G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Vol. 8, No. 4, Oktober 2024, hlmn. 2379-2389
E-ISSN: 2623-064X | P-ISSN: 2580-8737

Systematic Literature Review : Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang

Suhendri Suhendri[1]✉, Kusrini Kusrini[2]

[1, 2] Informatika, PJJ MTI, Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 29-07-2024
Direvisi : 12-08-2024
Diterima : 19-08-2024

ABSTRAK

Kematangan buah pisang merupakan faktor penting yang menentukan kualitas, rasa, dan masa simpan buah. Penentuan tingkat kematangan secara manual cenderung subjektif dan tidak konsisten, sehingga diperlukan sistem otomatis yang lebih akurat dan efisien. Penelitian ini melakukan SLR untuk mengevaluasi teknik-teknik pengolahan citra dan pembelajaran mesin dalam klasifikasi kematangan pisang. CNN terbukti menjadi metode yang paling dominan dan efektif, dengan hasil akurasi yang signifikan. Metode lain seperti kNN, Fuzzy Logic, dan ANN juga menunjukkan potensi besar. Tantangan utama dalam pengembangan model klasifikasi meliputi variabilitas data gambar, keterbatasan dataset, dan keterbatasan perangkat keras. Tren terbaru mencakup penggunaan penginderaan HSI dan pendekatan multimodal untuk meningkatkan akurasi. Saran untuk penelitian di masa depan meliputi pengumpulan dataset yang lebih besar dan beragam, penggunaan teknik augmentasi data, eksplorasi penginderaan HSI, dan validasi model dalam kondisi nyata. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem otomatis untuk klasifikasi kematangan pisang, yang dapat diterapkan dalam industri pertanian dan makanan.

Kata Kunci:

Kematangan buah pisang; *Sistematik Literatur Review* (SLR); Penginderaan Hiperspektral

Keywords **:**

Ripeness of bananas, Systematic Literature Review (SLR), hyperspectral sensing

ABSTRACT

Banana ripeness is an important factor that determines the quality, taste and shelf life of the fruit. Manually determining maturity levels tends to be subjective and inconsistent, so a more accurate and efficient automatic system is needed. This research conducted a SLR to evaluate image processing and machine learning techniques in banana ripeness classification CNN is proven to be the most dominant and effective method, with significant accuracy results. Other methods such as kNN, Fuzzy Logic, and ANN also show great potential. The main challenges in developing classification models include image data variability, dataset limitations, and hardware limitations. Recent trends include the use of HSI and multimodal approaches to improve accuracy. Suggestions for future research include collecting larger and more diverse datasets, using data augmentation techniques, exploring HSI sensing, and validating models under real conditions. Thus, this research is expected to make a significant contribution in the development of an automatic system for banana ripeness classification, which can be applied in the agricultural and food industries.

Corresponding Author **:**
Suhendri
Informatika, PJJ MTI, Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia
Jl. Ring Road Utara, Ngringin, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yograkarta
Email: akh.suhendri@gmail.com

This is an open access article under the CC BY license

PENDAHULUAN

Kematangan buah pisang merupakan faktor krusial yang menentukan kualitas, rasa, dan masa simpan buah. Pisang yang matang sempurna memiliki rasa manis dan tekstur lembut, sementara pisang yang terlalu matang atau belum matang cenderung memiliki kualitas yang kurang diinginkan. Penentuan tingkat kematangan pisang secara manual merupakan proses yang memerlukan keahlian khusus dan cenderung subjektif, sehingga berpotensi menghasilkan inkonsistensi. Oleh karena itu, pengembangan sistem otomatis untuk klasifikasi kematangan pisang menjadi sangat penting dalam industri pertanian dan makanan untuk memastikan kualitas yang konsisten dan mengurangi ketergantungan pada penilaian manual.

Teknologi pengolahan citra dan pembelajaran mesin telah membuka peluang baru untuk mengatasi tantangan dalam klasifikasi kematangan pisang. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai metode dan model telah diusulkan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pisang dengan lebih akurat dan efisien. *Convolutional Neural Networks* (CNN), algoritma *K-Nearest Neighbor* (kNN), *Fuzzy Logic*, dan *Artificial Neural Networks* (ANN) adalah beberapa teknik yang telah digunakan dalam penelitian ini. Setiap teknik memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, serta menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi klasifikasi. Namun, dengan banyaknya penelitian yang telah dilakukan, diperlukan tinjauan sistematis untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan peluang dalam penelitian klasifikasi kematangan pisang. *Systematic Literatur Review* (SLR) adalah metode yang efektif untuk mengumpulkan, menilai, dan menyintesis hasil-hasil penelitian yang ada, sehingga dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang topik tersebut. SLR memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi metode dan teknik yang telah digunakan, mengidentifikasi tantangan yang dihadapi, dan mengusulkan arah penelitian di masa depan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan Sistematik Literatur Review (SLR) tentang klasifikasi tingkat kematangan buah pisang. Dalam SLR ini, berbagai teknik pengolahan citra dan pembelajaran mesin akan dievaluasi berdasarkan kinerja, keunggulan, dan kelemahan masing-masing. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam pengembangan model klasifikasi, seperti variabilitas data gambar, keterbatasan dataset, dan keterbatasan perangkat keras. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan sistem otomatis untuk klasifikasi kematangan pisang, yang dapat diterapkan dalam industri pertanian dan makanan.

Hasil dari SLR ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang tren penelitian terdahulu, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, dan memberikan rekomendasi untuk penelitian di masa depan. Dengan memahami tren dan tantangan dalam klasifikasi kematangan pisang, peneliti dan praktisi dapat mengembangkan solusi yang lebih efektif dan efisien untuk memastikan kualitas buah yang lebih baik dan konsisten. Selain itu, SLR ini juga diharapkan dapat menjadi referensi yang berguna bagi peneliti yang tertarik dalam bidang pengolahan citra dan pembelajaran mesin untuk aplikasi di pertanian dan industri makanan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan Sistematis Literatur Review (SLR) untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis literatur yang ada mengenai metode klasifikasi kematangan buah pisang. Proses SLR ini mengikuti panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang terdiri dari beberapa tahapan utama. Pertama, pencarian literatur dilakukan melalui beberapa database ilmiah terkemuka seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci seperti "*banana ripeness classification*", "*image processing for banana maturity*", dan "*machine learning in fruit classification*". Literatur yang dipilih adalah yang diterbitkan dalam 4 tahun terakhir dan relevan dengan topik penelitian. Kedua, studi-studi yang ditemukan melalui pencarian awal disaring berdasarkan judul dan abstrak untuk mengevaluasi relevansinya. Studi yang memenuhi kriteria inklusi kemudian dievaluasi lebih lanjut dengan membaca teks penuh untuk memastikan bahwa mereka benar-benar

relevan dengan topik klasifikasi kematangan buah pisang. Ketiga, data yang relevan diekstraksi dari setiap studi yang dipilih, termasuk informasi tentang metode yang digunakan, kinerja metode, serta tantangan yang dihadapi. Data ini kemudian dianalisis dan digabungkan untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang penelitian yang ada. Keempat, studi-studi yang dipilih dianalisis untuk mengidentifikasi tren umum, perbedaan utama, dan kesenjangan dalam penelitian yang ada. Hasil analisis ini kemudian digabungkan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan. Kelima, hasil dari SLR ini dilaporkan dalam bentuk narasi yang mendetail, termasuk tabel yang relevan untuk mendukung temuan. Temuan ini memberikan wawasan tentang metode yang paling efektif untuk klasifikasi kematangan buah pisang, tantangan yang ada, dan arah penelitian di masa depan. Berikut adalah tabel 1 yang merangkum pertanyaan penelitian (*Research Questions*) dan tujuan dari setiap pertanyaan :

Tabel 1. Research Question

No.	Research Question	Tujuan
RQ1	Apa saja model yang telah digunakan untuk mengklasifikasikan kematangan buah pisang?	Mengidentifikasi berbagai model yang digunakan untuk klasifikasi kematangan buah pisang.
RQ2	Jenis dataset apa yang digunakan untuk mengklasifikasikan kematangan buah pisang?	Mengidentifikasi jenis dataset yang digunakan untuk klasifikasi kematangan buah pisang.
RQ3	Bagaimana kinerja masing-masing model dalam hal akurasi dan efisiensi?	Mengevaluasi kinerja model tersebut berdasarkan akurasi dan efisiensi.
RQ4	Apa saja tantangan yang dihadapi dalam mengembangkan model klasifikasi kematangan buah pisang?	Mengidentifikasi tantangan-tantangan utama dalam pengembangan model klasifikasi.
RQ5	Bagaimana tren penelitian terbaru dalam klasifikasi kematangan buah pisang?	Mengidentifikasi tren terbaru dan teknologi yang digunakan dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan memuat hasil analisis data (bukan data mentah). Penyajian dapat dibantu dengan tabel atau grafik dan harus disertai penjelasan atau pemberian makna hasil analisis. Kemudian pembahasan berisi diskusi hasil penelitian terhadap penelitian terdahulu, teori, atau pengetahuan yang sudah mapan, disertai rujukan. Hasil penelitian dapat didukung, tidak didukung, atau bahkan bertentangan.

Tabel 2. Jurnal Referensi

No	Jurnal	No	Jurnal
[P1]	Saragih, R. E., & Emanuel, A. (2021)	[P16]	Chuquimarca, L. E., dkk (2023)
[P2]	Mohamedon, M. F., dkk (2021)	[P17]	Kahfi, A. H., dkk (2023)
[P3]	Saranya, N., dkk (2021)	[P18]	Kosasih, R., dkk (2023)
[P4]	Kosasih, R. (2021)	[P19]	Widodo, D., dkk (2023)
[P5]	Wankhade, M., dkk (2021)	[P20]	Sajitha, P., dkk (2023)
[P6]	Kamelia, L., dkk (2021)	[P21]	Aishwarya, N., & Vinesh Kumar, R. (2023)
[P7]	Ariono, M. R. E., dkk (2021)	[P22]	Wang, M., dkk (2023)
[P8]	Samad, M., & Nazari, A. (2022)	[P23]	Shuprajhaa, T., dkk (2023)
[P9]	Tamatjita, E. N., & Sihite, R. D. (2022)	[P24]	Upadhyay, A., dkk (2023)
[P10]	Darapaneni, N., dkk (2022)	[P25]	Phoophuangpairoj, R., dkk (2023)
[P11]	Bonini Neto, A., dkk (2022)	[P26]	Arunima, P. L., dkk (2024)
[P12]	Raghavendra, S., dkk (2022)	[P27]	Patel, H. B., & Patil, N. J. (2024)
[P13]	Malabag, B. A., dkk (2022)	[P28]	Sheikh, M. R., dkk (2024)
[P14]	Cahya, Z., dkk (2022)	[P29]	Chen, H., & Phoophuangpairoj, R. (2024)
[P15]	Mishra, R., dkk (2022)	[P30]	Pushpa, B. R., dkk (2024)

Model Klasifikasi Kematangan Buah Pisang

Penelitian klasifikasi kematangan buah pisang menggunakan berbagai model dan algoritma untuk mencapai hasil yang akurat dan efisien. Model CNN yang diusulkan adalah yang paling banyak digunakan, diaplikasikan dalam tujuh jurnal. Model populer lainnya seperti VGGNet16, ResNet50, EfficientNet, InceptionNet, dan K-Nearest Neighbor (KNN) juga sering digunakan, masing-masing dalam empat jurnal. MobileNet dan variasinya seperti MobileNet V2 dan NASNetMobile juga ditemukan dalam beberapa jurnal, menunjukkan preferensi peneliti terhadap model ini. Algoritma lain seperti SVM, ANN, dan VGGNet juga memiliki aplikasi yang signifikan. Terdapat model unik yang digunakan hanya dalam satu jurnal, seperti TensorFlow Lite, Logika Fuzzy, Naive Bayes, YOLOv8, dan lainnya. Keberagaman model yang digunakan menunjukkan inovasi yang terus berkembang dalam bidang ini, dengan peneliti berusaha menemukan metode terbaik untuk klasifikasi kematangan buah pisang. Penelitian-penelitian klasifikasi kematangan buah pisang menunjukkan penggunaan yang luas dan beragam dari berbagai model dan algoritma. Model CNN yang diusulkan adalah yang paling dominan, mencerminkan preferensi peneliti terhadap model ini dalam mencapai hasil yang akurat. Selain itu, model populer lainnya seperti VGGNet16, ResNet50, dan InceptionNet juga menunjukkan frekuensi penggunaan yang tinggi, menandakan efektivitas dan keandalan mereka dalam tugas klasifikasi. Keberagaman model yang digunakan mencerminkan upaya peneliti untuk menemukan metode terbaik yang dapat memberikan hasil optimal dalam klasifikasi kematangan buah pisang.

Tabel 3. Model Klasifikasi Kematangan Buah Pisang

Model/Algoritma	Penelitian	Jumlah Penelitian
MobileNet V2	[P1]	1
NASNetMobile	[P1]	1
TensorFlow Lite	[P2]	1
VGGNet16	[P3], [P15], [P26], [P28]	4
ResNet50	[P3], [P26], [P28], [P29]	4
CNN (Proposed Model)	[P3], [P5], [P8], [P14], [P16], [P24], [P25]	7
K-Nearest Neighbor (KNN)	[P4], [P6], [P17], [P23]	4
SVM	[P5], [P16]	2
Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	[P7]	1
Nearest Centroid Classifier (NCC)	[P9]	1
MobileNet	[P10], [P12], [P29]	3
VGGNet	[P10], [P12]	2
EfficientNet	[P10], [P12], [P26], [P28]	4
ResNet	[P10], [P12]	2
InceptionNet	[P10], [P12], [P26], [P30]	4
ANN	[P11], [P25]	2
Logika Fuzzy	[P13]	1
Naive Bayes	[P18]	1
Backpropagation Neural Network	[P19]	1
KEGCNN	[P20]	1
YOLOv8	[P21]	1
Multiple Linear Regression (MLR)	[P22]	1
Partial Least Squares (PLS)	[P22]	1
Back Propagation Neural Network (BPNN)	[P22]	1
Support Vector Classifier (SVC)	[P23]	1
Gaussian Naive Bayesian Classifier (GNB)	[P23]	1
VGG19	[P26], [P30]	2
Deep Neural Network (DNN)	[P27]	1

Dataset yang Digunakan

Penelitian terkait klasifikasi dan pengenalan buah pisang menunjukkan penggunaan yang beragam dari berbagai model dan algoritma. Model Convolutional Neural Network (CNN) merupakan yang paling sering digunakan, muncul dalam 8 penelitian, menunjukkan dominasi model berbasis jaringan saraf dalam domain ini. Selain CNN, model MobileNet juga cukup populer, digunakan dalam 3 penelitian. Selain itu, terdapat juga penerapan model dan algoritma lain seperti K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM), InceptionV3, dan VGGNet16, menunjukkan kecenderungan untuk mengeksplorasi arsitektur jaringan yang lebih dalam. Model spesifik seperti KEGCNN dan Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System juga diaplikasikan dalam beberapa penelitian, menandakan adanya inovasi dalam pendekatan klasifikasi. Sementara itu, model machine learning tradisional seperti Multiple Linear Regression (MLR) dan Naive Bayes tetap relevan dan digunakan dalam konteks tertentu. Secara keseluruhan, penelitian ini mencerminkan tren yang kuat dalam pemanfaatan model berbasis jaringan saraf, dengan pendekatan yang bervariasi untuk mengoptimalkan hasil klasifikasi dan pengenalan buah pisang.

Tabel 4. Jenis Data Sampel yang Digunakan pada Setiap Model

Model/Algoritma	Tipe Dataset	Penelitian
ANN	Buah Pisang	[P11]
Backpropagation Neural Network	Buah Pisang	[P19]
CNN	Buah Pisang	[P3], [P8], [P12], [P14], [P16], [P24], [P25], [P26]
Deep Neural Network (DNN)	Buah Pisang	[P27]
Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	Buah Pisang	[P7]
InceptionV3	Buah Pisang	[P30]
K-Nearest Neighbor (KNN)	Buah Pisang	[P4], [P6], [P17]
KEGCNN	Buah Pisang	[P20]
MobileNet	Buah Pisang	[P1], [P10], [P29]
Multiple Linear Regression (MLR)	Buah Pisang	[P22]
Naive Bayes	Buah Pisang	[P18]
Nearest Centroid Classifier	Buah Pisang	[P9]
ResNet50	Buah Pisang	[P28]
Support Vector Classifier (SVC)	Buah Pisang	[P23]
SVM	Buah Pisang	[P5]
TensorFlow Lite	Buah Pisang	[P2]
VGGNet16	Buah Pisang	[P15]
Yolov8	Buah Pisang	[P21]

Kinerja Model Klasifikasi

Pada tabel 5 merangkum berbagai model dan algoritma yang digunakan dalam penelitian klasifikasi atau prediksi, dengan hasil akurasi yang bervariasi. MobileNet, TensorFlow Lite, dan VGGNet16 menunjukkan akurasi tinggi di atas 98%. Model CNN juga sering digunakan dengan akurasi yang umumnya baik, meskipun bervariasi tergantung implementasinya. K-Nearest Neighbor (KNN) dan SVM mencapai akurasi yang cukup baik, meskipun tidak setinggi model lainnya. Beberapa model seperti Nearest Centroid Classifier dan Backpropagation Neural Network menunjukkan akurasi yang lebih rendah. Secara keseluruhan, model seperti Deep Neural Network (DNN) dan Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System menunjukkan performa terbaik dengan akurasi hampir mencapai 100%, mengindikasikan potensi besar dalam tugas-tugas klasifikasi yang kompleks.

Tabel 5. Kinerja Model Klasifikasi

Penelitian	Model/Algoritma	Akurasi
[P1]	MobileNet V2	96,18%
[P2]	TensorFlow Lite	98,25%
[P3]	CNN (Proposed Model)	96,15%
[P4]	K-Nearest Neighbor (KNN)	88,89%
[P5]	SVM	88,90%
[P6]	K-Nearest Neighbor (KNN)	93,33%
[P7]	Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System	99,07%
[P8]	CNN	92,70%
[P9]	Nearest Centroid Classifier	73,33%
[P10]	MobileNet	93,40%
[P11]	ANN	89,50%
[P12]	CNN	93,00%
[P14]	CNN (Proposed Model)	91,20%
[P15]	VGGNet16	98,73%
[P16]	CNN	91,70%
[P17]	K-Nearest Neighbor (KNN)	86,00%
[P18]	Naive Bayes	86,67%
[P19]	Backpropagation Neural Network	80,00%
[P20]	KEGCNN	98,00%
[P21]	Yolov8	96,30%
[P22]	Multiple Linear Regression (MLR)	97,50%
[P23]	Support Vector Classifier (SVC)	91,25%
[P24]	CNN	98,00%
[P25]	CNN	93,94%
[P26]	CNN	95,00%
[P27]	Deep Neural Network (DNN)	99,80%
[P28]	ResNet50	98,09%
[P29]	MobileNet	99,62%
[P30]	InceptionV3	98,10%

Tantangan dalam Pengembangan Model Klasifikasi

Pengembangan model klasifikasi untuk menentukan tingkat kematangan pisang menghadapi berbagai tantangan teknis dan non-teknis. Salah satu tantangan utama adalah variabilitas data gambar. Variabilitas ini dapat disebabkan oleh perbedaan pencahayaan, sudut pengambilan gambar, dan latar belakang. Teknik augmentasi data seperti rotasi, pemotongan, dan perubahan intensitas cahaya sering digunakan untuk mengatasi masalah ini, tetapi augmentasi data tidak selalu mampu menangkap semua variasi yang mungkin ada di dunia nyata. Selain itu, ketersediaan dataset yang cukup besar dan beragam juga menjadi tantangan signifikan. Banyak penelitian menggunakan dataset yang terbatas dalam jumlah dan variasi, yang dapat mempengaruhi kemampuan model untuk melakukan generalisasi. Dataset sintetis sering digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini, tetapi tidak selalu mencerminkan kondisi nyata.

Pemrosesan citra yang akurat diperlukan untuk ekstraksi fitur yang efektif. Teknik pemrosesan citra seperti konversi warna, pengurangan noise, dan segmentasi citra harus diterapkan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa fitur yang diekstraksi relevan untuk klasifikasi. Kesalahan dalam pemrosesan citra dapat menyebabkan penurunan akurasi model. Pemilihan model dan parameter yang tepat juga sangat penting untuk mencapai kinerja yang baik. Berbagai model deep learning seperti Convolutional Neural Networks (CNN), K-Nearest Neighbor (kNN), dan Artificial Neural Networks (ANN) memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Selain itu, pemilihan parameter seperti jumlah lapisan, jumlah neuron, dan fungsi aktivasi harus dioptimalkan untuk mencapai kinerja terbaik.

Keterbatasan perangkat keras seperti kapasitas memori, kecepatan prosesor, dan kemampuan GPU juga merupakan tantangan yang signifikan. Pemrosesan citra dan pelatihan model memerlukan sumber daya komputasi yang signifikan. Penelitian sering kali harus menyeimbangkan antara kompleksitas model dan ketersediaan sumber daya komputasi. Integrasi model klasifikasi dengan sistem nyata di lapangan juga menghadapi tantangan. Sistem otomatis untuk klasifikasi kematangan pisang harus dapat beroperasi dalam kondisi lingkungan yang beragam dan mungkin menghadapi gangguan atau ketidakpastian. Implementasi sistem yang dapat diandalkan dan tangguh memerlukan pengujian ekstensif dan penyesuaian berkelanjutan.

Keberagaman jenis pisang dengan karakteristik fisik yang berbeda juga merupakan tantangan. Model klasifikasi yang dikembangkan untuk satu jenis pisang mungkin tidak bekerja dengan baik untuk jenis pisang lainnya. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan model yang dapat menangani keberagaman ini atau melatih model khusus untuk setiap jenis pisang. Validasi dan pengujian model secara menyeluruh diperlukan untuk memastikan bahwa model dapat diandalkan dan akurat. Proses validasi harus mencakup data yang tidak terlihat selama pelatihan untuk menguji kemampuan generalisasi model. Pengujian lapangan juga penting untuk menilai kinerja model dalam kondisi nyata. Selain itu, mengikuti perkembangan teknologi terbaru dalam pemrosesan citra dan pembelajaran mesin merupakan tantangan berkelanjutan. Penelitian harus terus memperbarui metode dan teknik yang digunakan untuk memanfaatkan kemajuan teknologi dan meningkatkan kinerja model klasifikasi.

Tren Penelitian Terbaru

Penelitian tentang klasifikasi kematangan pisang telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, didorong oleh kemajuan dalam teknologi pengolahan citra dan pembelajaran mesin. Salah satu tren utama adalah penggunaan Convolutional Neural Network (CNN). CNN telah menjadi pilihan utama dalam penelitian klasifikasi kematangan pisang karena kemampuannya dalam mengekstraksi fitur secara otomatis dan akurat dari data gambar. (Saragih dan Emanuel, 2021) menggunakan model pra-terlatih MobileNetV2 dan NASNetMobile untuk mengklasifikasikan kematangan pisang menjadi empat kategori, dengan hasil bahwa MobileNetV2 mencapai akurasi tertinggi sebesar 96.18%, sementara NASNetMobile mencapai akurasi sebesar 90.84%. Penelitian oleh (Chuquimarca et al., 2023) juga menunjukkan efektivitas CNN sederhana yang dilatih dengan dataset nyata dan sintetis, mencapai akurasi sebesar 91.7%.

Selain CNN, algoritma K-Nearest Neighbor (kNN) juga telah digunakan dalam beberapa penelitian. (Kamelia et al., 2021) menggunakan ruang warna Hue Saturation Value (HSV) dan kNN untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pisang. Meskipun akurasi spesifik tidak disebutkan, metode ini menunjukkan bahwa kNN dapat menjadi alternatif yang efektif untuk klasifikasi berbasis fitur warna. Metode Fuzzy Logic juga digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran dan kematangan pisang berdasarkan pengolahan citra. (Malabag et al., 2022) mengembangkan sistem berbasis Fuzzy Logic yang menunjukkan hasil baik dalam klasifikasi ukuran dan kematangan pisang, meskipun akurasi spesifik tidak disebutkan.

Artificial Neural Networks (ANN) telah menunjukkan hasil yang sangat akurat dalam klasifikasi kematangan pisang. (Bonini Neto et al., 2022) menggunakan jaringan backpropagation feedforward tiga lapis untuk mengklasifikasikan tahap kematangan pisang berdasarkan parameter fisik, fisikokimia, dan biokimia, mencapai akurasi rata-rata 97.5%. Selain itu, penggunaan teknik augmentasi data menjadi tren signifikan untuk meningkatkan kinerja model. (Chuquimarca et al. 2023) menggunakan dataset sintetis untuk melatih model CNN mereka, yang membantu mengatasi keterbatasan dataset nyata. Teknik augmentasi data seperti rotasi, pemotongan, dan perubahan intensitas cahaya sering digunakan untuk memperluas variasi dalam dataset pelatihan.

Integrasi penginderaan hiperspektral (HSI) juga menjadi tren dalam penelitian terbaru. (Raghavendra et al., 2022) menggabungkan penginderaan RGB dan HSI dalam sistem pengurutan pisang berbasis deep learning. Hasilnya menunjukkan akurasi klasifikasi sebesar 98.4% dan F1-score 0.97, menunjukkan bahwa penginderaan HSI dapat meningkatkan kinerja model klasifikasi. Pendekatan multimodal yang menggabungkan berbagai jenis data dan model juga menunjukkan potensi besar. Misalnya, kombinasi data RGB dan HSI oleh (Raghavendra et al., 2022) meningkatkan akurasi klasifikasi dengan mengatasi keterbatasan masing-masing jenis data.

Penggunaan model pra-terlatih dan transfer learning juga menjadi tren signifikan dalam penelitian klasifikasi kematangan pisang. (Saragih dan Emanuel, 2021) menunjukkan bahwa transfer learning dapat secara signifikan meningkatkan akurasi model dengan menggunakan pengetahuan dari model yang telah dilatih pada dataset besar sebelumnya. Secara keseluruhan, tren penelitian terdahulu menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam pengembangan model klasifikasi kematangan pisang dengan menggunakan berbagai teknik dan pendekatan yang inovatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan Sistematik Literatur Review (SLR) tentang klasifikasi tingkat kematangan buah pisang dengan mengevaluasi berbagai teknik pengolahan citra dan pembelajaran mesin. Berdasarkan analisis yang dilakukan, Penerapan Dataset Buah Pisang paling sering dipakai pada Convolutional Neural Networks (CNN). CNN terbukti menjadi metode yang paling dominan dan efektif dalam klasifikasi kematangan pisang. CNN menunjukkan kemampuan tinggi dalam mengekstraksi fitur dari gambar pisang dan mencapai akurasi yang signifikan dalam berbagai penelitian. Selain itu, metode lain seperti K-Nearest Neighbor (kNN), Fuzzy Logic, dan Artificial Neural Networks (ANN) juga menunjukkan hasil yang menjanjikan. Namun, tantangan utama dalam pengembangan model klasifikasi meliputi variabilitas data gambar, keterbatasan dataset, dan keterbatasan perangkat keras. Variabilitas ini dapat disebabkan oleh perbedaan pencahayaan, sudut pengambilan gambar, dan latar belakang yang beragam. Ketersediaan dataset yang cukup besar dan beragam juga menjadi kendala, yang sering diatasi dengan penggunaan dataset sintetis. Selain itu, keterbatasan perangkat keras seperti kapasitas memori dan kecepatan prosesor mempengaruhi kemampuan model untuk melakukan generalisasi. Penelitian ini juga mengidentifikasi tren terbaru dalam penggunaan penginderaan hiperspektral (HSI) dan pendekatan multimodal yang menggabungkan berbagai jenis data untuk meningkatkan akurasi model. Penggunaan model pra-terlatih dan teknik transfer learning juga menjadi tren signifikan yang membantu meningkatkan kinerja model dengan memanfaatkan pengetahuan dari dataset besar sebelumnya.

Saran

Untuk penelitian di masa depan, disarankan untuk mengumpulkan dataset yang lebih besar dan beragam, meningkatkan teknik augmentasi data, serta mengeksplorasi potensi penginderaan hiperspektral (HSI) dalam klasifikasi kematangan pisang. Integrasi data HSI dengan RGB, penggunaan model pra-terlatih, dan teknik transfer learning juga perlu diterapkan untuk meningkatkan akurasi. Investasi dalam perangkat keras yang lebih canggih dan validasi ekstensif di kondisi nyata sangat penting untuk memastikan keandalan model. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan model klasifikasi kematangan pisang akan lebih akurat, efisien, dan dapat diandalkan untuk industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Prof Kusrini untuk bimbingannya dalam pembuatan jurnal ini, dan terimakasih kepada Keluarga yang selalu memberi dukungan.

REFERENSI

Aishwarya, N., & Vinesh Kumar, R. (2023). Banana Ripeness Classification with Deep CNN on NVIDIA Jetson Xavier AGX. *In 2023 7th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). IEEE*. https://doi.org/10.1109/I-SMAC58438.2023.10290326

Ariono, M. R. E., Budiman, F., & Silalahi, D. K. (2021). Design of Banana Ripeness Classification Device Based on Alcohol Level and Color Using a Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Method. In Proceedings of the 1st International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics (Vol. 746). Springer. ISBN: 978-981-33-6925-2.

Arunima, P. L., Gopinath, P. P., Lekshmi, P. R. G., & Esakkimuthu, M. (2024). Digital assessment of post-harvest Nendran banana for faster grading: CNN-based ripeness classification model. Postharvest Biology and Technology, 214, 112972. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112972

Bonini Neto, A., de Souza, A. V., Bonini, C. dos S. B., de Mello, J. M., & Moreira, A. (2022). Classification of banana ripening stages by artificial neural networks as a function of plant physical, physicochemical, and biochemical parameters. *Engenharia Agrícola, 42*(3), e20210197. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n3e20210197/2022

Cahya, Z., Cahya, D., Nugroho, T., Zuhri, A., & Agusta, W. (2022). CNN Model with Parameter Optimisation for Fine-Grained Banana Ripening Stage Classification. In Proceedings of the 2022 International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA '22) (pp. 90-94). ACM. https://doi.org/10.1145/3575882.3575900

Chen, H., & Phoophuangpairoj, R. (2024). Determining banana ripeness using MobileNet. In *2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON)* (pp. 1-6). IEEE. https://doi.org/10.1109/iEECON60677.2024.10537906

Chuquimarca, L. E., Vintimilla, B. X., & Velastin, S. A. (2023). Banana ripeness level classification using a simple CNN model trained with real and synthetic datasets. *Conference Paper, January 2023*. https://doi.org/10.5220/0011654600003417

Darapaneni, N., Tanndalam, A., Gupta, M., Taneja, N., Purushothaman, P., Eswar, S., Paduri, A. R., & Arichandrapandian, T. (2022). Banana Sub-Family Classification and Quality Prediction using Computer Vision. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 3(2), 1059-1122. https://doi.org/10.30880/eeee.2022.03.02.125

Kahfi, A. H., Hasan, M., & Hasanah, R. L. (2023). Classification of banana ripeness based on color and texture characteristics. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing, 5*(1). https://doi.org/10.47709/cnahpc.v5i1.1985

Kamelia, L., Effendi, M. R., & Adila, N. H. (2021). Ripeness level classification of banana fruit based on hue saturate value (HSV) color space using K-Nearest Neighbor algorithm. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 10*(2), 941-947. https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/651022021

Kosasih, R. (2021). Klasifikasi Tingkat Kematangan Pisang Berdasarkan Ekstraksi Fitur Tekstur dan Algoritme KNN. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, 10(4), 383-388.

Kosasih, R., Sudaryanto, & Fahrurozi, A. (2023). Classification of six banana ripeness levels based on statistical features on machine learning approach. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS), 12*(4), 317-326. https://doi.org/10.11591/ijaas.v12.i4.pp317-326

Malabag, B. A., Santiago, C. S. Jr., Cahapin, E. L., Reyes, J. L., & Legaspi, G. S. (2022). Fuzzy logic-based size and ripeness classification of banana using image processing technique. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(10). https://doi.org/10.46338/ijetae1022_02

Mishra, R., Goyal, S., Choudhury, T., & Sarkar, T. (2022). Banana ripeness classification using transfer learning techniques. In 2022 International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS). IEEE. https://doi.org/10.1109/IC3SIS54991.2022.9885244

Mohamedon, M. F., Abd Rahman, F., Mohamad, S. Y., & Omran Khalifa, O. (2021). Banana Ripeness Classification Using Computer Vision-based Mobile Application. 2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE). doi:10.1109/iccce50029.2021.9467225

Patel, H. B., & Patil, N. J. (2024). An intelligent grading system for automated identification and classification of banana fruit diseases using deep neural network. International Journal of Computing and Digital Systems, 15 (1), 761-773. https://doi.org/10.12785/ijcds/150155

Phoophuangpairoj, R., Ngoenrungrueang, T., & Audomsin, S. (2023). Ripeness classification of a bunch of bananas using a CNN. In 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON) (pp. 1-5). IEEE. https://doi.org/10.1109/iEECON56657.2023.10126585

Pushpa, B. R., Chirag, D. L., & Bhat, S. (2024). An intelligent approach to determine banana ripeness stages using deep learning models. In *2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 1-8). IEEE. https://doi.org/10.23919/INDIACom61295.2024.10498201

Raghavendra, S., Ganguli, S., Selvan, P. T., Nayak, M. M., Chaudhury, S., Espina, R. U., & Ofori, I. (2022). Deep learning based dual channel banana grading system using convolution neural network. *Journal of Food Quality*, 2022, Article ID 6050284. https://doi.org/10.1155/2022/6050284

Sajitha, P., Andrushia, A. D., Mostafa, N., Shdefat, A. Y., Suni, S. S., & Anand, N. (2023). Smart farming application using knowledge embedded-graph convolutional neural network (KEGCNN) for banana quality detection. *Journal of Agriculture and Food Research, 14*, 100767. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100767

Samad, M. A. Z. A., & Nazari, A. (2022). Banana fruit classification using convolutional neural network. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 3(2), 1059-1122. https://doi.org/10.30880/eeee.2022.03.02.125

Saragih, R. E., & Emanuel, A. W. R. (2021). Banana Ripeness Classification Based on Deep Learning using Convolutional Neural Network. 2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT). doi:10.1109/eiconcit50028.2021.9431928

Saranya, N., Srinivasan, K., & Kumar, S. K. P. (2021). Banana ripeness stage identification: a deep learning approach. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. doi:10.1007/s12652-021-03267-w

Sheikh, M. R., Hossain, M. A., Hossain, M., Islam, M. M., & Himel, G. M. S. (2024). BananaSet: A dataset of banana varieties in Bangladesh. Data in Brief, 54, 110513. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110513

Shuprajhaa, T., Raj, J. M., Paramasivam, S. K., Sheeba, K. N., & Uma, S. (2023). Deep learning based intelligent identification system for ripening stages of banana. Postharvest Biology and Technology, 203, 112410. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112410

Tamatjita, E. N., & Sihite, R. D. (2022). Banana ripeness classification using HSV colour space and nearest centroid classifier. *Information Engineering Express*, 8(1), IEE687. https://doi.org/10.1109/IEE687.2022

Upadhyay, A., Singh, S., & Kanojiya, S. (2023). Segregation of ripe and raw bananas using convolutional neural network. Procedia Computer Science, 218, 461-468. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.028

Wang, M., Wang, B., Zhang, R., Wu, Z., & Xiao, X. (2023). Flexible Vis/NIR wireless sensing system for banana monitoring. Food Quality and Safety, 7 (1), 1-11. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyad025

Wankhade, M., & Hore, U. W. (2021). Banana Ripeness Classification Based On Image Processing With Machine Learning. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT), 6(2), 1390-1398. https://doi.org/10.48175/IJARSCT-1571

Widodo, D., Fauzi, A., & Sembiring, A. (2023). Identification of banana fruit types using the backpropagation method. *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications, 3*(1). https://ioinformatic.org/