

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem ekstraksi tulang daun menggunakan metode *Morphological Skeletonization* pada 150 citra daun mangga (*Mangifera indica*) yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Implementasi *Morphological Skeletonization* menggunakan algoritma *iterative thinning* dari pustaka scikit-image berhasil mengekstraksi struktur tulang daun (*leaf vein*) dari citra daun mangga secara otomatis dengan menghasilkan representasi kerangka setebal satu piksel yang mempertahankan topologi dan pola percabangan asli jaringan venasi daun. Hal ini dibuktikan dari hasil visualisasi skeleton yang menampilkan vena utama dan seluruh percabangan vena sekunder dalam bentuk garis-garis tipis yang merepresentasikan struktur jaringan tulang daun secara akurat.
2. Kombinasi *Black-Hat Transform* dua skala dengan kernel 25×25 dan 9×9 serta CLAHE terbukti efektif dalam meningkatkan kontras struktur tulang daun sebelum proses binerisasi dilakukan. Pendekatan ini mampu mengatasi permasalahan rendahnya kontras vena terhadap permukaan daun yang menjadi kelemahan utama metode *thresholding* konvensional, sehingga vena utama maupun vena-vena halus berorde kedua dan ketiga dapat terdeteksi dengan lebih baik. Nilai rata-rata MSE Binerisasi sebesar 25179,25 dari keseluruhan

dataset mengkonfirmasi bahwa proses peningkatan kontras berhasil menghasilkan perubahan intensitas yang signifikan secara konsisten pada seluruh 150 citra.

3. Penerapan operasi morfologi *opening* dengan kernel elips 2×2 dan *closing* dengan kernel persegi 3×3 sebagai tahap pra-skeletonisasi terbukti berperan penting dalam menjamin kualitas citra biner masukan ke proses skeletonisasi. Kedua operasi morfologi ini secara efektif menghilangkan *noise* terisolasi dan menyambungkan celah kecil pada struktur vena sehingga skeleton yang dihasilkan lebih bersih dan bebas dari cabang-cabang palsu yang dapat merusak akurasi fitur yang diekstraksi.
4. Hasil evaluasi kuantitatif terhadap 150 citra daun mangga menunjukkan bahwa sistem mencapai Akurasi Skeleton rata-rata sebesar 94,47% dengan standar deviasi yang sangat kecil yaitu 1,06%, yang membuktikan bahwa algoritma skeletonisasi bekerja dengan tingkat konsistensi dan stabilitas yang sangat tinggi pada seluruh variasi citra dalam dataset. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan Akurasi Binary rata-rata sebesar 61,28%, yang membuktikan bahwa proses *morphological skeletonization* memberikan kontribusi yang sangat signifikan dalam meningkatkan kualitas representasi struktur tulang daun dibandingkan sekadar hasil binerisasi saja. Akurasi Global rata-rata sistem secara keseluruhan mencapai 77,87% yang mencerminkan kinerja *pipeline* pemrosesan secara komprehensif dari tahap segmentasi hingga skeletonisasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

- A. Perluasan dataset perlu dilakukan untuk meningkatkan generalitas sistem. Penelitian ini hanya menggunakan satu spesies tumbuhan yaitu daun mangga dengan 150 citra. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan dataset yang lebih beragam mencakup berbagai spesies tumbuhan dengan pola venasi yang berbeda-beda, seperti venasi menjari (*palmate*) dan venasi sejajar (*parallel*), sehingga kemampuan sistem dalam mengekstraksi berbagai tipe pola tulang daun dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.
- B. Peningkatan metode segmentasi daun perlu dipertimbangkan untuk menangani kondisi citra yang lebih beragam. Metode segmentasi berbasis HSV yang digunakan saat ini masih memiliki keterbatasan pada citra daun dengan warna yang tidak sepenuhnya hijau, seperti daun yang menguning atau kemerahan akibat faktor usia atau penyakit. Penggunaan metode segmentasi yang lebih robust seperti *GrabCut* atau metode berbasis *deep learning* dapat meningkatkan keandalan tahap segmentasi pada kondisi citra yang lebih bervariasi.
- C. Optimasi parameter sistem dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi Binary yang pada penelitian ini masih mencapai 61,28%.

Eksplorasi terhadap kombinasi parameter *Black-Hat Transform*, CLAHE, dan operasi morfologi yang lebih optimal, serta pengujian metode binerisasi lain seperti binerisasi berbasis *Niblack* atau *Sauvola*, dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra biner sebelum proses skeletonisasi sehingga akurasi keseluruhan sistem dapat ditingkatkan lebih lanjut