

**EVALUASI KINERJA METODE KECERDASAN BUATAN BERBASIS YOLOv5
UNTUK DIAGNOSIS JENIS KANKER KULIT SECARA *MOBILE REAL TIME***

(Skripsi)

Oleh

JOY HANS CHRISTABEL SINAGA

2017051050



ILMU KOMPUTER

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

**EVALUASI KINERJA METODE KECERDASAN BUATAN BERBASIS YOLOv5
UNTUK DIAGNOSIS JENIS KANKER KULIT SECARA *MOBILE REAL TIME***

Oleh

Joy Hans Christabel Sinaga

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

Sarjana Komputer

Pada

Program Studi S1 Ilmu Komputer

Jurusan Ilmu Komputer



ILMU KOMPUTER

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA METODE KECERDASAN BUATAN BERBASIS YOLOv5 UNTUK DIAGNOSIS JENIS KANKER KULIT SECARA *MOBILE REAL TIME*

Oleh

Joy Hans Christabel Sinaga

Kanker kulit dikenal sebagai salah satu jenis kanker yang umum dan berisiko tinggi yang memerlukan prioritas pengobatan medis. Untuk meningkatkan efektivitas pengobatan, kanker kulit perlu dideteksi sedini mungkin. Baru-baru ini, dengan semakin populernya penggunaan sistem Computer Assisted Diagnosis (CAD), banyak peneliti melaporkan penggunaan pendekatan Artificial Intelligence (AI) untuk mendiagnosis berbagai penyakit, termasuk beberapa jenis kanker. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem berbasis YOLO dalam mendiagnosis kanker kulit. Kami mengembangkan dan mengevaluasi aplikasi mobile berbasis YOLO untuk mendiagnosis kanker kulit secara langsung menggunakan smartphone. Dalam eksperimen, kami menggunakan 9 (sembilan) kelas kanker kulit berbeda. Kami telah melakukan eksperimen intensif dan mengukur Akurasi model untuk mengetahui seberapa baik model dapat mendeteksi objek serta mengukur Presisi, Recall, dan F1-Score dari setiap kelas untuk mengevaluasi kinerja masing-masing kelas. Hasil menunjukkan bahwa model berbasis YOLO ini memiliki kemampuan yang sangat baik untuk mendeteksi kanker kulit secara real-time dengan Akurasi sebesar 87,7%, Presisi 87,7%, Recall 87,8%, dan F1-Score 87,8%.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan (AI), *Computer Assisted Diagnosis* (CAD), Aplikasi Seluler, Kanker Kulit, YOLOv5

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF YOLOV5-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODEL TO DIAGNOSIS SKIN CANCER TYPES IN REAL-TIME

By

Joy Hans Christabel Sinaga

Skin cancers are known as some of the common and high-risk cancers that need medical treatment priority. To increase the effectiveness of the medical treatments, it needs to be detected as early as possible. There are several types of skin cancers, that often have similar symptoms. Thus, it becomes very difficult to classify and diagnose the diseases. Recently, as the use of Computer Assisted Diagnosis (CAD) systems has become very popular, many researchers have reported the use of Artificial Intelligence (AI) approaches for diagnosing various diseases including several types of cancers. This research aims to evaluate the performance of a YOLO-based system in diagnosing skin cancers. We developed and evaluated the YOLO-based mobile application for diagnosing skin cancers directly by using a smartphone. For the experiments, we use 9 (nine) different classes of skin cancers taken from Kaggle.com. We have done intensive experiments and measured the model's Accuracy to know how well the model can detect objects and measure each class' Precision, Recall, and F1 Score to know how well each class perform. The results show that this YOLO-based model has a very good capability to detect skin cancer in real-time with an Accuracy of 87,7%, a Precision of 87,7%, a Recall of 87,8%, and an F1-Score of 87,8%.

Key words: Artificial Intelligence (AI), Computer Assisted Diagnosis (CAD), Mobile Application, Skin Cancer, YOLOv5

Judul Skripsi : **EVALUASI KINERJA METODE
KECERDASAN BUATAN BERBASIS
YOLOv5 UNTUK DIAGNOSIS JENIS
KANKER KULIT SECARA *MOBILE
REAL TIME***

Nama Mahasiswa : **Joy Hans Christabel Sinaga**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017051050

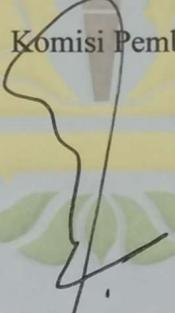
Program Studi : S1 Ilmu Komputer

Jurusan : Ilmu Komputer

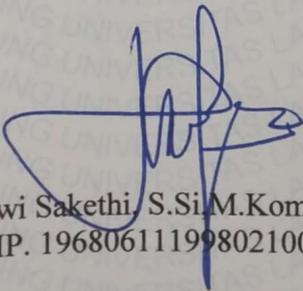
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengerahuan Alam

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**


Prof. Admi Syarif, Ph.D
NIP. 196701031992031003

2. **Ketua Jurusan**


Dwi Sakethi, S.Si, M.Kom.
NIP. 196806111998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Admi Syarif, Ph.D

Penguji

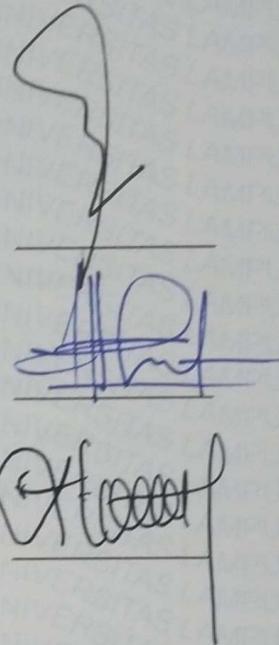
Bukan : Dr. rer. nat. Akmal Junaidi, M.Sc

Pembimbing

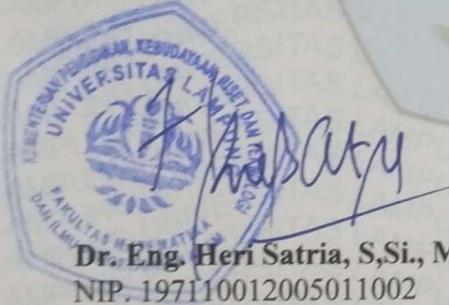
Penguji

Bukan : Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D

Pembimbing



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M. Si
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **8 Oktober 2024**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Joy Hans Christabel Sinaga

NPM : 2017051050

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Metode Kecerdasan Buatan berbasis YOLOv5 Untuk Diagnosis Jenis Kanker Kulit Secara *Mobile Real-Time*”** Merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang di skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang saya Terima.

Bandar Lampung, 5 Oktober 2024



Joy Hans Christabel Sinaga

NPM. 2017051050

RIWAYAT HIDUP



Lahir di Kota Tanjung Redeb, Kaltim, pada tanggal 18 Oktober 2002. Anak ke-2 dari tiga bersaudara, dari Bapak Kaden Sinaga dan Ibu Nilawaty Siahaan. Menyelesaikan Pendidikan dasar di SD Swasta Bonapasogit Sejahtera pada tahun 2014, menyelesaikan Pendidikan menengah pertama di SMP Swasta Bonapasogit Sejahtera pada tahun 2017, dan lulus pendidikan menengah atas di SMA RK Budi Mulia Pematangsiantar pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Kegiatan-kegiatan yang dilakukan selama menjadi Mahasiswa yaitu sebagai berikut:

1. Pada awal masuk mengikuti Program Pengenalan Kehidupan Kampus Bagi Mahasiswa Baru (PKKMB) tingkat universitas hingga tingkat jurusan pada awal masuk perkuliahan di tahun 2020,
2. Mengikuti GOSPEL (God Always Provide Leaders) oleh Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Universitas Lampung pada tahun 2020,

3. Menjadi Bagian dari Himpunan Mahasiswa Ilmu Komputer dan anggota pengurus bidang Keilmuan pada periode 2021 dan periode 2022,
4. Menjadi anggota pengurus Divisi 2 (Hubungan Masyarakat) Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen Universitas Lampung pada tahun 2021.
5. Melaksanakan Kuliah Kerja Praktik (KP) pada PT Toba Pulp Lestari, Tbk., bagian *Mill* pada periode semester 2022 genap.
6. Menjadi jemaat dan pengurus Persekutuan Oikumene Mahasiswa Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (POMMIPA) dari tahun 2022 sampai tahun 2024
7. Melaksanakan magang Merdeka Belajar – Kampus Merdeka (MBKM) pada periode semester 2023 ganjil di Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi, dan Komunikasi (UPT TIK) Universitas Lampung
8. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Kota Bandar Lampung pada periode semester 2023 ganjil.

MOTTO

“Bila Engkau tak besertaku, ku tak mau berjalan
Kuperlu Tuhan pimpin langkahku dengan kasih karunia-Mu”

(Penggalan lagu “Bila Engkau Tak Besertaku”)

“Mulailah tugasmu bersama Tuhan, selesaikan tugasmu bersama Tuhan.

Lebih dari itu adalah berkat.”

(Kutipan dari sebuah khotbah gereja)

“Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan
kepadaku”

(Filipi 4:13)

“Sampai Garis Akhir Pelayanan”

(Tema Kisah Para Rasul 20:24)

PERSEMBAHAN

Dalam Nama Bapa, Putra, dan Roh Kudus, Amin

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan karena Kasih Karunia dan Penyertaan-Nya, Saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Syukur Bagi Tuhan.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua, Abang, Adik, Serta Keluarga Besar

Yang selalu memberikan yang terbaik dan selalu membawakan doa yang menyertai saya di setiap langkah saya. Saya telah mengakhiri pertandingan yang baik, saya telah mencapai garis akhir, dan saya telah memelihara iman.

Seluruh Keluarga Besar Ilmu Komputer 2020

Yang telah berjuang Bersama-sama dengan saya.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Ilmu Komputer

Tempat belajar, berkarya, dan menjadi berkat.

SANWACANA

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan karena Kasih Karunia dan Penyertaan-nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi Kinerja Metode Kecerdasan Buatan berbasis YOLOv5 Untuk Diagnosis Jenis Kanker Kulit Secara *Mobile Real-Time*” dengan baik.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dan berperab besar dalam Menyusun skripsi ini, antara lain:

1. Kedua orang tua, abang, dan adik yang telah memberikan dukungan dan mendoakan yang terbaik,
2. Rizky Prabowo, M.Kom. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan akademik,
3. Prof. Admi Syarif, Ph.D., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang memberikan dukungan besar dalam penyelesaian skripsi dan menjadi inspirasi,
4. Dr. Rer. Nat. Akmal Junaidi, M,Sc., sebagai Dosen Pembahas 1 yang menunjukkan hal dapat diperbaiki dalam skripsi,
5. Bapak Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D., sebagai Dosen Pembahas 2 yang telah memberi masukan untuk perbaikan skripsi,
6. Bapak Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom. selaku ketua Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung,
7. Ibu Anie Rose Irawati S.T., M.Cs. selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung,
8. Ibu Ade Nora Maela, Bang Zainuddin dan Mas Nofal yang telah membantu segala urusan administrasi penulis di Jurusan Ilmu Komputer,
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam hidup untuk menjadi lebih baik,

10. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung,
11. Pak Nurjoko, Pak Rico, Pak Nizar, Bu Apri, Bang Putra, Arman, Safiira, Yoan, dan Nabila yang menemani selama bimbingan bersama Prof. Admi,
12. Teman-teman “Himacord” (Ahmad, Faiz, Rizki, Thoriq, Fachru, Fadhil, Fakhri, Syahril, Rafi, Riyo, Sultan, Zaka) yang selalu menemani main bersama dan memberi motivasi serta informasi,
13. UKM Kristen dan POMMIPA yang menjadi wadah pelayanan gereja di kehidupan kampus, dan
14. Keluarga Besar Ilmu Komputer 2020 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 8 Oktober 2024

Joy Hans Christabel Sinaga

NPM 2017051050

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiiiv
DAFTAR GAMBAR	xivi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kulit	7
2.2 Kanker Kulit	7
2.3 <i>Computer-Aided Diagnosis (CAD)</i>	9
2.4 <i>Artificial Intelligent (AI)</i>	9
2.5 <i>Deep Learning dan Convolutional Neural Network (CNN)</i>	10
2.6 <i>You Only Look Once (YOLO)</i>	12
2.7 <i>Hyperparameter</i>	13
2.8 <i>Confusion Matrix</i>	14
2.9 Sistem Operasi dan Aplikasi <i>Mobile</i> Android.....	15
2.10 <i>Flutter Framework</i>	16
2.11 Tensorflow	17
2.12 Roboflow	17
2.13 Visual Studio Code	17
2.14 Penelitian Terdahulu	18
III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	21

a.	Alat Penelitian.....	21
b.	Bahan Penelitian.....	21
3.3	Tahapan Penelitian	22
a.	Pengumpulan Dataset.....	22
b.	Anotasi Data.....	23
c.	Pembagian Data	24
d.	Pelatihan Model YOLO	24
e.	Evaluasi YOLO	25
f.	Konversi Model YOLO menjadi Model Tensorflow Lite.....	25
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Dataset	31
4.2	Anotasi gambar	32
4.3	<i>Data Splitting</i>	33
4.4	<i>Training and Validating YOLOv5 models</i>	37
4.5	Pengembangan Model.....	45
4.6	TFlite <i>model</i> , pengembangan aplikasi Android, dan evaluasi	47
V.	SIMPULAN DAN SARAN	60
5.1	Simpulan	60
5.2	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Arsitektur CNN (Saxena, 2022).....	11
Gambar 2. Arsitektur <i>Two-Stage</i> dan <i>One-Stage Detector</i> (Solawetz, 2020)	13
Gambar 3. Arsitektur YOLOv5 (Aydin & Singha, 2023).....	13
Gambar 4. Tahapan Penelitian.....	22
Gambar 5. Contoh anotasi citra	23
Gambar 6. <i>Prototype</i> tampilan “Layar Utama”	26
Gambar 7. <i>Prototype</i> tampilan “ <i>Real-Time Detection</i> ”	27
Gambar 8. <i>Prototype</i> tampilan “Image Detection_NoImage”	28
Gambar 9. <i>Prototype</i> tampilan “Image Detection_Pick	29
Gambar 10. <i>Prototype</i> tampilan “ <i>Image Detection_Image</i> ”	30
Gambar 11. Proses <i>Image Annotation</i>	32
Gambar 12. Penggalan kode data privasi (Google Colab)	38
Gambar 13. Penggalan kode data privasi (Roboflow).....	38
Gambar 14. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Unbalanced”</i> Skenario 1.	41
Gambar 15. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Unbalanced”</i> Skenario 2.	41
Gambar 16. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Unbalanced”</i> Skenario 3.	42
Gambar 17. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Unbalanced”</i> Skenario 4.	42
Gambar 18. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Balanced”</i> Skenario 1.	43
Gambar 19. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Balanced”</i> Skenario 2.	43
Gambar 20. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Balanced”</i> Skenario 3.	44
Gambar 21. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Balanced”</i> Skenario 4.	44
Gambar 22. <i>Confusion matrix YOLOv5 “Balanced”</i> Skenario 9.	46
Gambar 23. Deteksi secara <i>Real-Time</i>	50
Gambar 24. Deteksi dengan <i>Image Detection</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu	18
Tabel 2. Komposisi Dataset	23
Tabel 3. Skenario Pembagian Data	24
Tabel 4. Hyperparameter pelatihan.....	24
Tabel 5. Data dalam dataset awal (“ <i>Unbalanced</i> ”).....	31
Tabel 6. Dataset setelah <i>balancing</i> (“ <i>Balanced</i> ”).....	32
Tabel 7. Skenario pembagian Data	33
Tabel 8. Dataset “ <i>Unbalanced</i> ” untuk skenario 1.....	33
Tabel 9. Dataset “ <i>Unbalanced</i> ” untuk skenario 2.....	34
Tabel 10. Dataset “ <i>Unbalanced</i> ” untuk skenario 3.....	34
Tabel 11. Dataset “ <i>Unbalanced</i> ” untuk skenario 4.....	35
Tabel 12. Dataset “ <i>Balanced</i> ” untuk skenario 5.	35
Tabel 13. Dataset “ <i>Balanced</i> ” untuk skenario 6.	36
Tabel 14. Dataset “ <i>Balanced</i> ” untuk skenario 7.	36
Tabel 15. Dataset “ <i>Balanced</i> ” untuk skenario 8.	37
Tabel 16 Perbandingan hasil pelatihan model YOLOv5 dengan rasio pembagian data yang berbeda.....	40
Tabel 17. Dataset skenario 9.....	45
Tabel 18. Evaluasi latihan dataset skenario 9.	45
Tabel 19. Hasil pengujian aplikasi.....	50
Tabel 20. Evaluasi pengujian deteksi aplikasi (Keseluruhan Model).....	57
Tabel 21. Evaluasi pengujian deteksi aplikasi (Setiap Kelas)	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kulit merupakan organ penting yang berada di luar bagian tubuh. Kulit memiliki fungsi penting yang memungkinkan individu untuk hidup dengan aman di lingkungan yang berubah-ubah. Fungsi terpenting kulit adalah perlindungan terhadap berbagai bentuk rangsangan berbahaya termasuk trauma fisik, kimia, mikroorganisme, dan radiasi (McKnight et al., 2022).

Dalam kehidupan produktif manusia, status kesehatan kulit dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti radiasi matahari, merokok, minuman keras, aktivitas olah raga, virus, dan lingkungan kerja. Faktor-faktor tersebut tidak hanya mempengaruhi integritas fungsi kulit tetapi juga menyebabkan kerusakan tertentu pada kulit, berdampak buruk pada kesehatan manusia, dan bahkan dapat mengancam nyawa manusia dalam kasus yang parah. Oleh karena itu, penyakit kulit menjadi salah satu penyakit yang banyak diderita manusia. Penyakit kulit mencakup semua wilayah dan budaya dan terjadi pada semua umur (Li et al., 2020).

Kulit memiliki ancaman kanker paling besar dari organ lain. Kanker kulit, termasuk melanoma, *basal cell carcinoma* (BCC), dan *cutaneous squamous cell carcinoma* (SCC) merupakan jenis kanker yang paling sering muncul di dunia. Di negara seperti Britania Raya, pasien dengan kanker kulit akan diutamakan dalam perawatan, kemudian tenaga medis akan menghadapi tantangan dalam menentukan jenis kanker kulit yang dialami pasien, antara jenis kanker yang langka dengan kelainan kulit yang umum dan jinak (Jones et al., 2020).

Menurut (Das et al., 2021), jika dideteksi lebih awal, kanker kulit dapat diatasi dengan prosedur operasi. Namun, jika terjadi metastatis, kondisi dimana kanker semakin parah atau mengalami tingkat stadium lanjut, tingkat keselamatan turun dengan drastis. Kesuksesan dari penanganan kanker kulit berpengaruh pada diagnosis awal dan cara penanganan yang layak. Pemeriksaan secara visual tidak selalu handal untuk membedakan tumor yang jinak dengan yang ganas. Prosedur standar yang umum digunakan adalah dengan melakukan pemeriksaan histopatologi pada biopsi kulit.

(Das et al., 2021) juga mengatakan deteksi lebih awal adalah kunci dari penanganan yang efektif dan hasil penanganan kanker kulit yang lebih baik. Seorang ahli dapat dengan akurat mendiagnosis kanker, namun, karena keterbatasan jumlah orang yang ahli, dibutuhkan pengembangan sistem kecerdasan buatan yang mampu mendiagnosis kanker kulit dengan efisien untuk menyelamatkan pasien dan menghindari beban finansial dan kesehatan. Dikarenakan diagnosis penyakit kulit umumnya menggunakan persepsi visual, algoritma visual komputer dapat mengenali kelainan kulit berdasarkan morfologi kulit.

Artificial intelligence (AI) atau kecerdasan buatan merupakan cabang ilmu komputer yang menggunakan mesin dan program untuk meniru kecerdasan manusia dengan kumpulan teknologi. AI merupakan kunci penggerak dari *Fourth Industrial Revolution* atau Industri 4.0. *Machine learning* (ML) atau pembelajaran mesin merupakan Teknik AI yang menggunakan model statis dan algoritma yang dapat mempelajari data secara bertahap untuk memprediksi karakteristik dari sampel baru dan menjalankan tugas yang diinginkan.

(Elshahawy et al., 2023) menyatakan bahwa peneliti mengembangkan *Computer-Aided Diagnosis* (CAD) atau sistem diagnosis berbantuan komputer yang diintegrasikan dengan pemrosesan gambar, pengenalan pola, dan jaringan neural buatan untuk mendukung dokter yang melakukan pemeriksaan.

Dalam pemrosesan gambar atau mendeteksi menggunakan gambar, *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan teknologi ML yang paling umum digunakan dalam mendeteksi objek. CNN menggunakan kumpulan filter konvolusi yang canggih. Berbagai struktur gambar dapat dianalisis. Oleh karena itu, gambar itu sendiri digunakan sebagai masukan saat menggunakan CNN, dan fitur yang relevan diekstraksi secara otomatis oleh jaringan. CNN pada umumnya mencakup banyak lapisan yang menyatu dan terhubung, dengan lapisan yang tertaut penuh berfungsi sebagai lapisan terakhir. Gambar masukan disaring oleh kernel konvolusi yang ditempatkan di lapisan konvolusi. Biasanya, lapisan penyatuan muncul setelah setiap lapisan konvolusi (Waheed et al., 2023).

Menurut (Joiya, 2022), deteksi objek terdiri dari dua tipe algoritma: deteksi satu tahap dan deteksi dua tahap. Keluarga metode CNN seperti *Region-CNN* menggunakan deteksi dua tahap sedangkan metode *You Only Look Once* (YOLO) menggunakan deteksi satu tahap. Kedua metode sama-sama menggunakan teknologi CNN, yang membedakan keduanya ialah, R-CNN melakukan pembatasan daerah deteksi objek, sedangkan YOLO tidak. Kurangnya satu tahap tersebut membuat metode YOLO lebih cepat dan lebih efisien dalam mendeteksi objek namun YOLO mengorbankan akurasi untuk kecepatan dan efisiensi deteksi. Dalam beberapa kasus, YOLO dapat mengalahkan metode CNN lain dalam akurasi dan ditambah efisiensi dan kecepatan deteksi, metode YOLO lebih sering dipilih dalam mendeteksi objek secara *real time*.

Metode YOLO dapat diimplementasi dalam sistem operasi *mobile* Android. (Holla & Katti, 2012) mengatakan Android adalah sistem operasi seluler generasi lanjut yang berjalan pada Kernel Linux. Pengembangan Aplikasi Seluler Android didasarkan pada kode bahasa Java, yang memungkinkan pengembang untuk menulis kode dalam bahasa Java. *Android Software Development Kit* menyediakan serangkaian antarmuka pemrograman aplikasi (*Android Programming Interface*) yang modern dan tangguh. Dengan menyediakan platform pengembangan terbuka, Android menawarkan kepada pengembang kemampuan untuk membangun aplikasi yang sangat kaya dan

inovatif. Pengembang bebas memanfaatkan perangkat keras perangkat, mengakses informasi lokasi, dan layanan lainnya.

Android memiliki sifat pengembangan terbuka sehingga dapat menggunakan *open-source framework*. Salah satu framework yang populer digunakan dalam pengembangan aplikasi ialah *framework Flutter*. Flutter merupakan *User Interface SDK* yang dikembangkan Google untuk mengembangkan aplikasi antar platform dan juga mampu bersanding dengan perangkat lunak dan perangkat keras lain seperti penyimpanan dan kamera. Desain dan arsitektur Flutter memberikan pengembang kemampuan untuk mengembangkan aplikasi yang responsif dan ramah pengguna (Bhagat, 2022). Tidak hanya Flutter, *framework* antar platform lain juga dikembangkan untuk mengimbangi kemampuan Flutter seperti React Native (Facebook, sekarang Meta Platforms) dan Xamarin (Xamarin). Walaupun ketiganya merupakan *framework* yang dapat berjalan di berbagai platform seperti Android dan IOS dengan menggunakan kode yang sama, Flutter memiliki keunggulan yang dimana Flutter tidak terlalu bergantung pada perangkat lunak pihak ketiga. Flutter juga lebih konsisten dan kodenya dapat digunakan berulang-ulang untuk berbagai platform dikarenakan Flutter mengompilasi kodenya menjadi bahasa dasar platform, alih-alih membuat jembatan atau lapisan penghubung antar platform seperti “Jembatan JavaScript” di *framework* React Native (GÜLCÜOĞLU et al., 2021).

Beberapa penelitian yang menggunakan metode pendeteksi objek berbasis AI YOLO adalah penelitian oleh (Singha & Aydin, 2021), pengembangan sistem pendeteksi *drone* menggunakan YOLOv4 yang kemudian dilanjutkan pengembangan sistem pendeteksi drone menggunakan YOLOv5 dengan hasil yang lebih baik daripada YOLOv4 (Aydin & Singha, 2023). Penelitian oleh (Han et al., 2022), pengembangan pendeteksi kualitas buah ceri menggunakan YOLOv5. Penelitian oleh (Huang et al., 2023), mengklasifikasi kanker kulit menggunakan Hyperspectral Imaging-YOLOv5 (HSI-YOLOv5). Model HSI digunakan untuk mengurangi suara (gangguan citra) dalam gambar.

Dari tinjauan literasi dan beberapa penelitian yang sudah dirujuk, peneliti ingin mengusulkan penelitian “Evaluasi Kinerja Metode Kecerdasan Buatan Berbasis YOLOv5 Untuk Diagnosis Jenis Kanker Kulit Secara *Mobile Real Time*”. Peneliti ingin mengembangkan aplikasi *mobile* dengan *framework* Flutter yang mampu mengidentifikasi jenis kanker kulit menggunakan teknik deteksi visual YOLOv5.

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data berupa gambar sampel jenis jenis kanker dari Kaggle. Dataset kemudian disiapkan (pra proses) yang dimana gambar dalam dataset diatur ukurannya sebelum dimasukkan sebagai input dalam jaringan YOLOv5. Setelah pra proses, Data kemudian dianotasi atau dilabel untuk membantu algoritma pembelajaran mesin mengetahui objek yang diklasifikasi. Setelah anotasi, data kemudian dibagi menjadi tiga bagian, yaitu “*Training*” sebagai data yang dilatih model, “*Validating*” sebagai data yang divalidasi apakah penelitian sesuai dengan tujuan, terakhir “*Testing*” adalah data pengujian model setelah proses validasi selesai. Setelah dibagi menjadi 3 bagian, model YOLO kemudian diuji. Setelah dilatih, dilanjutkan dengan melakukan evaluasi akurasi YOLO menggunakan *Object Detection Metrics* seperti Intersection over Union (IoU), *Average Precision (AP)*, mAP, *Precision and Recall*, dan *F1 Score*. Hasil latihan model YOLOv5 kemudian diimplementasi dengan mengembangkan aplikasi berbasis android

Penelitian ini akan membantu pasien mendeteksi adanya tanda-tanda kanker kulit lebih awal dan membantu tenaga medis mendiagnosis jenis kanker kulit lebih awal sehingga jenis penanganan yang lebih layak dapat ditentukan lebih awal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dihadapi peneliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasi model YOLOv5 dalam mengidentifikasi jenis kanker kulit secara visual dan *mobile real time*.

2. Bagaimana pengaruh keseimbangan data dan rasio pembagian data dalam pelatihan model YOLOv5
3. Bagaimana kinerja model YOLOv5 dalam mengidentifikasi jenis kanker kulit secara visual dan *mobile real time*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian tidak menjangkau tingkat penyebaran kanker atau tingkat stadium kanker.
2. Penelitian tidak mendeteksi kondisi kulit diluar kanker kulit.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan aplikasi *mobile* menggunakan *framework* Flutter untuk implementasi YOLOv5 dalam mengidentifikasi jenis kanker kulit secara visual dan *mobile real time*.
2. Membandingkan hasil latihan model YOLOv5 terhadap keseimbangan dan rasio pembagian data serta penggunaan augmentasi data.
3. Mengukur kinerja YOLOv5 dalam mengidentifikasi jenis kanker kulit secara visual dan *mobile real time*

1.5 Manfaat

Hasil dan manfaat yang didapat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Membantu pasien dalam mendeteksi tanda-tanda kanker kulit lebih awal
2. Membantu tenaga medis mendiagnosis jenis kanker kulit lebih awal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit

Kulit merupakan antarmuka utama antara individu dan lingkungan. Oleh karena itu, ia memiliki fungsi fisiologis penting yang memungkinkan individu untuk hidup dengan aman, bahkan dalam kondisi eksternal yang berubah-ubah yang mungkin menimbulkan potensi ancaman. Fungsi fisiologis terpenting kulit adalah perlindungan terhadap berbagai bentuk rangsangan berbahaya termasuk trauma fisik dan kimia, mikroorganisme, dan radiasi. Kulit dan pelengkapannya seperti rambut juga penting untuk termoregulasi. Beberapa modalitas sensasi dimediasi melalui kulit sehingga memungkinkan individu mengenali konteks hubungannya dengan lingkungan. Kulit merupakan organ penyimpan air yang signifikan, khususnya pada lapisan hipodermis. Meskipun berperan sebagai penghalang, kulit mempunyai kemampuan untuk menyerap berbagai zat, terutama senyawa lipofilik. Emosi seperti ketakutan, marah, atau gembira dapat diekspresikan melalui kulit, akibat perubahan suplai darah, posisi rambut, atau gerakan otot yang menempel langsung ke dalam kulit. Sintesis vitamin D terjadi pada kulit yang terpapar sinar matahari dan merupakan tempat produksi utama dalam kesehatan normal. Penting bagi ahli bedah untuk memahami fungsi kulit untuk mengenali kapan masalah klinis terjadi dan untuk memahami bagaimana pasien dengan kelainan fisiologi kulit cenderung merespons cedera traumatis atau bedah (McKnight et al., 2022).

2.2 Kanker Kulit

Menurut (Das et al., 2021; Jones et al., 2020), Kanker adalah salah satu beban kesehatan utama di seluruh dunia. Statistik global menunjukkan hampir 10,0 juta kematian (9,9 juta tidak termasuk kanker kulit non-melanoma) akibat kanker pada

tahun 2020. Kanker yang paling sering didiagnosis termasuk kanker payudara pada wanita, kanker paru-paru, dan kanker prostat. Kanker paru-paru, hati, dan lambung merupakan kontributor utama kematian akibat kanker. Kanker kulit, termasuk melanoma maligna dan kanker kulit non-melanoma (NMSC), merupakan kanker yang umum terjadi pada ras Kaukasia dan insidensinya terus meningkat. Menurut US Skin Cancer Foundation, kanker kulit menyerang lebih banyak orang di Amerika setiap tahunnya dibandingkan gabungan semua jenis kanker lainnya.

Kanker kulit, termasuk karsinoma melanoma dan keratinosit (karsinoma sel basal dan karsinoma sel skuamosa kulit), merupakan salah satu kanker dengan insiden global tertinggi dibandingkan semua jenis kanker. Melanoma merupakan kanker kulit dengan prognosis terburuk. Jika didiagnosis sejak dini, penyakit ini dapat berhasil diobati dengan prosedur pembedahan. Namun, ketika terjadi metastasis, tingkat kelangsungan hidup berkurang secara signifikan. Diagnosis melanoma bergantung pada pemeriksaan klinis dan temuan klasik pada biopsi lesi. Contoh karsinoma sel basal (NMSC) dan karsinoma sel skuamosa. Keberhasilan kanker kulit bergantung pada diagnosis dini dan pengobatan yang tepat.

Melanoma dianggap sebagai jenis kanker kulit yang paling serius. Di seluruh dunia, angka kematian akibat melanoma jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kanker lainnya. Ada berbagai solusi bantuan komputer yang diusulkan untuk mengidentifikasi kanker melanoma dengan benar. Namun, tampilan visual nevus yang sulit membuat sangat sulit merancang sistem *Computer-Aided Diagnosis* (CAD) yang andal untuk mendeteksi melanoma secara akurat. Sistem yang ada menggunakan model pembelajaran mesin tradisional dan fokus pada fitur-fitur yang dipilih sendiri atau menggunakan metode berbasis pembelajaran mendalam yang menggunakan gambar lengkap untuk pembelajaran fitur. Ekstraksi fitur otomatis dan paling diskriminatif untuk kanker kulit tetap menjadi masalah penelitian penting yang selanjutnya dapat digunakan untuk pelatihan pembelajaran mendalam yang lebih baik. Selain itu, terbatasnya ketersediaan gambar juga menimbulkan masalah bagi model pembelajaran mendalam (Ashraf et al., 2020).

2.3 *Computer-Aided Diagnosis (CAD)*

Menurut (Doi, 2007) *Computer-Aided Diagnosis (CAD)* atau sistem diagnosis berbantuan komputer akhir-akhir ini menjadi bagian rutin dalam kegiatan klinis. Hal ini menunjukkan bahwa CAD mulai diterapkan secara luas dalam diagnosis pendeteksi dan pengidentifikasi kelainan yang berbeda-beda dalam gambar-gambar medis yang didapatkan dari berbagai pemeriksaan dengan menggunakan berbagai jenis penggambaran yang ada. CAD bahkan menjadi subjek bahasan yang besar bagi peneliti dalam pencitraan medis dan radiologi.

Dalam diagnosis, CAD digunakan sebagai “opini kedua” dan pemeriksa (ahli radiologi) yang mengambil keputusan terakhir. Dalam beberapa kasus ahli radiologi yang yakin dengan diagnosis yang mereka lakukan dapat setuju dengan keputusan CAD atau tidak setuju dan mengabaikan keputusan CAD, namun, ahli radiologi yang kurang yakin, mereka mengharapkan ketepatan keputusan yang mereka ambil dapat ditingkatkan dari hasil CAD.

Menurut (Ashraf et al., 2020; Hosny et al., 2023), Pengembangan CAD banyak dilakukan sehingga pemeriksaan yang dilakukan CAD semakin akurat dan semakin cepat. Dengan pemahaman yang lebih dalam, peneliti mulai mengembangkan sistem CAD yang sepenuhnya otomatis. Namun, merancang CAD terotomatisasi yang akurat dan secara otomatis mendeteksi fitur-fitur diskriminatif tanpa campur tangan manusia masih merupakan tugas yang menantang.

2.4 *Artificial Intelligent (AI)*

Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan merupakan cabang ilmu komputer yang menggunakan mesin dan program untuk meniru kecerdasan manusia dengan kumpulan teknologi. AI merupakan kunci penggerak dari *Fourth Industrial Revolution* atau Industri 4.0. *Machine learning (ML)* atau pembelajaran mesin merupakan Teknik AI yang menggunakan model statis dan algoritma yang dapat mempelajari data secara bertahap untuk memprediksi karakteristik dari sampel baru dan menjalankan tugas yang diinginkan (Das et al., 2021).

(Janiesch et al., 2021) mengatakan bahwa alih-alih mengkodekan pengetahuan ke dalam programnya, ML mencari hubungan dan pola yang ada dari contoh data. Kemajuan dalam ML telah memungkinkan munculnya sistem cerdas dengan kapasitas kognitif mirip manusia yang menembus kehidupan bisnis dan pribadi kita serta membentuk interaksi jaringan di pasar elektronik dengan segala cara, dengan perusahaan yang meningkatkan pengambilan keputusan untuk produktivitas, keterlibatan, dan karyawan. retensi, sistem asisten yang dapat dilatih beradaptasi dengan preferensi pengguna individu, dan agen perdagangan yang mengguncang pasar perdagangan keuangan tradisional. Kemampuan tersebut dalam komputer umumnya disebut sebagai kecerdasan buatan.

Dari buku yang ditulis oleh (Russell & Norvig, 2021), kecerdasan buatan memiliki manfaat. Manfaat dari kecerdasan buatan ialah kecerdasan buatan merupakan kecerdasan manusia yang dimiliki oleh suatu mesin yang memiliki batas fisik yang dapat melebihi kecepatan berpikir manusia. AI dan robotika memiliki peluang untuk membebaskan umat manusia dari pekerjaan kasar yang berulang-ulang dan secara signifikan meningkatkan produksi barang dan jasa dapat menandakan era yang damai dan berkelimpahan. Kapasitas untuk mempercepat penelitian ilmiah dapat menghasilkan solusi untuk menyembuhkan penyakit, perubahan iklim dan kekurangan sumber daya.

2.5 *Deep Learning* dan *Convolutional Neural Network* (CNN)

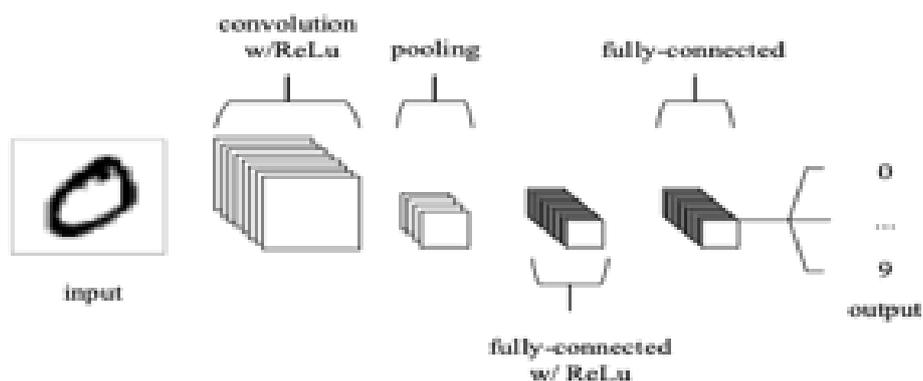
Deep Learning (DL) mengacu pada pembelajaran mesin yang menggunakan beberapa lapisan elemen komputasi sederhana dan dapat disesuaikan. Eksperimen telah dilakukan dengan jaringan seperti itu sejak tahun 1970-an, dan dalam bentuk jaringan saraf konvolusional CNN (Russell & Norvig, 2021). *Deep learning* adalah rangkaian luas teknik pembelajaran mesin yang hipotesisnya berbentuk sirkuit aljabar kompleks dengan kekuatan koneksi yang dapat disesuaikan. Kata Lapisan “dalam” mengacu pada fakta bahwa rangkaian biasanya disusun dalam banyak lapisan, yang berarti jalur komputasi dari masukan ke keluaran memiliki banyak langkah. *Deep learning* saat ini merupakan pendekatan yang paling banyak

digunakan untuk aplikasi seperti pengenalan objek visual, terjemahan mesin, pengenalan ucapan, sintesis ucapan, dan sintesis gambar.

Teknik deteksi objek berbasis deep learning dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu dua tahap dan satu tahap. Detektor objek dua tahap pada dasarnya adalah *Region-CNN* atau pendekatan metode CNN berbasis wilayah (*region*). Teknik satu tahap hanya melihat gambar satu kali. YOLO adalah contoh populer dari pendekatan semacam ini. Metode deteksi objek dua tahap menghabiskan lebih banyak waktu untuk menerima masukan. Oleh karena itu, detektor objek satu tahap dan *Single Shot Detector* (SSD) digunakan dalam berbagai aplikasi deteksi objek waktu nyata seperti di lokasi lalu lintas, isolator tegangan tinggi, dan deteksi pesawat (Singha & Aydin, 2021).

Convolutional Neural Network (CNN) adalah teknologi *deep learning* paling umum yang menjadikan deteksi lebih akurat dan instan dengan menerapkan beberapa lapisan konvolusional dan komputasi konvolusional. Semua algoritme pendeteksian objek menggunakan jaringan saraf konvolusional. (Joiya, 2022).

CNN pada dasarnya memiliki tiga jenis lapisan yang terdiri dari *convolution layer*, *pooling*, dan, *fully-connected*, untuk membentuk arsitektur CNN.



Gambar 1. Arsitektur CNN (Saxena, 2022).

Fungsi dasar arsitektur CNN pada gambar 1 dapat dipecah dan dijelaskan menjadi empat bagian:

1. *Input layer* berperan sebagai lapisan yang menyimpan nilai piksel dalam citra

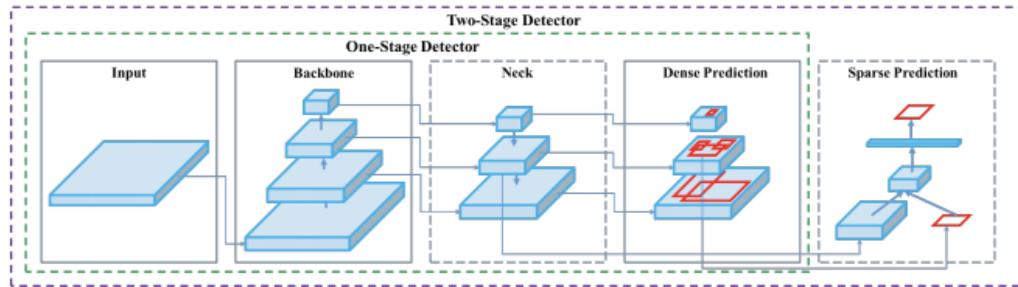
2. *Convolutional layer* mendeterminasi keluaran dari neuron yang terhubung dengan area lokal dari input citra dengan melakukan perhitungan produk skalar antara bobot dan daerah yang terhubung.
3. *Pooling layer* berperan dengan melakukan *down-sampling* di sepanjang dimensi spasial dari input yang diberikan, mengurangi jumlah parameter yang aktif.
4. *Fully-connected layer*. Lapisan yang digunakan untuk melakukan transformasi pada dimensi data agar data dapat diklasifikasikan secara linear.

2.6 *You Only Look Once (YOLO)*

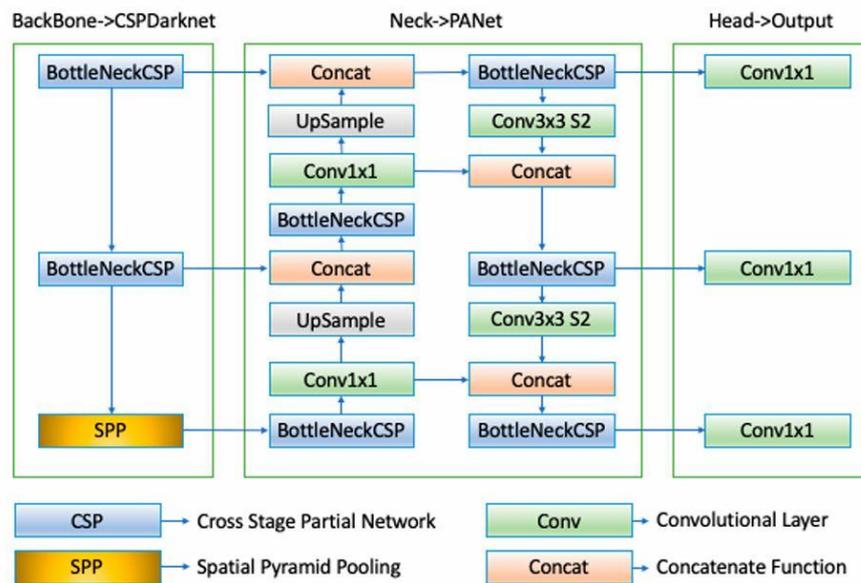
You Only Look Once (YOLO) adalah algoritma baru yang berarti bahwa sebuah gambar dapat memprediksi objek dan lokasinya dalam satu pandangan. Ia menggunakan jaringan saraf untuk mendeteksi objek secara real-time. Algoritme ini telah berkembang selama bertahun-tahun, dimulai dengan YOLO v1 kemudian dikembangkan menjadi Yolo v2, YOLO v3, YOLO v4. YOLO adalah algoritma canggih yang digunakan untuk deteksi objek satu tahap. YOLO pada dasarnya dapat mencapai kinerja real-time pada komputer standar dengan unit pemrosesan grafis (GPU). Seluruh kerangkanya hanya perlu menggunakan struktur CNN yang relatif sederhana untuk secara langsung menyelesaikan regresi deteksi target guna memprediksi posisi kotak pembatas dan kelas kotak kandidat. YOLO berfokus pada keseluruhan gambar, memprediksi kotak pembatas, kemudian menghitung probabilitas kelas untuk memberi label pada kotak tersebut. (Joiya, 2022).

YOLO memiliki arsitektur *one-stage detector* yang terdiri atas tiga komponen (lihat gambar 2):

1. *Backbone*: Jaringan saraf konvolusional yang mengumpulkan dan membentuk fitur gambar pada perincian berbeda.
2. *Neck*: Serangkaian lapisan untuk mencampur dan menggabungkan fitur gambar untuk meneruskannya ke prediksi.
3. *Head*: Menggunakan fitur dari *neck* dan mengambil langkah prediksi kotak dan kelas.



Gambar 2. Arsitektur *Two-Stage* dan *One-Stage Detector* (Solawetz, 2020).



Gambar 3. Arsitektur YOLOv5 (Aydin & Singha, 2023).

2.7 *Hyperparameter*

hyperparameter adalah nilai-nilai yang tidak dipelajari oleh model tetapi disesuaikan oleh perancang sehubungan dengan arsitektur (misalnya, jenis arsitektur, kedalaman jaringan, jumlah saringan atau neuron), atau pelatihan (*optimizer, learning rate, epochs, batch size*) (Chavarro et al., 2023).

1. *Epoch* merupakan siklus algoritma pelatihan dataset.
2. *Batch size* merupakan jumlah sampel latihan dalam satu siklus.
3. *Optimizer* merupakan parameter yang membagi tugas pelatihan untuk mengoptimalkan perangkat keras.

4. *Learning rate* merupakan nilai parameter yang digunakan untuk mengatur bobot pelatihan.

2.8 *Confusion Matrix*

Confusion Matrix merupakan matriks yang merangkum performa model pembelajaran mesin pada sekumpulan data pengujian. Ini adalah cara untuk menampilkan jumlah kejadian yang akurat dan tidak akurat berdasarkan prediksi model. Hal ini sering digunakan untuk mengukur kinerja model klasifikasi, yang bertujuan untuk memprediksi label kategorikal untuk setiap contoh masukan (Sharma, 2018).

1. *Precision* untuk mengukur presisi prediksi positif model

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

Keterangan:

TP = data positif yang terdeteksi benar pada kelas.

FP = data negatif yang terdeteksi sebagai data positif pada kelas.

2. *Recall* untuk mengukur efektifitas dari model untuk mengidentifikasi semua data positif dari dataset.

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

Keterangan:

TP = data positif yang terdeteksi benar pada kelas.

FN = data positif yang terdeteksi sebagai data negatif pada kelas.

3. *Accuracy* untuk mengukur peforma model keseluruhan.

$$Accuracy = \frac{(TP+TN)}{(TP+FP+ FN+TN)}$$

Keterangan:

TP = data positif yang terdeteksi benar pada kelas.

FP = data negatif yang terdeteksi sebagai data positif pada kelas.

FN = data positif yang terdeteksi sebagai data negatif pada kelas.

TN = data negatif yang terdeteksi benar pada kelas.

4. *F1-Score* untuk mengukur peforma kelas.

$$F1\ Score = \frac{2(Recall*Precision)}{(Recall+Precision)}$$

2.9 Sistem Operasi dan Aplikasi *Mobile Android*

Android adalah salah sistem operasi seluler generasi baru yang berjalan pada Kernel Linux. Pengembangan Aplikasi Seluler Android didasarkan pada kode bahasa Java, karena memungkinkan pengembang untuk menulis kode dalam bahasa Java. Kode-kode ini dapat mengontrol perangkat seluler melalui perpustakaan Java yang diaktifkan Google. Ini adalah platform penting untuk mengembangkan aplikasi seluler menggunakan tumpukan perangkat lunak yang disediakan di Google Android SDK. OS seluler Android menyediakan lingkungan yang fleksibel untuk Pengembangan Aplikasi Seluler Android karena pengembang tidak hanya dapat menggunakan Perpustakaan Java Android tetapi juga dimungkinkan untuk menggunakan IDE Java yang biasa. Pengembang perangkat lunak di Mobile Development India memiliki keahlian dalam mengembangkan aplikasi berbasis Android Java Libraries dan alat penting lainnya. Pengembangan Aplikasi Seluler Android dapat digunakan untuk membuat aplikasi pihak ketiga yang inovatif dan dinamis. Mobile Development India telah bekerja secara ekstensif pada proyek-proyek mulai dari perangkat lunak game, penyelenggara, pemutar media, editor gambar, dan lain sebagainya (Holla & Katti, 2012).

2.10 Flutter Framework

Menurut (Bhagat, 2022), Salah satu masalah utama yang dihadapi pengembang aplikasi seluler sekarang adalah pengembangan lintas platform. Dalam hal ini, pengembang harus memilih Sistem Operasi yang berarti memilih Android atau iOS atau keduanya, dan mengembangkan aplikasi yang sesuai. Jika suatu aplikasi ingin dikembangkan di Android dan iOS, maka mereka harus membuat kode di platform yang berbeda, perlu mempelajari bahasa pemrograman yang berbeda sesuai dengan Sistem Operasi yang sesuai, pengujian yang berbeda perlu dilakukan yang juga merupakan tugas yang sulit. karena memakan waktu dan menghabiskan banyak biaya.

Untuk mengatasi masalah lintas platform, Google telah mengembangkan platform yang dikenal sebagai Flutter yang merupakan kerangka kerja interaktif pengguna seluler sumber terbuka, diumumkan pada tahun 2017, dan menduduki peringkat ke-34 di antara perangkat lunak, yang digunakan untuk pengembangan aplikasi. Flutter dapat mengembangkan aplikasi asli dengan satu kode. Secara sederhana, fungsi flutter yang merupakan sebuah perangkat lunak adalah memungkinkan seorang pengembang untuk mengembangkan aplikasi mobile baik sistem operasi yaitu Android dan iOS, hanya dengan satu basis kode. Artinya Anda dapat menggunakan satu bahasa pemrograman dan satu basis kode untuk membuat dua aplikasi berbeda (untuk iOS dan Android). Satu-satunya bahasa pemrograman yang menggunakan flutter dikenal sebagai Dart. Dart digunakan untuk tujuan back-end dan front-end untuk meningkatkan pengalaman pengguna saat menggunakan aplikasi. Terlepas dari kenyataan bahwa flutter dikembangkan baru-baru ini, flutter tidak hanya memecahkan masalah lintas platform tetapi juga memberikan beberapa manfaat tambahan yang bermanfaat bagi pengembang serta industri perangkat lunak.

Flutter memiliki keunggulan terhadap *framework* antar platform lain seperti React Native (Facebook, sekarang Meta Platforms) dan Xamarin (Xamarin). Walaupun ketiganya merupakan *framework* yang dapat berjalan di berbagai platform seperti Android dan IOS dengan menggunakan kode yang sama, Flutter tidak terlalu bergantung pada perangkat lunak pihak ketiga. Flutter juga lebih konsisten dan

kodenya dapat digunakan berulang-ulang untuk berbagai platform dikarenakan Flutter mengompilasi kodenya menjadi bahasa dasar platform, alih-alih membuat jembatan atau lapisan penghubung antar platform seperti “Jembatan JavaScript” di *framework* React Native (GÜLCÜOĞLU et al., 2021)

2.11 Tensorflow

Tensorflow merupakan library *Machine Learning* bersifat *open-source* yang di develop oleh *Google* di tahun 2015. Tensorflow menggunakan data *graphs* untuk membuat model. Pada penelitian ini, Model yang digunakan merupakan versi ringan dari Tensorflow yaitu Tensorflow Lite yang didesain khusus untuk pengaplikasian *mobile*.

2.12 Roboflow

Roboflow adalah sebuah aplikasi berbasis web yang membantu pengolahan data gambar. Roboflow memiliki fitur anotasi gambar, augmentasi gambar, pengecekan kualitas data, dan melakukan pelatihan data.

2.13 Visual Studio Code

Visual Studio Code adalah software *text editor* yang serbaguna dengan fitur utamanya yang dapat memasang berbagai jenis *extention* untuk menjalankan berbagai program dengan bahasa yang berbeda-beda dan mampu mengerjakan berbagai proyek mulai dari program sederhana hingga aplikasi kompleks

2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dan pembandingan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, penelitian terdahulu akan dijadikan sebagai acuan dalam upaya tinjauan pustaka terkait dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Penelitian	Hasil
1	(Elshahawy et al., 2023)	Membuat sistem CAD pendeteksi awal kanker kulit melanoma menggunakan Hybrid YOLOv5 dan ResNet	Sistem CAD berhasil dikembangkan dengan rata-rata matriks peforma 99.0%, presisi 98.6%, DSC 98.8%, <i>recall</i> 99.5, Akurasi 98.3%, and mAP 98.7
2	(Singha & Aydin, 2021)	Membuat Sistem Pendeteksi <i>drone</i> menggunakan YOLOv4	Sistem deteksi berhasil dikembangkan hasil presisi <i>mean Average Precision</i> (mAP) 74.36%
3	(Aydin & Singha, 2023)	Mengembangkan Sistem Pendeteksi <i>drone</i> menggunakan YOLOv5	Akurasi berhasil ditingkatkan dari 74,36% menjadi 95,93%
4	(Han et al., 2022)	Mendeteksi kualitas ceri menggunakan YOLOv5 berdasarkan algoritma <i>Flood Filling</i>	Sistem pendeteksi berhasil dikembangkan dengan hasil akurasi

No	Peneliti	Penelitian	Hasil
			deteksi dalam Latihan mencapai 99,6%
5	(Huang et al., 2023)	mengklasifikasi kanker kulit menggunakan Hyperspectral Imaging-YOLOv5 (HSI-YOLOv5)	Sistem berhasil dikembangkan dengan akurasi 72,2% sampai 79,4%. Model HSI digunakan untuk mengurangi suara (gangguan citra) dalam gambar
6	(Zhang et al., 2022)	Sistem pendeteksi kendaraan secara <i>real-time</i> menggunakan YOLOv5	Sistem pendeteksi kendaraan berhasil dikembangkan dengan akurasi 74% sampai 92%
7	(Zhao et al., 2023)	Sistem pendeteksi masker menggunakan YOLOv4 secara <i>real-time</i>	Sistem pendeteksi kendaraan berhasil dikembangkan dengan akurasi rata-rata 96%
8	(Chen et al., 2022)	Pendeteksi penyakit tanaman menggunakan YOLOv5	Sistem berhasil dikembangkan dengan presisi dari 86.5% hingga mencapai 86.8%
9	(Yao et al., 2021)	Sistem pendeteksi <i>Real-Time</i> kelainan buah kiwi menggunakan YOLOv5	Berhasil meningkatkan nilai mAP YOLOv5 bawaan dari 85%

No	Peneliti	Penelitian	Hasil
			menjadi 94.7% dengan YOLOv5 yang dikembangkan peneliti.
10	(Jubayer et al., 2021)	Sistem pendeteksi jamur pada makanan menggunakan YOLOv5	mAP YOLOv5 mencapai rata-rata 99.50%, lebih tinggi dari YOLOv3 dengan mAP 99.50% dan YOLOv4 dengan mAP 98.25%
11	(Wang et al., 2022)	Sistem pendeteksi asap menggunakan YOLOv5 yang sudah dikembangkan.	model yang dikembangkan mendapatkan mAP 91,8%, lebih tinggi dari model dasar YOLOv5m dengan mAP 87,4%. Namun, model mendapat penurunan FPS dari model dasar, dari 102 FPS menjadi 85 FPS

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan selama semester Genap 2023-2024. Penelitian akan dilaksanakan di Universitas Lampung dengan Alamat Jl.Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedung Meneng, Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat Penelitian

Perangkat Keras yang digunakan peneliti adalah satu unit laptop HP Pavilion Gaming Laptop 15 dk1xxx dengan spesifikasi:

1. *CPU* : Intel® Core™ i7-10750H, 2,60GHz
2. *Memory* : DDR4 24GB-3200MHz
3. *HHD* : 1 TB
4. *SSD* : 256 GB
5. *GPU* : NVIDIA GeForce GTX 1650

Perangkat Lunak (*Software*)

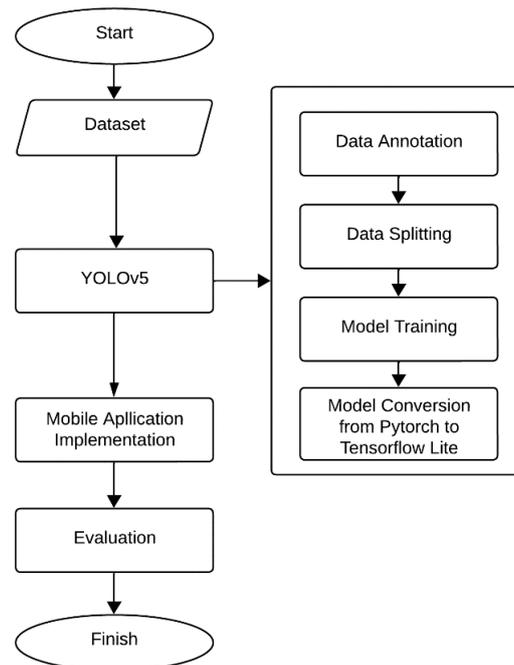
Perangkat Lunak yang digunakan peneliti dalam pengembangan sistem adalah sebagai berikut:

1. *Operating System* : Windows 10 Home Edition (64-Bit)
2. *Text Editor* : Visual Studio Code
3. *Annotation* : Roboflow
4. *Model Training* : Google Colab

b. Bahan Penelitian

Bahan penelitian berupa dataset dari Kaggle berupa citra kanker kulit “*Skin Cancer ISIC The International Skin Imaging Collaboration*” (<https://www.kaggle.com/datasets/nodoubttome/skin-cancer9-classesisic>).

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3. Tahapan Penelitian

a. Pengumpulan Dataset

Dataset yang akan digunakan sebagai model sistem adalah dataset dari Kaggle, yaitu *Skin Cancer ISIC The International Skin Imaging Collaboration* dengan total 9 jenis kanker kulit. Dataset yang disiapkan ada dua, yaitu dataset “*Balanced*” dengan jumlah masing masing jenis kanker 200 citra dengan total 1800 citra dan dataset “*Unbalanced*” dengan total 2239 citra. Penyeimbangan setiap kelas untuk dataset “*Balanced*” akan dilakukan dengan metode *Random Over Sampling* dan *Under Sampling*. *Random Over Sampling* digunakan untuk menggandakan gambar pada kelas yang memiliki data kurang dari 200 dan memanipulasi gambar yang digandakan dengan cara memotong dan mengubah *zoom* gambar untuk menghindari pelatihan gambar yang sama. *Under Sampling* digunakan untuk

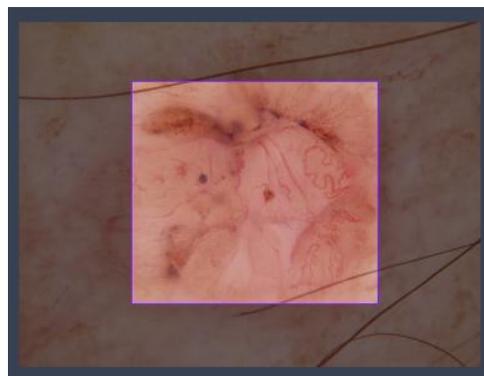
mengurangi gambar secara acak dari kelas dengan data lebih dari 200 gambar. Penjabaran dataset dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Dataset

No.	Jenis Kanker Kulit	Jumlah	
		<i>Balanced</i>	<i>Unbalanced</i>
1	Actinic Keratosis	200	114
2	basal cell carcinoma	200	376
3	dermatofibroma	200	95
4	melanoma	200	438
5	nevus	200	357
6	pigmented benign keratosis	200	462
7	seborrheic keratosis	200	77
8	squamous cell carcinoma	200	181
9	vascular lesion	200	139
Total:		1800	2239

b. Anotasi Data

Dataset yang sudah disiapkan kemudian diberikan label pada setiap citra dengan tujuan untuk menyimpan Informasi. Proses label dilakukan dengan memberikan bounding box beserta nama kelas pada setiap objek citra. Contoh citra yang dianotasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 4. Contoh anotasi citra.

c. Pembagian Data

Dataset yang telah dianotasi akan dibagi menjadi tiga bagian sebagai sampel latihan, sampel pengujian, dan sampel validasi. Sampel latihan adalah bahan utama dalam pelatihan data. Sampel validasi dilakukan untuk membantu data latihan. Pada tahap validasi dilakukan dengan penyetelan berapa parameter klasifikasi dan sampel latihan yang digunakan dalam latihan. Sampel pengujian dilakukan untuk menguji dataset yang telah melewati proses validasi. Dalam pembagian data, ada empat scenario pembagian data yang dapat dilihat dalam tabel 3.

Tabel 3. Skenario pembagian data.

No	Pembagian %		
	Training	Validating	Testing
1	70	20	10
2	60	20	20
3	50	20	30
4	40	20	40

d. Pelatihan Model YOLO

Dataset yang telah dibagi kemudian dilatih sesuai dengan algoritma YOLOv5 untuk menghasilkan model YOLOv5 yang akan digunakan sebagai model pengidentifikasi jenis kanker secara *real-time*. Dari dokumentasi YOLOv5, alat yang digunakan adalah google Colab. *Hyperparameter* diatur seperti berikut pada tabel 3.

Tabel 4. *Hyperparameter* pelatihan

No	Nama Parameter	Nilai
1	<i>Epoch</i>	150
2	<i>Batch size</i>	16
3	<i>Optimizer</i>	SGD
4	<i>Learning rate</i>	0,01

Dari tabel 3, pelatihan data dilakukan dengan *Epoch* 150 untuk melakukan siklus pengujian sebanyak 150 kali. *Batch size* 16 digunakan untuk melatih 16 data dalam satu siklus dan memperbarui berat latihan. *Optimizer* SGD merupakan opsi bawaan dari YOLOv5. *Learning rate* yang digunakan adalah pengaturan bawaan dari YOLOv5 yaitu sebesar 0.01.

e. Evaluasi YOLO

Model yang didapatkan setelah latihan akan dievaluasi untuk mendapatkan akurasi identifikasi model. Hasil dari keberhasilan model dapat dianalisa menggunakan *confusion matrix* dengan menentukan *accuracy*, *F1-score*, *recall* dan *precision*.

f. Konversi Model YOLO menjadi Model Tensorflow Lite

Setelah evaluasi, model kemudian dikonversi menjadi Tensorflow Lite model, proses ini dilakukan agar model dapat digunakan pada aplikasi mobile di sistem lokal tanpa perantara. Tahapan ini memerlukan library Tensor Flow pada Python.

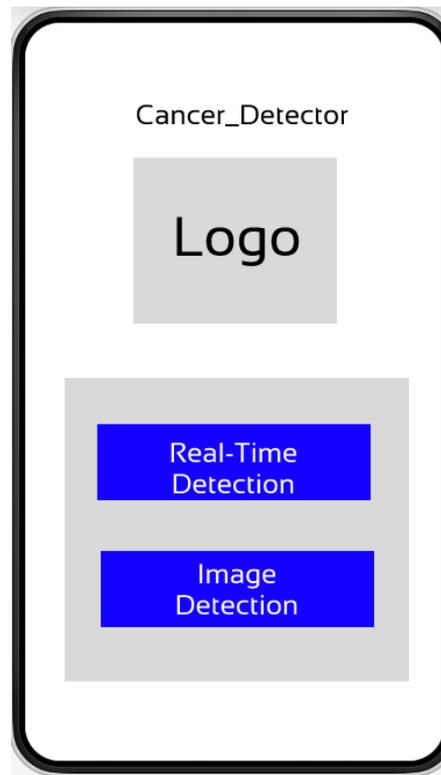
g. Pengembangan Aplikasi *Mobile*

Aplikasi yang dikembangkan akan menggunakan *framework* Flutter. Dalam mengembangkan aplikasi, ada beberapa fitur utama yang harus dipenuhi aplikasi ialah deteksi kamera dimana kamera perangkat dapat menghasilkan kotak batasan yang mengidentifikasi kanker kulit dan jenis kanker kulit yang disorot.

Purwarupa (*Prototype*) aplikasi dibuat untuk mempermudah pengembangan aplikasi dengan membuat gambaran aplikasi yang akan dikembangkan. Dengan purwarupa, pengembangan akan lebih terarah dan terdokumentasi kelengkapannya dengan rencana pengembangan.

Purwarupa aplikasi dapat dilihat di gambar 6-10:

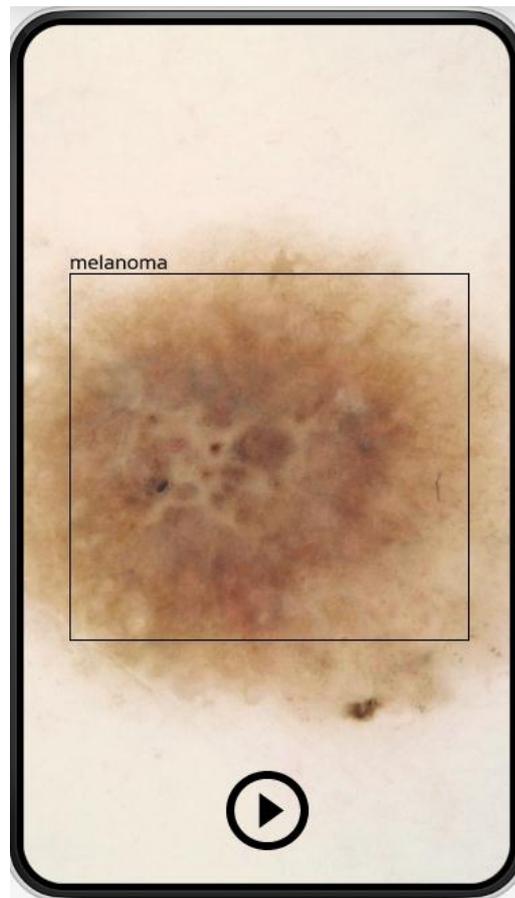
1. Layar Utama



Gambar 6. *Prototype* tampilan “Layar Utama”

Layar utama pada gambar 6 adalah halaman pertama saat pertama kali membuka aplikasi. Halaman ini memiliki tombol “*Real-Time Detection*” untuk melakukan deteksi kanker kulit secara langsung menggunakan kamera perangkat. Tombol “*Real-Time Detection*” akan membuka kamera untuk melakukan deteksi *realtime* dan mengidentifikasi objek yang disorot. Tombol “*Image Detection*” Untuk melakukan deteksi kanker kulit menggunakan gambar yang tersimpan dalam penyimpanan perangkat. Tombol “*Image Detection*” akan membuka halaman yang berisi gambar-gambar yang tersimpan dalam perangkat.

2. Layar *Real-Time Detection*

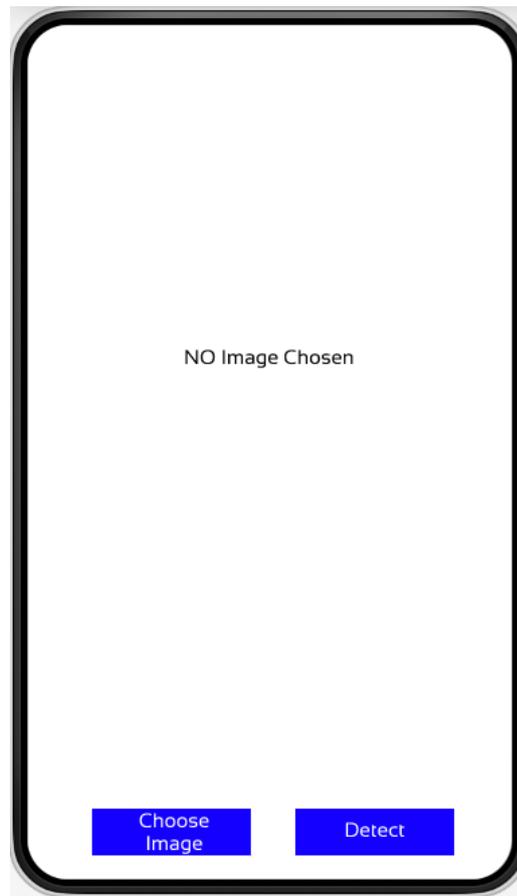


Gambar 7. *Prototype* tampilan “*Real-Time Detection*”

Gambar 7 adalah tampilan kamera yang akan melakukan deteksi kanker secara langsung. Pada awalnya, aplikasi tidak langsung melakukan deteksi namun sorotan dari kamera akan muncul, menunjukkan bahwa kamera siap digunakan untuk deteksi. Tombol yang berada dibawah layer berguna untuk memulai deteksi jenis kanker yang disorot kamera secara langsung.

Saat melakukan deteksi, gambar yang disorot, jika kanker terdeteksi, akan memberikan kotak atau “*Bounding Box*” untuk memberitahu dimana kanker terdeteksi. Diatas kotak akan ada nama kelas atau jenis kanker yang terdeteksi. Skor keyakinan model dalam mendeteksi gambar juga akan ditunjukkan.

3. Layar *Image Detection_NoImage*

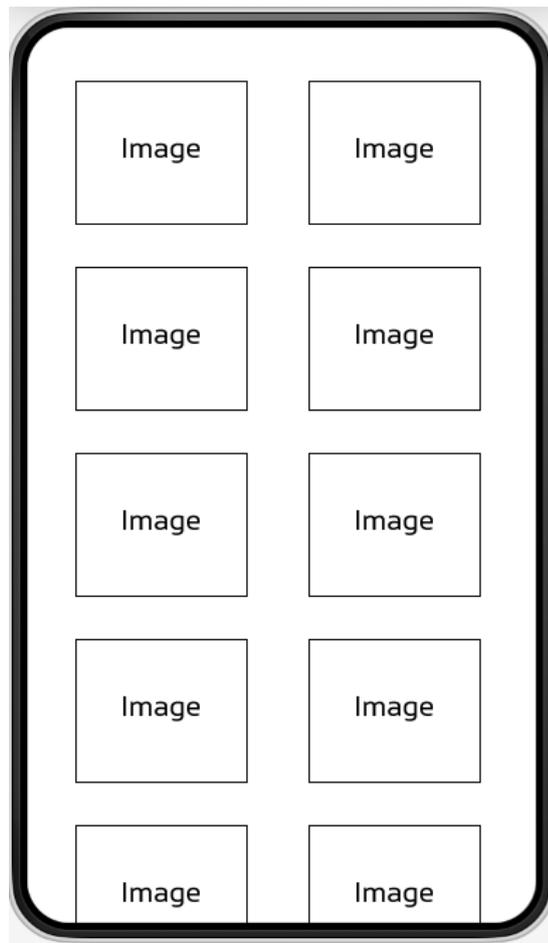


Gambar 8. *Prototype* tampilan "*Image Detection_NoImage*"

Gambar 8 adalah tampilan awal dari deteksi kanker melalui gambar yang akan melakukan deteksi kanker secara langsung. Halaman memiliki dua tombol. Tombol "*Choose Image*" adalah tombol yang akan membuka halaman yang berisi gambar-gambar yang dapat dipilih pengguna untuk mendeteksi kanker melalui gambar. Tombol "*Detect*" adalah tombol yang memulai deteksi gambar setelah gambar dipilih.

4. Layar *Image Detection_Pick Image*

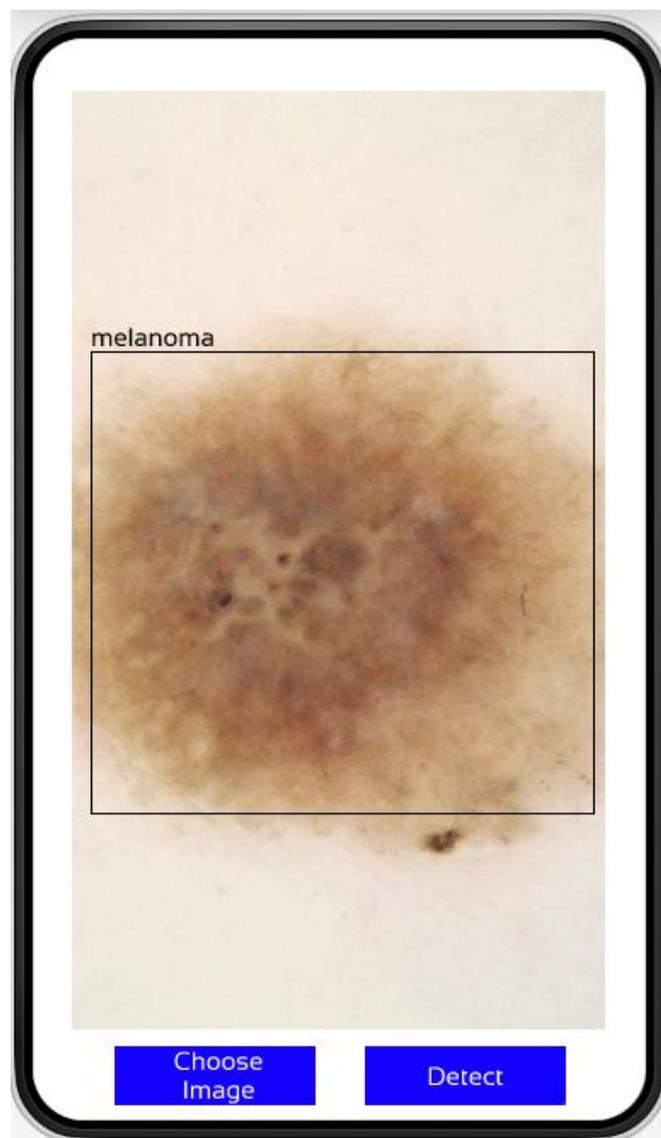
Gambar 9 adalah tampilan aplikasi saat pengguna akan memiliki gambar kanker yang akan dideteksi adalah tombol yang memulai deteksi gambar setelah gambar dipilih.



Gambar 9. *Prototype* tampilan “*Image Detection_Pick*”

5. Layar *Image Detection_Image*

Gambar 10 adalah tampilan aplikasi setelah pengguna memilih gambar kanker yang akan dideteksi. Setelah memilih gambar, gambar yang dipilih akan ditampilkan pada layar.



Gambar 9. *Prototype* tampilan “*Image Detection_Image*”

Pada gambar 10, setelah pengguna memilih gambar yang akan dideteksi, pengguna dapat menekan tombol “*Detect*” untuk memulai deteksi jenis kanker yang ada dalam gambar. Pengguna juga dapat menekan tombol “*Choose Image*” untuk memilih gambar lain untuk dideteksi.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa keseimbangan data kelas dan perbedaan rasio pembagian data mempengaruhi tingkat *precision*, *recall*, *F1 Score*, dan mAP model YOLOv5. Dari empat hasil *training* dataset “*Unbalanced*”, dapat dilihat seiring berkurangnya data untuk melatih model, performa kelas dengan data lebih sedikit mengalami penurunan sedangkan beberapa kelas dengan data lebih banyak mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena model tidak cukup berlatih untuk kelas yang jumlah datanya sedikit sedangkan kelas dengan data lebih banyak masih cukup buat berlatih. Dari empat hasil *training* dataset “*Balanced*”, performa setiap kelas sama-sama menurun seiring berkurangnya data latih, namun tidak sebesar penurunan dataset “*Unbalanced*”
2. Penelitian ini menunjukkan bahwa model YOLOv5 dapat diimplementasi pada aplikasi Android untuk mendeteksi jenis kanker kulit secara visual menggunakan *smartphone* tanpa menggunakan perangkat yang khusus dirancang untuk diagnosis jenis kanker kulit.
3. Penelitian ini menghasilkan model YOLOv5 dengan bentuk Pytorch, berhasil dikonversi menjadi model YOLOv5 dengan bentuk Tensorflow Lite untuk penggunaan perangkat seluler. Model dan berhasil diimplementasi dengan hasil *testing* aplikasi menunjukkan akurasi 87,2% dan tingkat *error* sebesar 12,2%. Rata-rata performa kelas model dari hasil latihan adalah 0.955, 0.900, and 0.927 untuk masing-masing *Precision*, *Recall*, dan *F1 Score*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan peneliti untuk penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Menyusun dataset kanker kulit dengan kelas yang lebih besar perbedaan visual gambar dengan kelas lain.
2. Menggunakan versi YOLO dan berat aksitektur berbeda seperti YOLOv5n, YOLOv7n, YOLOv8n, dan lain sebagainya.
3. Menggunakan algoritma hybrid seperti HSI-YOLO, YOLO dan Resnet, dan lain sebagainya.
4. Implementasi model dengan *framework* lain seperti React Native.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, R., Afzal, S., Rehman, A. U., Gul, S., Baber, J., Bakhtyar, M., Mehmood, I., Song, O. Y., & Maqsood, M. (2020). Region-of-Interest Based Transfer Learning Assisted Framework for Skin Cancer Detection. In *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 147858–147871. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014701>
- Aydin, B., & Singha, S. (2023). Drone Detection Using YOLOv5. In *Eng*, Vol. 4, No. 1, pp. 416–433. <https://doi.org/10.3390/eng4010025>
- Bhagat, S. A. (2022). Review on Mobile Application Development Based on Flutter Platform. In *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 803–809. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39920>
- Chavarro, A. F., Renza, D., & Ballesteros, D. M. (2023). Influence of Hyperparameters in Deep Learning Models for Coffee Rust Detection. In *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 13, No. 7. <https://doi.org/10.3390/app13074565>
- Chen, Z., Wu, R., Lin, Y., Li, C., Chen, S., Yuan, Z., Chen, S., & Zou, X. (2022). Plant Disease Recognition Model Based on Improved YOLOv5. *Agronomy*, Vol 12, No. 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020365>
- Das, K., Cockerell, C. J., Patil, A., Pietkiewicz, P., Giulini, M., Grabbe, S., & Goldust, M. (2021). Machine learning and its application in skin cancer. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 18, No. 24, pp. 1–10. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413409>
- Doi, K. (2007). Computer-aided diagnosis in medical imaging: Historical review, current status and future potential. In *Computerized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 31, No.s 4–5, pp. 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2007.02.002>
- Elshahawy, M., Elnemr, A., Oproescu, M., Schiopu, A. G., Elgarayhi, A., Elmogy, M. M., & Sallah, M. (2023). Early Melanoma Detection Based on a Hybrid YOLOv5 and ResNet Technique. In *Diagnostics*, Vol. 13, No. 17, pp. 1–18.

- <https://doi.org/10.3390/diagnostics13172804>
- GÜLCÜOĞLU, E., USTUN, A. B., & SEYHAN, N. (2021). Comparison of Flutter and React Native Platforms. In *Journal of Internet Applications and Management*, Vol. 12, No. 2, pp. 129–143. <https://doi.org/10.34231/iuyd.888243>
- Han, W., Jiang, F., & Zhu, Z. (2022). Detection of Cherry Quality Using YOLOV5 Model Based on Flood Filling Algorithm. In *Foods*, Vol. 11, No. 8, pp. 1–9. <https://doi.org/10.3390/foods11081127>
- Holla, S., & Katti, M. M. (2012). Android Based Mobile Application Development and its Security. In *International Journal of Computer Trends and Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 486–490.
- Hosny, K. M., Elshoura, D., Mohamed, E. R., Vrochidou, E., & Papakostas, G. A. (2023). Deep Learning and Optimization-Based Methods for Skin Lesions Segmentation: A Review. In *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3303961>
- Huang, H. Y., Hsiao, Y. P., Mukundan, A., Tsao, Y. M., Chang, W. Y., & Wang, H. C. (2023). Classification of Skin Cancer Using Novel Hyperspectral Imaging Engineering via YOLOv5. In *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 12, No. 3, pp. 1–10. <https://doi.org/10.3390/jcm12031134>
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. In *Electronic Markets*, Vol. 31, No. 3, pp. 686–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>
- Joiya, F. (2022). Object Detection: Yolo VS Faster R-CNN. In *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, Vol. 4, No. 9, pp. 1911–1915. <https://doi.org/10.56726/irjmets30226>
- Jones, O. T., Ranmuthu, C. K. I., Hall, P. N., Funston, G., & Walter, F. M. (2020). Recognising Skin Cancer in Primary Care. In *Advances in Therapy*, Vol. 37, No. 1, pp. 603–616. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01130-1>
- Jubayer, F., Soeb, J. A., Mojumder, A. N., Paul, M. K., Barua, P., Kayshar, S., Akter, S. S., Rahman, M., & Islam, A. (2021). Detection of mold on the food surface using YOLOv5. In *Current Research in Food Science*, Vol. 4, pp. 725–278. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.10.003>
- Li, L. F., Wang, X., Hu, W. J., Xiong, N. N., Du, Y. X., & Li, B. S. (2020). Deep Learning in Skin Disease Image Recognition: A Review. In *IEEE Access*, Vol. 8,

- pp. 208264–208280. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3037258>
- McKnight, G., Shah, J., & Hargest, R. (2022). Physiology of the skin. In *Surgery (United Kingdom)*, Vol. 40, No. 1, pp. 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2021.11.005>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence A Modern Approach (4th Edition). In *Pearson Series*.
- Saxena, A. (2022). An Introduction to Convolutional Neural Networks. In *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, Vol. 10, No. 12, pp. 943–947. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.47789>
- Sharma, A. (2018). *Confusion Matrix in Machine Learning*. Www.Geeksforgeeks.Org. <https://www.geeksforgeeks.org/confusion-matrix-machine-learning/>
- Singha, S., & Aydin, B. (2021). Automated drone detection using YOLOv4. In *Drones*, Vol. 5, No. 3, pp. 1–20. <https://doi.org/10.3390/drones5030095>
- Solawetz, J. (2020). *What is YOLOv5? A Guide for Beginners*. Roboflow. <https://blog.roboflow.com/yolov5-improvements-and-evaluation/>
- Waheed, S. R., Saadi, S. M., Rahim, M. S. M., Suaib, N. M., Najjar, F. H., Adnan, M. M., & Salim, A. A. (2023). Melanoma Skin Cancer Classification based on CNN Deep Learning Algorithms. In *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol. 19, No. 3, pp. 299–305. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v19n3.2900>
- Wang, Z., Wu, L., Li, T., & Shi, P. (2022). A Smoke Detection Model Based on Improved YOLOv5. In *Mathematics*, Vol. 10, No. 7, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3390/math10071190>
- Yao, J., Qi, J., Zhang, J., Shao, H., Yang, J., & Li, X. (2021). A real-time detection algorithm for kiwifruit defects based on yolov5. *Electronics (Switzerland)*, Vol 10, No. 14. <https://doi.org/10.3390/electronics10141711>
- Zhang, Y., Guo, Z., Wu, J., Tian, Y., Tang, H., & Guo, X. (2022). Real-Time Vehicle Detection Based on Improved YOLO v5. In *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 14, No. 19, pp. 1–19. <https://doi.org/10.3390/su141912274>
- Zhao, G., Zou, S., & Wu, H. (2023). Improved Algorithm for Face Mask Detection Based on YOLO-v4. In *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 16, No. 1, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00286-7>