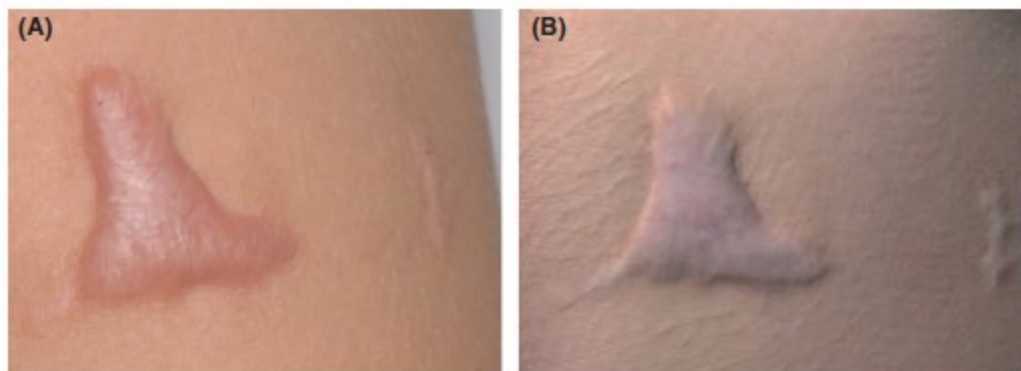


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

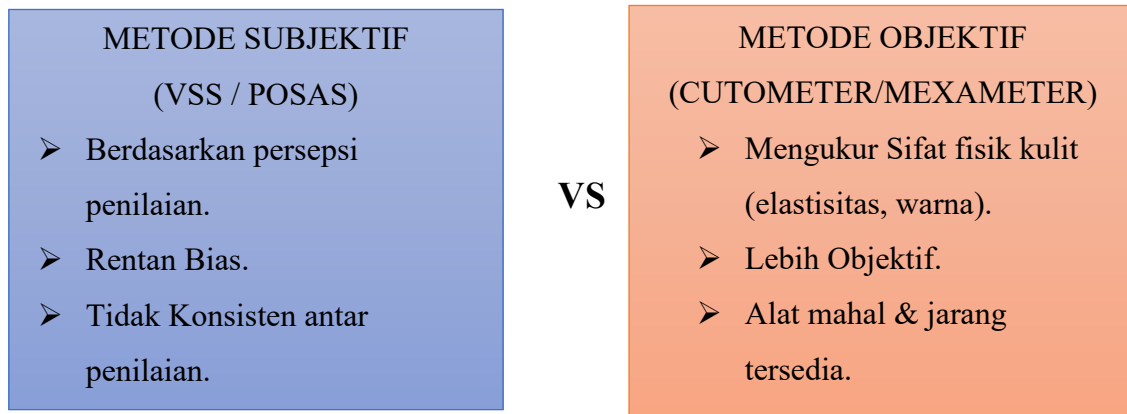
Keloid merupakan bentuk abnormal dari proses penyembuhan luka yang ditandai dengan pertumbuhan jaringan parut berlebih yang melampaui batas luka asal. Kondisi ini dapat menimbulkan rasa nyeri, gatal, keterbatasan gerak, serta gangguan estetika yang berdampak pada kualitas hidup pasien (Ruccia et al., 2021). Penanganan keloid umumnya memerlukan waktu yang lama dan sering kali menghasilkan respons terapi yang tidak konsisten. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat atau sistem yang mampu memantau karakteristik keloid secara objektif dan longitudinal (Ruccia et al., 2021). Gambar 1.1 berikut menunjukkan contoh citra keloid pada permukaan kulit, yang menggambarkan karakteristik khas berupa jaringan parut menonjol dengan warna dan tekstur yang berbeda dibandingkan kulit normal di sekitarnya.



Gambar 1.1 Contoh bekas luka keloid (Sumber Ruccia et al., 2021)

Dalam praktik klinis, penilaian keloid masih mengandalkan metode subjektif seperti *Vancouver Scar Scale* (VSS) atau POSAS, yang sangat bergantung pada penilai dan rentan terhadap bias (Abdolahnejad et al., 2024). Selain itu, alat ukur objektif seperti *Cutometer* dan *Mexameter* sering kali mahal dan tidak tersedia luas di fasilitas kesehatan. Perbedaan antara metode subjektif dan objektif dalam penilaian keloid dapat dilihat pada

Gambar 1.2. Ilustrasi ini menunjukkan bagaimana metode subjektif seperti VSS/POSAS masih bergantung pada penilai, sedangkan metode objektif menggunakan alat khusus yang lebih akurat namun terbatas ketersediaannya.



Gambar 1.2 Perbandingan metode penilaian keloid subjektif dan objektif.

Seiring berkembangnya teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Computer Vision*, pendekatan berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) telah digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis berbagai kelainan kulit termasuk keloid. Namun, sebagian besar penelitian masih menerapkan pendekatan pipeline tradisional, di mana klasifikasi, segmentasi, pengukuran, dan analisis warna dilakukan secara terpisah (Abdolahnejad et al., 2024). Pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan, seperti kompleksitas alur kerja, kebutuhan terhadap penggabungan modul secara manual, serta kurangnya kemampuan untuk menangkap dinamika temporal perkembangan keloid. Akibatnya, kinerja model dalam memberikan penilaian yang holistik dan akurat menjadi kurang optimal, misalnya hasil segmentasi tidak selalu selaras dengan pengukuran luas luka, analisis warna sering terpisah dari konteks bentuk luka, serta proses pemantauan longitudinal menjadi terputus-putus. Hal ini membuat model sulit memberikan gambaran perkembangan keloid yang konsisten dan komprehensif.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan pendekatan *Multi-Task Learning* (MTL) berbasis CNN dan *Long Short-Term Memory* (LSTM). Pendekatan ini memungkinkan pemrosesan *time-series* citra keloid secara *end-to-end* dalam satu arsitektur model, dengan keluaran simultan berupa segmentasi lesi, pengukuran luas luka, dan analisis warna (*colorimetry*). Dengan demikian, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan kinerja model dalam memberikan penilaian yang lebih

objektif, akurat, dan efisien terhadap perkembangan keloid dari waktu ke waktu (Ruccia et al., 2021; Abdolahnejad et al., 2024).

1.2 PERMASALAHAN

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang diangkat dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana mengembangkan arsitektur end-to-end berbasis *Multi-Task Learning* (MTL) dengan integrasi CNN untuk ekstraksi fitur spasial dan LSTM untuk pemodelan temporal, sehingga mampu melakukan segmentasi, pengukuran luasan, dan analisis warna (*colorimetry*) pada scar keloid secara objektif dan akurat dalam satu alur kerja?
2. Bagaimana mengevaluasi performa model tersebut dalam memantau perubahan karakteristik keloid secara longitudinal pada data citra *time-series*, serta menilai akurasi prediksi yang dihasilkan dalam konteks klinis?

1.3 TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model analisis citra medis berbasis *Multi-Task Learning* (MTL) dengan kombinasi *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) yang mampu melakukan segmentasi area keloid, pengukuran luasan luka, dan analisis warna jaringan secara simultan dalam satu kerangka kerja *end-to-end*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membangun model CNN-LSTM berbasis MTL yang dapat memproses citra RGB keloid secara *time-series* guna mengenali perubahan morfologi dan warna jaringan dari waktu ke waktu.
2. Mengembangkan sistem otomatis untuk memantau proses penyembuhan keloid pasien, dengan cara mengukur perubahan area luka (dalam cm²) dan analisis warna (rasio RGB) sebagai indikator objektif fase penyembuhan seperti inflamasi, maturasi, atau hiperpigmentasi.

3. Menguji akurasi dan efisiensi model yang dikembangkan dibandingkan metode konvensional (seperti pengukuran manual menggunakan ImageJ), baik dari sisi hasil segmentasi, estimasi luas luka, maupun kecepatan pemrosesan.
4. Menyediakan *proof-of-concept* dalam bentuk aplikasi berbasis web (Dash Application) yang dapat digunakan oleh dokter atau peneliti untuk melakukan evaluasi visual dan kuantitatif terhadap progres penyembuhan keloid secara real-time.

Dengan pencapaian tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada bidang analisis citra medis dan dermatologi digital, khususnya dalam pemantauan penyembuhan luka keloid secara non-invasif, objektif, dan efisien.

1.4 MANFAAT

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoritis dan praktis dalam pengembangan model *Multi-Task Learning* (MTL) berbasis CNN dan LSTM untuk penilaian *scar* keloid.

1.4.1 Manfaat Teoritis

1. Menambah kajian dalam bidang *deep learning* medis, khususnya penerapan multi-task learning dan temporal modeling pada analisis citra kulit.
2. Mengembangkan pendekatan *end-to-end* yang mampu menggabungkan segmentasi, pengukuran luasan, dan analisis warna dalam satu arsitektur, sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis.
3. Membuka peluang penelitian lebih lanjut terkait integrasi model *deep learning* dengan sistem klinis untuk pemantauan luka secara longitudinal.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan solusi alternatif berbasis citra digital yang objektif, konsisten, dan praktis untuk memantau perkembangan keloid.

2. Membantu tenaga medis dalam mengevaluasi kondisi keloid secara lebih akurat tanpa bergantung pada alat ukur mahal atau metode subjektif.
3. Mendukung proses pengambilan keputusan klinis dengan menyediakan data yang terukur dari waktu ke waktu.
4. Berpotensi diterapkan dalam sistem pendukung keputusan medis (*clinical decision support system*) untuk pemantauan luka pada layanan kesehatan.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi optimal dalam penilaian dan pemantauan *scar* keloid berbasis *deep learning*, dengan keseimbangan antara objektivitas, akurasi, dan kemudahan penerapan di lingkungan klinis.

1.5 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini tetap fokus dan memiliki ruang lingkup yang jelas, beberapa batasan berikut diterapkan dalam studi ini:

1. Data yang digunakan berupa citra digital 2D berformat RGB dengan penanda ukuran (*fiducial marker*) untuk kalibrasi skala. Dataset terdiri dari *time-series* citra keloid dengan 2 s.d 4 citra per pasien pada interval waktu tetap.
2. Model yang dikembangkan adalah arsitektur *Multi-Task Learning* (MTL) berbasis CNN-LSTM yang dirancang untuk melakukan segmentasi, pengukuran luasan, dan analisis warna secara simultan dalam satu alur (*end-to-end pipeline*).
3. Pra-pemrosesan citra dilakukan menggunakan ImageJ untuk pengukuran dasar (*ground truth*, *cropping*, area luka, serta ekstraksi warna), dan dapat didukung oleh OpenCV dalam tahap otomatisasi coding agar lebih terintegrasi dengan *framework deep learning*.
4. Analisis warna pada penelitian ini dibatasi pada pengukuran karakteristik warna luka keloid menggunakan ruang warna *CIELAB* (L , a , b^*)** pada area luka hasil segmentasi. Analisis difokuskan pada komponen L^* sebagai indikator tingkat kecerahan atau pigmentasi jaringan, serta komponen a^* sebagai indikator eritema (kemerahan), yang diekstraksi secara kuantitatif dari area luka untuk mengamati perubahan karakteristik warna secara longitudinal.

5. Model tidak mengukur ketinggian atau volume keloid secara fisik karena keterbatasan perangkat (citra 2D).
6. Evaluasi performa model dilakukan secara *offline* dengan menggunakan metrik segmentasi berupa Dice Score, metrik regresi luasan luka berupa *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE), serta metrik analisis warna berupa Mean Squared Error (MSE) pada komponen warna CIELAB, khususnya L* (pigmentasi) dan a* (eritema), tanpa implementasi uji klinis langsung. Evaluasi dilakukan secara offline tanpa implementasi uji klinis langsung.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang dari penelitian, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian, serta sistematika penulisan yang menjadi dasar arah dan ruang lingkup penelitian.

Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini berisi kajian literatur dan teori-teori yang mendukung penelitian, termasuk ulasan mengenai keloid, metode penilaian luka, teknik *computer vision*, serta pendekatan *deep learning* seperti CNN, LSTM, dan *Multi-Task Learning*. Selain itu, bab ini juga membahas hasil penelitian sebelumnya serta celah penelitian (*research gap*) yang menjadi dasar kontribusi dari penelitian ini.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci metode penelitian yang digunakan, meliputi desain model *deep learning*, arsitektur CNN-LSTM berbasis *Multi-Task Learning*, pengumpulan dan pra-pemrosesan data citra keloid, serta teknik evaluasi performa model berdasarkan metrik segmentasi, regresi, dan analisis warna.

Bab 4 Implementasi dan Pengujian Sistem

Bab ini membahas implementasi sistem yang telah dirancang pada tahap sebelumnya serta pengujian kinerja sistem berdasarkan data yang digunakan dalam penelitian. Pembahasan mencakup tahapan implementasi metode CNN–LSTM–Multi-Task Learning pada analisis luka keloid, pengujian fungsionalitas sistem, serta evaluasi kinerja model dari aspek segmentasi, estimasi luasan luka, dan analisis warna jaringan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem yang telah dilakukan pada penelitian ini. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran yang ditujukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya terkait peningkatan metode, kualitas data, dan penyempurnaan sistem pemantauan luka keloid berbasis analisis citra medis.