pada jenis dan kondisi luka tertentu. Dimana metode ini hanya akan menghasilkan pengukuran yang optimal pada luka berjenis luka terbuka dan luka tekan. Pada bagian pengukuran kedalaman terdapat beberapa poin utama yang dapat diperbaiki seperti memperbanyak dataset citra luka. Dataset yang kami gunakan dalam merancang sistem terdiri dari 36 data luka stadium II, 12 data luka stadium III, dan 28 data luka stadium IV. Terdapat ketidakseimbangan banyaknya data *training* setiap kelas sehingga dapat menyebabkan prediksi data baru cenderung masuk ke kelas dengan data *training* terbanyak, pada kasus ini yaitu pada kelas stadium II. Poin terakhir adalah memperbanyak fitur yang diinputkan ke model *machine learning*. Fitur yang kami gunakan hanya pada nilai ruang warna yaitu HSV dan LAB saja. Terdapat potensi untuk menambahkan fitur seperti analisis tekstur, analisis deteksi pinggir, dan fitur ekstraksi lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Humas.fku, “Mengenal Dunia Forensik,” *fkkmk.ugm.ac.id*, 2022. <https://fkkmk.ugm.ac.id/mengenal-dunia-forensik/> (accessed Oct. 12, 2023).
- [2] T. Ningsih, “Ilmu Kedokteran Forensik Sebagai Ilmu Bantu Dalam Penegakan Hukum Pidana Di Indonesia,” *Widya Yuridika*, vol. 5, no. 1, p. 157, 2022, doi: 10.31328/wy.v5i1.2504.
- [3] W. T. Utama, “Visum et Repertum: A Medicolegal Report as A Combination of Medical Knowledge and Skill with Legal Jurisdiction.,” *Juke*, vol. 4, no. 8, pp. 269–275, 2014.
- [4] Y. Monita and D. Wahyudhi, “Peranan Dokter Forensik Dalam Pembuktian Perkara Pidana,” *J. Ilmu Huk.*, vol. 6, no. 7, pp. 127–141, 2013.
- [5] R. Wintoko and A. D. N. Yadika, “Manajemen Terkini Perawatan Luka,” *J. Kedokt. Univ. Lampung*, vol. 4, pp. 183–189, 2020.
- [6] L. B. Jørgensen, J. A. Sørensen, G. B. E. Jemec, and K. B. Yderstræde, “Methods to assess area and volume of wounds – a systematic review,” *Int. Wound J.*, vol. 13, no. 4, pp. 540–553, 2016, doi: 10.1111/iwj.12472.
- [7] W. Li, T. Gee, H. Friedrich, and P. Delmas, “A practical comparison between Zhang’s and Tsai’s calibration approaches,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, vol. 19-21-Nove, pp. 166–171, 2014, doi: 10.1145/2683405.2683443.
- [8] C. Cattaneo, G. Mainetti, and R. Sala, “The importance of camera calibration and distortion correction to obtain measurements with video surveillance systems,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 658, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1742-6596/658/1/012009.
- [9] F. Ferreira *et al.*, “Experimental study on wound area measurement with mobile devices,” *Sensors*, vol. 21, no. 17, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/s21175762.
- [10] H. M. Jawad and T. A. Husain, “Measuring Object Dimensions and its Distances Based on Image Processing Technique by Analysis the Image Using Sony Camera,” *Eurasian J. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: 10.23918/eajse.v3i2p100.
- [11] A. Gaur, R. Sunkara, A. N. J. Raj, and T. Celik, “Efficient wound measurements using RGB and depth images,” *Int. J. Biomed. Eng. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 333–358, 2015, doi: 10.1504/IJBET.2015.071009.
- [12] G. Vedashree, D. Anand, and A. Professor, “A Survey On Depth Estimation Using

- Vanishing Point,” *Int. J. Creat. Res. Thoughts*, vol. 9, no. 6, pp. 2320–2882, 2021, [Online]. Available: [www.ijcrt.org](http://www.ijcrt.org)
- [13] M. Reiter, “Estimation of Face Depth Maps from Color Textures using Canonical Correlation Analysis,” no. March, pp. 1–5, 2006.
- [14] K. B. Shaik, P. Ganesan, V. Kalist, B. S. Sathish, and J. M. M. Jenitha, “Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 57, pp. 41–48, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.07.362.
- [15] R. Shetty, H. Sreekar, S. Lamba, and A.K. Gupta, "A novel and accurate technique of photographic wound measurement," *Indian J. Plast. Surg.*, vol. 45, no. 2, pp. 425-429, May 2012.
- [16] T. C. Guan, "Object Measurement System Using ArUco Marker," Final Year Project Report, School of Engineering, Universiti Tunku Abdul Rahman, Malaysia, 2020.
- [17] American Academy of Forensic Sciences, "What is Forensic Science?," 2020. [Online]. Available: <https://www.aafs.org/careers-forensic-science/what-forensic-science>. [Accessed: July 3, 2024].
- [18] D. A. Ariningrum *et al.*, “Manajemen Luka,” *Kementeri. Riset, Teknol. dan Pendidik. Tinggi*, no. 0271, p. 12, 2018.
- [19] M. Irfan-maqsood, “Classification of Wounds: Know before Research and Clinical Practice,” *J. Genes Cells*, vol. 4, no. August, p. 1, 2018, doi: 10.15562/gnc.61.
- [20] D. B. Baroroh, “Konsep Luka Basic Nursing Department,” *Basic Nurs. Dep. PSIK FIKES UMM* 2021, pp. 2–3, 2021, [Online]. Available: [http://s1-keperawatan.umm.ac.id/files/file/konsep\\_luka.pdf](http://s1-keperawatan.umm.ac.id/files/file/konsep_luka.pdf)
- [21] N. Li, Q. Du, R. Bai, and J. Sun, “Vitality and wound-age estimation in forensic pathology: review and future prospects,” *Forensic Sci. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 15–24, 2020, doi: 10.1080/20961790.2018.1445441.
- [22] V. Wiley and T. Lucas, “Computer Vision and Image Processing: A Paper Review,” *Int. J. Artif. Intell. Res.*, vol. 2, no. 1, p. 22, 2018, doi: 10.29099/ijair.v2i1.42.
- [23] D. Cao, Z. Chen, and L. Gao, “An improved object detection algorithm based on multi-scaled and deformable convolutional neural networks,” *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s13673-020-00219-9.
- [24] B. K. P. Horn, “Tsai ’ s camera calibration method revisited,” vol. i, 2000.

- [25] S. K. Abdulateef and M. D. Salman, "A Comprehensive Review of Image Segmentation Techniques," *Iraqi J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 17, no. 2, pp. 166–175, 2021, doi: 10.37917/ijeee.17.2.18.
- [26] P. Example, "Pixels To Centimeters Calculator".
- [27] N. H. Ovirianti, M. Zarlis, and H. Mawengkang, "Support Vector Machine Using A Classification Algorithm," *Sinkron*, vol. 7, no. 3, pp. 2103–2107, 2022, doi: 10.33395/sinkron.v7i3.11597.
- [28] D. J. Bora, A. K. Gupta, and F. A. Khan, "Comparing the Performance of L\*A\*B\* and HSV Color Spaces with Respect to Color Image Segmentation," no. March, 2015, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1506.01472>
- [29] B. Li, J. Wu, X. Tan, and B. Wang, "ArUco Marker Detection under Occlusion Using Convolutional Neural Network," in 2020 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE), Dalian, China, 2020, pp. 706-711, doi: 10.1109/CACRE50138.2020.9230250.
- [30] T. Buana Ayu and N. Wijaya, "2 Nd Mdp Student Conference (Msc) 2023 Penerapan Metode Design Thinking Pada Perancangan Prototype Aplikasi Payoprint Berbasis Android," pp. 68–75, 2023, [Online]. Available: <https://www.payoprint.id/>.
- [31] R. Purba, "Design Thinking," Medium, Feb. 15, 2023. [Online]. Available: <https://medium.com/@rahelpurba00/design-thinking-5530d5f92f23>. [Accessed: Jul. 27, 2024].

## LAMPIRAN

• **Tabel Perbaikan Laporan Akhir Capstone**

**MAHASISWA #1** : 20524086 Kern Cesarean Ahnaf

**MAHASISWA #2** : 20524138 Nayef Hafidz Riyadi

**JUDUL/TOPIK** : Alat Pengukur Dimensi Luka pada Kasus Forensik

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Mohon diperbaiki batasan keteknikan / engineering constraints pada bab 1 sesuai arahan dari dosen penguji saat ujian TA2. yang terpenting, disebutkan bahwa batasan realistis didasari beberapa aspek seperti keteknikan, kesehatan, maupun terkait dengan suatu aturan/sosial	Memperbaiki dan menambahkan beberapa engineering constraints terkait portabilitas, konektivitas, akurasi, kemudahan penggunaan, kebersihan dan biaya	12 dan 13	<b>Approved</b>
2	Penjelasan tentang tiap proses pada bagian desain sistem (image processing, hingga process klasifikasi) dibuat penjelasan lebih detail per blok diagram prosesnya. Misalnya, pada bagian image processing, dijelaskan pada saat citra dicapture, proses selanjutnya seperti pre processing (apa saja yang dilakukan pada tahap ini), serta hingga citra dimasukkan kedalam sistem classifier/SVM dalam bentuk seperti apa.	Menambahkan penjelasan tiap proses pada bagian desain sistem	31, 32, 33, 37,38,dan 39	<b>Approved</b>
3	Gambar yang bukan dibuat sendiri harap dituliskan sitasi dan sertakan referensinya didaftar pustaka.	Menambahkan sitasi pada gambar dan menyertakan referensi di daftar pustaka	21, 22, 23, 24, 25, dan 28	<b>Approved</b>
4	Anggaran / harga pengembangan sistem untuk desain 1 dan 2 harusnya berbeda, karena fitur yang ditawarkan juga berbeda. Silahkan diperbaiki kembali	Perubahan pada anggaran desain 2, dimana anggaran pada desain 2 lebih mahal dibandingkan dengan desain 1 dikarenakan menggunakan metode yang lebih kompleks seperti pengembangan algoritma CNN yang memerlukan waktu dan sumber daya lebih banyak	41	<b>Approved</b>
5	Blok sistem antara mobile App dan server digambarkan kemudian dijelaskan dalam rancangan desain sistemnya. Sertakan pula library yang digunakan pada server sistemnya (python based library) dan bagaimana komunikasi antara mobile app dan server	Telah ditambahkan blok sistem mobile app dan server serta penjelasan detail rancangan sistem (library, aplikasi, cara komunikasi)	53 dan 54	<b>Approved</b>

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
6	Berikan statement, mana yang lebih prioritas, akurasi atau processing time, dan jadikan sebagai salah satu poin pada engineering constraints (batasan realistis keteknikan).	Telah ditambahkan statement “akurasi lebih penting” pada bagian engineering constraint dan pemilihan metode usulan berdasarkan statement tersebut	12, 35, 41, 42, 43, dan 44	<b>Approved</b>
7	Proses preprocessing -> classifiers mohon ditambahkan pada laporan (metode), sehingga tidak hanya berisi tentang desain dan desain, namun sisi technicalnya juga dibahas	Menambahkan detail proses preprocessing pada classifier laporan bagian metode	50,51, dan 52	<b>Approved</b>
8	Penentuan parameter SVM juga tidak bahas, hasil masing-masing konfigurasi untuk parameter pelatihan dapat disertakan pada hasil dan pembahasan sebagai uji komparasi model performance.	Menambahkan detail parameter yang digunakan pada model SVM pengukuran kedalaman luka serta hasil konfigurasi parameter yang telah dicoba	67, 68, 69, 70, 71, 72, dan 73	<b>Approved</b>

Yogyakarta, 06 Agustus 2024  
Menyetujui,  
Penguji

(Alvin Sahroni, Ph.D.)

- **Data Hasil Fitur Ekstraksi**

- a) **Stadium II**

Dat a	HUE	Saturation	L	A	B
1	117	131	92	152	143
2	120	123	92	155	139
3	133	43	154	141	126
4	125	116	73	149	132
5	124	181	67	164	141
6	120	185	74	167	151
7	122	191	80	172	150
8	121	192	64	165	148
9	123	163	85	166	143
10	121	64	144	144	133
11	122	189	76	170	148
12	120	213	50	163	150
13	122	134	65	151	137
14	136	146	83	163	120
15	121	139	69	153	139
16	113	25	199	132	132
17	141	113	89	156	117
18	139	29	138	136	125
19	130	126	58	149	127
20	122	120	116	160	140
21	117	205	55	158	151
22	132	138	107	167	125
23	112	165	90	153	152

24	123	91	123	151	134
25	119	127	59	147	137
26	118	154	68	154	144
27	122	180	94	174	149
28	118	141	92	156	145
29	120	163	74	161	146
30	116	178	60	154	147
31	120	200	71	169	155
32	117	94	141	150	141
33	122	123	73	150	136
34	114	134	93	149	145
35	120	138	87	158	143
36	115	90	139	146	141

**b) Stadium III**

Data	HUE	Saturation	L	A	B
1	121	166	33	148	137
2	121	249	11	147	134
3	125	245	33	159	142
4	125	172	92	171	141
5	124	193	10	136	130
6	122	170	102	174	148
7	120	194	50	160	147
8	127	139	70	154	132
9	121	184	48	156	142
10	122	166	87	167	146

11	131	157	60	157	127
----	-----	-----	----	-----	-----

**c) Stadium IV**

Dat a	HUE	Saturation	L	A	B
1	119	216	44	160	149
2	118	73	143	145	136
3	132	78	119	148	125
4	123	120	112	159	138
5	134	98	38	140	126
6	113	174	97	156	156
7	122	190	87	174	152
8	116	170	130	174	161
9	116	186	46	151	145
10	106	111	165	140	155
11	116	135	123	159	149
12	127	206	8	136	129
13	128	70	95	142	128
14	121	190	40	155	143
15	109	213	66	149	157
16	132	80	110	147	126
17	118	176	71	161	148
18	116	223	73	168	162
19	122	149	57	152	137
20	140	28	54	131	126
21	130	77	132	149	127
22	130	81	10	132	127

23	115	151	10	132	130
24	116	38	178	136	133
25	119	168	19	142	133
26	128	182	19	143	130
27	121	167	65	159	144

● **Logbook Kegiatan Tugas Akhir**

Judul : Alat Pengukuran Kedalaman Luka pada Kasus Forensik

Penyusun : Kern Cesarean Ahnaf  
: Nayef Hafidz Riyadi

NIM : 20524086  
: 20524138

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Rabu, 13 September 2023, 4 Hari	Survei literatur terkait permasalahan penelitian	Kern
2	Senin, 18 September 2023, 3 jam	Pengerjaan latar belakang penelitian	Kern
3	Selasa, 19 September 2023, 2 jam	Pengerjaan rumusan permasalahan penelitian	Kern Nayef
4	Rabu, 20 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan masalah penelitian	Kern Nayef
5	Kamis, 21 September 2023, 2 jam	Pengerjaan batasan realistis aspek keteknikan	Kern Nayef
6	Jum'at, 22 September 2023, 2 Jam	Bimbingan 1 dengan dosen pembimbing (via Zoom)	Kern Nayef
7	Senin, 25 September 2023, 6 Hari	Revisi proposal bab 1	Kern Nayef
8	Senin, 2 Oktober 2023, 9 Hari	Melakukan studi literatur dan observasi terkait dengan solusi permasalahan penelitian	Kern Nayef

9	Jum'at, 13 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 2 dengan dosen pembimbing	Kern
10	Senin, 16 Oktober 2023, 3 Hari	Revisi proposal sub bab studi literatur dan observasi	Kern
11	Jum'at, 20 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 3 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
12	Senin, 23 Oktober 2023, 2 Hari	Pengerjaan dasar teori	Kern Nayef
13	Rabu, 25 Oktober 2023, 2 Hari	Pengerjaan analisis <i>stakeholder</i> , analisis aspek yang mempengaruhi sistem, dan spesifikasi sistem	Kern Nayef
14	Sabtu, 28 Oktober 2023, 2 Jam	Bimbingan 4 dengan dosen pembimbing (via Zoom)	Kern Nayef
15	Senin, 30 Oktober 2023, 1 Hari	Revisi proposal bab 2	Kern Nayef
16	Selasa, 31 Oktober 2023, 3 Hari	Pengerjaan usulan solusi 1 dan 2	Kern Nayef
17	Jum'at, 3 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 5 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
18	Senin, 6 November 2023, 4 Hari	Pengerjaan desain sistem 1 dan sistem 2 serta pengerjaan ilustrasi aplikasi	Kern Nayef
19	Jum'at, 10 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 6 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
20	Senin, 13 November 2023, 3 Jam	Revisi proposal sub bab desain sistem 1 dan 2	Kern Nayef
21	Selasa, 14 November 2023, 3 Hari	Pengerjaan rencana anggaran desain, analisis resiko desain, dan pengukuran performa sistem 1 dan sistem 2	Kern Nayef
22	Jum'at, 17 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 7 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
23	Senin, 20 November 2023, 3 Jam	Revisi proposal sub bab rencana anggaran desain, analisis resiko	Kern Nayef

		desain, dan pengukuran performa sistem 1 dan sistem 2	
24	Selasa, 21 November 2023, 3 Hari	Pengerjaan analisis dan penentuan usulan terbaik, gantt chart, dan realisasi tugas akhir 1	Kern Nayef
25	Jum'at, 24 November 2023, 2 Jam	Bimbingan 8 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
26	Senin, 27 November 2023, 1 Hari	Revisi proposal bab 3	Kern Nayef
27	Jum'at, 8 Desember 2023	Wawancara Mitra/Narasumber	Kern Nayef
28	Senin, 11 Desember 2023	Bimbingan 9 dengan dosen pembimbing	Kern Nayef
29	Selasa, 12 Desember 2023	Revisi keseluruhan proposal tugas akhir	Kern Nayef
30	Senin, 8 Januari 2024, 7 Hari	Membuka sumber - sumber terkait pembuatan program pengukuran objek	Kern Nayef
31	Senin, 19 Februari 2024, 7 Hari	Melakukan proses <i>preprocessing</i> terhadap data citra luka yang diberikan	Kern Nayef
32	Selasa, 4 Maret 2024, 7 Hari	Melakukan proses segmentasi citra luka	Kern
33	Senin, 11 Maret 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
34	Selasa, 12 Maret 2024, 19 Hari	Melakukan proses konversi <i>pixel to metric</i> menggunakan DPI pada pengukuran panjang dan lebar luka	Kern Nayef
35	Senin, 25 Maret 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
36	Senin, 15 April 2024, 20 Hari	Melakukan proses konversi <i>pixel to metric</i> menggunakan <i>aruco marker</i> pada pengukuran panjang dan lebar luka	Nayef

37	Senin, 1 April 2024, 13 Hari	Melakukan pembuatan program pengukuran kedalaman luka dengan menggunakan <i>Deep Learning Marigold Universal Monocular Depth Estimator</i>	Kern
38	Senin, 15 April 2024, 4 Hari	Mencari sumber literasi mengenai kedalaman luka	Kern
39	Senin, 22 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
40	Selasa, 23 April 2024, 17 Hari	Melakukan pembuatan program klasifikasi kedalaman luka dengan menggunakan <i>color analysis</i>	Kern
41	Rabu, 8 April 2024, 2 Jam	Seminar Kemajuan dengan dosen pembimbing 1 (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.) dan dosen pembimbing 2 (Firdaus, S.T., M.T., Ph.D.)	Kern Nayef
42	Jum'at, 19 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
43	Jum'at, 30 April 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
44	Jum'at, 7 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
45	Senin, 13 Mei 2024, 20 Hari	Melakukan pengujian sistem pengukuran dimensi luka pada citra (panjang, lebar, dan kedalaman).	Kern Nayef
46	Jum'at, 17 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
47	Jum'at, 31 Mei 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef

48	Senin, 3 Juni 2024, 7 Hari	Melakukan perancangan aplikasi berbasis android	Kern Nayef
49	Jum'at, 10 Juni 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
50	Selasa, 11 Juni 2024, 3 Hari	Melakukan pencarian jasa pembuatan aplikasi berbasis android	Kern Nayef
51	Jum'at, 14 Juni 2024, 25 Hari	Diskusi dan penyerahan rancangan pembuatan aplikasi berbasis Android	Kern Nayef
52	Senin, 17 Juni 2024, 7 Hari	Melakukan pengujian sistem pengukuran dimensi luka pada citra dataset baru serta kalibrasi(panjang, lebar, dan kedalaman).	Kern Nayef
53	Jum'at, 28 Juni 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
54	Senin, 1 Juli 2024, 8 Hari	Penulisan laporan tugas akhir 2	Kern Nayef
55	Jum'at, 5 Juli 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
56	Jum'at, 9 Juli 2024, 2 Jam	Bimbingan dengan dosen pembimbing (Ibu Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd., M.Eng.)	Kern Nayef
57	Senin, 15 Juli 2024, 11 Hari	Sidang Tugas Akhir 2	Kern Nayef
58	Selasa, 30 Juli 2024, 2 Hari	Expo Tugas Akhir 2	Kern Nayef

- Dokumentasi Kegiatan Tugas Akhir Capstone

# PROJECT CAPSTONE

## "PENGUKURAN LUKA PADA KASUS FORENSIK"

Dirancang oleh:

- Kern Cesarean Ahnaf
- Nayef Hafidz Riyadi

*(Dokumentasi dengan Mitra TA Dokter Forensik 1)*



# SEKIAN TERIMAKASIH



*(Dokumentasi dengan Mitra TA Dokter Forensik 2)*



*(Dokumentasi dengan Mitra TA Dokter Forensik 3)*