

BAB I PENDAHULUAN

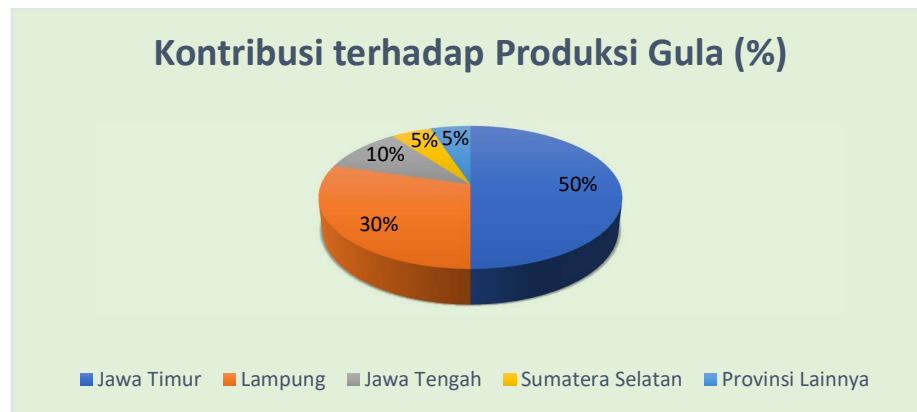
I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris dengan potensi besar dalam pengembangan sektor perkebunan, salah satunya adalah tebu yang menjadi bahan baku utama industri gula. Gula sendiri merupakan komoditas strategis yang memainkan peran penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional, stabilitas harga pasar domestik, serta mendukung kesejahteraan petani kecil yang menggantungkan hidup pada hasil panen tebu. Industri gula juga mendukung program pemerintah dalam substitusi impor dan pemenuhan kebutuhan pangan lokal (Solichah, 2024).

Namun demikian, industri gula nasional dalam beberapa tahun terakhir menghadapi berbagai tantangan signifikan yang berdampak pada penurunan produktivitas dan efisiensi. Data dari Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa produksi gula nasional pada tahun 2023 tercatat sebesar 2,23 juta ton, menurun sebesar 7,01% dibandingkan tahun sebelumnya (BPS, 2023). Penurunan ini tidak hanya disebabkan oleh faktor iklim dan budidaya, tetapi juga mencerminkan lemahnya proses pascapanen, seperti pengolahan, pengangkutan, dan klasifikasi bahan baku tebu di tingkat pabrik (Magfiroh dkk., 2021). Jika tidak segera ditangani, kondisi ini berpotensi menurunkan daya saing industri gula Indonesia dalam menghadapi persaingan global.

Salah satu aspek pascapanen yang krusial namun sering kali terabaikan adalah proses klasifikasi mutu batang tebu. Proses ini berperan penting dalam menentukan nilai jual bahan baku, memengaruhi rendemen, serta berdampak langsung terhadap kualitas akhir produk. Di banyak pabrik gula, proses klasifikasi masih dilakukan secara manual melalui observasi visual oleh petugas lapangan (Kusmin, 2023). Ketergantungan pada tenaga manusia menyebabkan proses klasifikasi rentan terhadap subjektivitas, inkonsistensi antarpemilai, serta kesalahan kategorisasi mutu yang pada akhirnya dapat merugikan baik petani maupun pihak industri (Rahmadini, 2024). Untuk mengatasi persoalan ini secara menyeluruh, diperlukan pendekatan yang berfokus pada wilayah-wilayah utama

penghasil tebu, sehingga upaya peningkatan efisiensi pascapanen dapat dilakukan secara lebih terarah dan tepat sasaran.s.



Gambar I-1. Kontribusi produksi gula di Indonesia (2023)

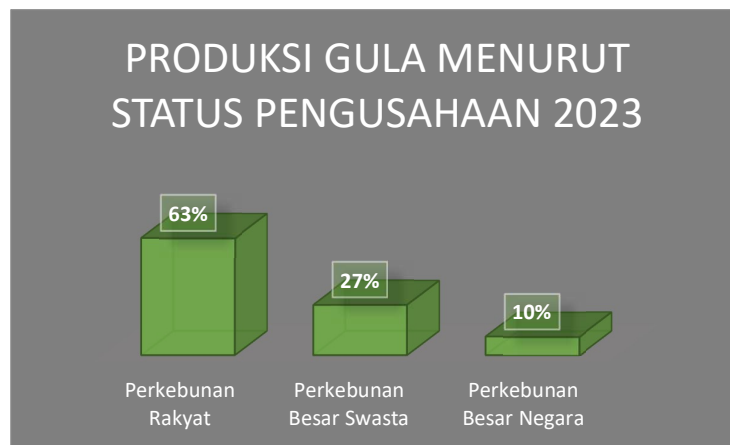
Sumber: BPS (2023)

Gambar I-1 menunjukkan bahwa kontribusi terhadap produksi gula didominasi oleh lima wilayah utama, di mana Jawa Timur menjadi penyumbang terbesar sebesar 50%, diikuti oleh Lampung (30%), Jawa Tengah (10%), Sumatera Selatan (5%), dan provinsi lainnya (5%) (BPS, 2023). Dominasi Jawa Timur dalam produksi gula menjadikannya sebagai wilayah yang sangat berperan dalam keberlangsungan industri gula nasional. Di wilayah ini, salah satu pelaku utamanya adalah PT Sinergi Gula Nusantara (PT SGN) yang mengelola Pabrik Gula Jatiroto di Kabupaten Lumajang. PT SGN merupakan salah satu unit produksi terbesar di Indonesia dan memiliki peran penting dalam menjaga kualitas bahan baku demi mendukung kelancaran dan efisiensi proses produksi

Namun, PT SGN sebagai salah satu unit produksi terbesar di Indonesia menghadapi tantangan pada proses klasifikasi mutu batang tebu yang masih dilakukan secara manual. Metode manual ini rawan terhadap ketidakkonsistenan antar petugas, terutama saat volume tebu yang masuk sangat besar. Ketidaktepatan penilaian dapat menyebabkan batang tebu berkualitas tinggi dikategorikan ke dalam mutu rendah, atau sebaliknya, sehingga menimbulkan kerugian baik bagi perusahaan maupun petani. Dalam beberapa kasus, terdapat kekhawatiran terhadap potensi praktik tidak etis dan munculnya isu kepercayaan (*trust issue*)

antara pemasok dan petugas klasifikasi. Ketika penilaian mutu tidak dilakukan secara objektif dan transparan, maka keberlanjutan hubungan antara pabrik dan petani menjadi terancam, dan pada akhirnya berdampak pada stabilitas rantai pasok dan kualitas produk akhir.

Selain itu, kesalahan klasifikasi mutu juga dapat berdampak langsung pada *operational cost* perusahaan. Misalnya, tebu dengan kualitas rendah yang diklasifikasikan secara keliru sebagai mutu tinggi dapat menyebabkan penurunan rendemen dan meningkatkan kebutuhan proses pembersihan lanjutan. Proses tambahan ini bukan hanya memakan waktu dan energi, tetapi juga menambah beban biaya produksi secara keseluruhan, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi dan profitabilitas perusahaan (Rahmadini, 2024).



Gambar I-2. Produksi gula menurut status kepemilikan 2023

Sumber: BPS (2023)

Gambar I-2 mendukung urgensi ini dengan menunjukkan bahwa sebagian besar pasokan tebu di Indonesia berasal dari perkebunan rakyat, yaitu sebesar 63%, sedangkan sisanya berasal dari perkebunan besar swasta (27%) dan perkebunan besar negara (10%). Dominasi sektor rakyat ini menjadikan pentingnya kepercayaan dan sistem penilaian yang adil sebagai fondasi kerja sama yang berkelanjutan antara petani dan pabrik. Dalam kondisi seperti ini, solusi berbasis teknologi menjadi pilihan strategis untuk meningkatkan akurasi dan objektivitas dalam proses klasifikasi mutu tebu.

Dalam menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem klasifikasi mutu batang tebu berbasis citra visual menggunakan pendekatan *deep learning*. Sistem ini dirancang untuk secara otomatis mendeteksi dan mengklasifikasikan batang tebu ke dalam lima kelas mutu (A–E) berdasarkan ciri visual tertentu. Pendekatan ini menggabungkan dua model *deep learning* dalam pengolahan citra, yaitu *YOLOv11* untuk deteksi objek secara real-time dan *EfficientNet* untuk klasifikasi visual dengan efisiensi tinggi. Kedua model ini merupakan pengembangan dari arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN)* yang telah banyak diterapkan dalam berbagai studi pengolahan citra visual di bidang pertanian dan industri.

Studi oleh Kunduracioğlu dan Paçal (2024) menunjukkan bahwa kombinasi *YOLO* dan *EfficientNet* mampu menghasilkan klasifikasi objek pertanian dengan akurasi tinggi dalam berbagai kondisi visual yang kompleks. Penelitian oleh Srinivasan dkk. (2025) memperkuat keunggulan *EfficientNet* dalam hal efisiensi komputasi dan akurasi klasifikasi, menjadikannya sangat cocok untuk aplikasi industri berskala besar yang membutuhkan kecepatan sekaligus ketepatan. Sementara itu, studi dari Khanam dan Hussain (2024) menyatakan bahwa *YOLOv11* menunjukkan kecepatan deteksi yang sangat unggul, terutama dalam lingkungan dunia nyata yang memiliki banyak objek dengan variasi bentuk dan pencahayaan. Melalui integrasi kedua model ini, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan konsistensi dan objektivitas dalam proses penilaian mutu batang tebu di tingkat pabrik.

Lebih lanjut, model ini diuji dalam kondisi visual yang bervariasi, seperti pencahayaan tidak merata, latar belakang kompleks, *blur*, dan *noise* guna mengetahui sejauh mana sistem dapat bertahan dan tetap akurat di kondisi nyata. Evaluasi ini penting untuk mengukur *robustness* model agar dapat diandalkan di lapangan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya fokus pada akurasi teknis, tetapi juga pada ketahanan sistem terhadap kondisi variatif yang umum terjadi di lingkungan kerja PT SGN

Dengan mengadopsi pendekatan serupa, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menciptakan sistem klasifikasi mutu tebu yang lebih konsisten, transparan, dan terpercaya. Selain meningkatkan efisiensi proses penilaian di PT SGN, sistem ini juga berpotensi untuk memperbaiki relasi antara pabrik dan petani melalui mekanisme penilaian berbasis teknologi yang adil dan objektif. Dalam skala yang lebih luas, penerapan solusi ini sejalan dengan upaya nasional untuk meningkatkan kualitas dan daya saing industri gula Indonesia.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penerapan metode deteksi objek dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah suatu objek merupakan batang tebu atau bukan secara efektif dan akurat?
2. Bagaimana mengembangkan dan menerapkan model *deep learning* untuk mengklasifikasikan kualitas batang tebu ke dalam kategori A, B, C, D, atau E berdasarkan ciri-ciri visual yang terdeteksi dengan memanfaatkan arsitektur model *deep learning* tertentu setelah proses deteksi objek?
3. Bagaimana simulasi yang dilakukan terhadap variasi pada *dataset*, seperti distribusi pencahayaan yang tidak merata atau *noise*, dapat diatasi untuk meningkatkan *robustness* dan akurasi model dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan kualitas batang tebu?

I.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, berikut tujuan penelitian dari tugas akhir:

1. Mengembangkan sistem 2 tahap, yaitu sistem deteksi dan klasifikasi kualitas batang tebu berbasis *deep learning* yang dapat melakukan identifikasi otomatis terhadap kualitas batang tebu berdasarkan data visual, guna meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses produksi gula di PT SGN, Pabrik Gula Jatiroto.
2. Menganalisis keakuratan model *deep learning*, dalam melakukan klasifikasi kualitas batang tebu berdasarkan kondisi lingkungan yang bervariasi, seperti

perubahan pencahayaan untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal dalam kondisi lapangan yang dinamis.

3. Menerapkan optimasi pada model *deep learning* terhadap keterbatasan *dataset*, seperti *noise* atau distribusi variasi tidak merata, melalui teknik augmentasi data dan optimisasi model untuk memastikan akurasi dan konsistensi performanya.

I.4 Batasan Tugas Akhir

Penelitian ini memiliki sejumlah batasan yang terfokus pada pengembangan sistem deteksi dan klasifikasi kualitas batang tebu berbasis *deep learning*. Berikut adalah batasan penelitian pada penelitian ini:

1. Batasan Data: Penelitian ini terbatas pada penggunaan gambar batang tebu yang telah diklasifikasikan ke dalam lima kelas kualitas, yaitu A (prima), B (baik), C (cukup), D (kurang), dan E (buruk). Data yang digunakan hanya mencakup gambar-gambar yang diambil dalam satu waktu pengambilan tanpa variasi kondisi lingkungan.
2. Kondisi Lingkungan: Gambar-gambar dalam penelitian ini diambil tanpa variasi kondisi lingkungan seperti pencahayaan (pagi, siang, sore) atau cuaca (cerah, hujan), sehingga sistem klasifikasi yang dikembangkan diuji dengan gambar-gambar dalam kondisi lingkungan yang relatif konstan. Penelitian ini tidak mencakup pengujian pada berbagai kondisi lingkungan yang berbeda yang dapat memengaruhi akurasi klasifikasi.
3. Data Non-Visual: Penelitian ini hanya menggunakan data visual dari gambar batang tebu dan tidak melibatkan data non-visual seperti kadar gula, kadar air, atau faktor kimia lain yang dapat memengaruhi kualitas tebu. Fokus utama penelitian ini adalah pada karakteristik visual batang tebu seperti kebersihan, kematangan, dan kerusakan fisik, tanpa mempertimbangkan variabel yang tidak terlihat dalam gambar.
4. Metrik Evaluasi Kinerja: Evaluasi kinerja model *deep learning* yang dipilih akan menggunakan metrik standar seperti *mAp*, *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *f1-score*. Evaluasi ini dilakukan menggunakan *dataset* yang tersedia.

5. Fokus Penelitian: Dengan batasan-batasan tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengembangan dan pengujian sistem klasifikasi otomatis batang tebu yang efisien dan akurat menggunakan data visual yang ada. Penelitian ini belum mencakup pengujian di lapangan dan hanya sebatas simulasi pada variasi *dataset* yang ada.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan berbagai manfaat bagi berbagai pihak terkait, baik dalam skala industri maupun dalam pengembangan teknologi klasifikasi berbasis *deep learning* di sektor pertanian, khususnya untuk PT SGN. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi PT Sinergi Gula Nusantara (PT SGN), penelitian ini dapat membantu menyelesaikan permasalahan ketidakkonsistenan dalam klasifikasi mutu batang tebu yang selama ini masih dilakukan secara manual. Ketergantungan pada penilaian subjektif antar petugas berisiko menimbulkan hasil yang tidak seragam dan memicu ketidakpercayaan dari petani apabila terjadi dugaan intervensi non-teknis. Dengan diterapkannya sistem klasifikasi otomatis berbasis *deep learning*, proses penilaian dapat dilakukan secara lebih objektif, konsisten, dan transparan. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi penilaian, memperkuat kepercayaan mitra petani, serta mendukung kelancaran produksi perusahaan secara berkelanjutan.
2. Bagi industri gula secara umum, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi di sektor pertanian, terutama dalam meningkatkan kualitas bahan baku melalui penerapan metode digital. Industri gula di Indonesia, yang memiliki tantangan terkait kualitas bahan baku, dapat mengambil manfaat dari penerapan sistem klasifikasi otomatis ini untuk mengatasi berbagai kendala produksi. Teknologi yang dihasilkan dari penelitian ini dapat diterapkan pada pabrik gula lain yang memiliki proses klasifikasi tebu serupa.
3. Bagi peneliti lain di bidang serupa, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan dan penerapan algoritma *deep learning* dalam klasifikasi objek di sektor pertanian. Bagi peneliti yang bergerak di bidang teknologi pertanian

atau yang berfokus pada penerapan *deep learning*, penelitian ini menyediakan referensi yang relevan tentang tantangan dan solusi dalam penerapan model *deep learning* untuk klasifikasi visual di lingkungan industri. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan wawasan mengenai bagaimana memilih model terbaik untuk klasifikasi visual, sehingga peneliti lain dapat mengadaptasi atau memperbaiki metodologi yang telah dikembangkan.

Dengan manfaat-manfaat tersebut, penelitian ini diharapkan tidak hanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas di PT Sinergi Gula Nusantara, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan pada pengembangan teknologi pertanian yang lebih maju dan efisien di masa mendatang.

I.6 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis dalam enam bab utama agar pembaca dapat memahami alur pemikiran, pendekatan metodologis, hingga analisis hasil penelitian secara runtut dan terstruktur. Setiap bab dirancang untuk membangun pemahaman menyeluruh mengenai proses deteksi dan klasifikasi kualitas batang tebu berbasis *deep learning*.

Bab I Pendahuluan menjelaskan latar belakang permasalahan yang melandasi penelitian, perumusan masalah yang ingin diselesaikan, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan ruang lingkup agar pembahasan tetap fokus. Pada bagian akhir bab ini, disajikan sistematika penulisan sebagai panduan bagi pembaca dalam menelusuri isi laporan secara menyeluruh.

Bab II Landasan Teori menyajikan teori-teori yang mendasari proses deteksi dan klasifikasi objek menggunakan pendekatan *deep learning*. Teori yang dibahas mencakup konsep kualitas tebu, proses *labeling*, teknik *data augmentation*, tahapan *knowledge discovery in databases* (KDD), serta algoritma yang digunakan seperti *YOLOv11* dan *EfficientNet*. Selain itu, bab ini juga menguraikan *literature review* dari penelitian terdahulu yang relevan untuk memperkuat dasar metodologi yang digunakan.

Bab III Metodologi Penelitian menggambarkan alur sistematis dalam menyelesaikan permasalahan, mulai dari pengumpulan data, persiapan data,

proses *data mining*, hingga evaluasi hasil. Bab ini menjelaskan tahapan dalam kerangka KDD, termasuk proses seleksi data, *data preprocessing*, transformasi, pembagian data (*data splitting*), serta pemilihan metode *deep learning* yang digunakan dalam penelitian.

Bab IV Penyelesaian Permasalahan berisi implementasi teknis dari sistem deteksi dan klasifikasi kualitas batang tebu. Pada bab ini dijelaskan secara rinci mengenai proses anotasi data, pembagian data pelatihan dan validasi, teknik augmentasi visual, dan strategi pelatihan model. Desain arsitektur model juga diuraikan dengan mendetail, mencakup tahapan awal deteksi menggunakan *YOLOv11* dan klasifikasi dengan *EfficientNet*.

Bab V Validasi, Analisis Hasil, dan Implikasi memaparkan hasil pengujian performa model, baik dalam aspek deteksi objek maupun klasifikasi kualitas. Evaluasi dilakukan sebelum dan sesudah proses *fine-tuning*, termasuk uji ketahanan model terhadap variasi kondisi lingkungan seperti pencahayaan dan *noise*. Bab ini juga menjelaskan implikasi dari temuan penelitian terhadap teori, praktik industri, serta arah pengembangan penelitian selanjutnya.

Bab VI Kesimpulan dan Saran menyimpulkan hasil utama dari penelitian serta memberikan saran yang dapat dijadikan masukan dalam pengembangan lebih lanjut, khususnya pada pengolahan citra tebu menggunakan *deep learning* di lingkungan nyata.

Dengan sistematika ini, diharapkan pembaca dapat mengikuti alur pembahasan dari identifikasi masalah hingga implementasi dan evaluasi solusi secara utuh dan terarah.