

Pendekatan Multimodal untuk Deteksi Kematangan Buah Mangga Berbasis CNN dan Sensor Gas MQ-135

Syailendra Julian Wicaksono

Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: syailendrawicaksono29@gmail.com

Abstrak – Penentuan tingkat kematangan buah mangga secara akurat merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas hasil panen dan efisiensi distribusi. Namun, penilaian kematangan yang masih bergantung pada pengamatan visual bersifat subjektif dan kurang konsisten. Penelitian ini mengusulkan pendekatan multimodal sederhana untuk mendeteksi status kematangan buah mangga dengan mengintegrasikan indikator morfologis dan fisiologis. Indikator morfologis diperoleh melalui klasifikasi ukuran buah menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) berbasis MobileNetV2, sedangkan indikator fisiologis diperoleh dari respons sensor gas MQ-135 terhadap gas volatil yang dilepaskan selama proses pematangan buah. Pengambilan keputusan tingkat kematangan dilakukan menggunakan mekanisme berbasis aturan (rule-based decision) yang menggabungkan hasil klasifikasi ukuran buah dan nilai sensor gas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model CNN mampu mengklasifikasi ukuran buah dengan akurasi sebesar 0,98, sementara sensor gas menunjukkan respons signifikan berupa lonjakan nilai ketika buah didekatkan ke sensor. Implementasi sistem dalam bentuk prototipe aplikasi berbasis web menunjukkan bahwa alur kerja sistem dari tahap input hingga keluaran keputusan dapat berjalan secara fungsional. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan multimodal sederhana layak digunakan sebagai studi pendahuluan untuk mendukung penentuan kematangan buah mangga secara otomatis dan objektif.

Kata Kunci — buah mangga, kematangan buah, CNN, MobileNetV2, sensor gas MQ-135, multimodal

1. PENDAHULUAN

Buah mangga (*Mangifera indica* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta tingkat konsumsi yang luas [1], [2]. Penentuan tingkat kematangan buah mangga berperan penting dalam menjaga kualitas hasil panen, efisiensi distribusi, serta kepuasan konsumen [3]. Kesalahan dalam menentukan tingkat kematangan dapat berdampak pada penurunan kualitas rasa, aroma, dan umur simpan buah [4].

Pada praktiknya, penilaian kematangan buah mangga masih banyak dilakukan secara konvensional berdasarkan pengamatan visual dan pengalaman petani. Pendekatan tersebut bersifat subjektif dan kurang konsisten, terutama ketika perbedaan visual antar kondisi buah tidak terlalu signifikan [5], [6]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis teknologi yang mampu memberikan penilaian kematangan secara lebih objektif dan terukur.

Perkembangan teknologi pengolahan citra dan pembelajaran mendalam memungkinkan pemanfaatan citra buah sebagai sumber informasi visual dalam proses klasifikasi kematangan. Convolutional Neural Network (CNN) telah banyak digunakan untuk mengekstraksi fitur visual seperti ukuran, bentuk, dan tekstur buah secara otomatis [7], [8]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa CNN mampu memberikan performa yang baik dalam analisis citra buah, khususnya pada kondisi pengambilan citra yang terkontrol [9]. Namun demikian, pendekatan berbasis citra saja masih memiliki keterbatasan karena perubahan visual tidak selalu merepresentasikan kondisi fisiologis internal buah secara akurat [10].

Selain perubahan visual, proses pematangan buah juga ditandai oleh pelepasan senyawa volatil atau *Volatile Organic Compounds* (VOC) yang berkaitan dengan aktivitas fisiologis buah [11]. Senyawa VOC tersebut dapat dideteksi menggunakan sensor gas sebagai indikator non-destruktif tingkat kematangan buah [12]. Sensor gas seri MQ, termasuk MQ-135, telah dilaporkan mampu mendeteksi perubahan konsentrasi gas yang berkorelasi dengan proses pematangan pada berbagai jenis buah [13], [14].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan multimodal sederhana yang menggabungkan indikator visual berupa hasil ekstraksi CNN berbasis MobileNetV2 dan indikator fisiologis berupa data gas VOC dari sensor MQ-135. Pendekatan ini difokuskan sebagai studi awal (*preliminary study*) yang dirancang ringkas dan sesuai untuk lingkup prosiding, dengan tujuan mengevaluasi kelayakan integrasi kedua indikator tersebut dalam mendeteksi status kematangan buah mangga secara otomatis dan objektif [15].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis untuk mendeteksi status kematangan buah mangga dengan memanfaatkan informasi visual dan data sensor gas. Alur penelitian mencakup tahapan pengumpulan data, pra-pemrosesan, ekstraksi fitur, pemodelan sistem, pengambilan keputusan berbasis aturan, dan evaluasi. Pendekatan ini disusun secara ringkas dan disesuaikan dengan karakteristik penelitian prosiding, tanpa membahas detail teknis yang bersifat mendalam sebagaimana pada penelitian skala besar [7], [9].

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan terhadap dua jenis data utama, yaitu data citra buah mangga dan data sensor gas. Data citra digunakan khusus untuk kebutuhan klasifikasi ukuran buah menggunakan CNN. Dataset citra terdiri atas sekitar 450 citra yang diperoleh dari 25 buah mangga, dengan pengambilan gambar dari sudut pandang atas dan jarak yang relatif konstan. Untuk menjaga konsistensi ukuran visual objek pada citra, digunakan marker ArUco sebagai referensi skala [16]. Seluruh citra kemudian diseragamkan ke ukuran 224×224 piksel agar sesuai dengan kebutuhan masukan model CNN berbasis MobileNetV2 [17].

Data sensor gas dikumpulkan secara terpisah menggunakan sensor MQ-135 pada sejumlah sampel buah mangga sebagai bagian dari studi pendahuluan. Sensor ditempatkan pada jarak sekitar 10–11 cm dari buah, dan pembacaan dilakukan setelah proses stabilisasi. Nilai representatif diperoleh dari rata-rata pembacaan sensor dan digunakan sebagai indikator fisiologis dalam penentuan status kematangan buah [12], [14].

2.2 Praprocessing Data

Sebelum dianalisis lebih lanjut, data citra menjalani tahap pra-pemrosesan yang meliputi proses *resize* dan normalisasi nilai piksel. Tahap ini bertujuan untuk memastikan keseragaman data masukan serta meningkatkan stabilitas proses ekstraksi fitur pada CNN [8], [17].

Untuk data sensor gas, dilakukan pengolahan sederhana dengan mengambil nilai rata-rata pembacaan sensor selama durasi pengukuran guna mengurangi pengaruh noise dan fluktuasi awal yang umum terjadi pada sensor gas [13].

2.3 Ekstraksi fitur

Ekstraksi fitur visual dilakukan menggunakan arsitektur CNN berbasis MobileNetV2 yang telah dilatih sebelumnya (*pretrained*). Model CNN digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran relatif buah ke dalam tiga kategori, yaitu kecil, sedang, dan besar. Informasi ukuran tersebut diperlakukan sebagai indikator morfologis dan tidak secara langsung merepresentasikan tingkat kematangan buah [7], [9].

Data sensor gas tidak digunakan untuk melatih model pembelajaran mesin, melainkan diproses sebagai fitur fisiologis pendukung dalam tahap pengambilan keputusan akhir sistem [12].

2.4 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem pada penelitian ini terdiri atas dua komponen utama. Komponen pertama adalah model CNN untuk klasifikasi ukuran buah berdasarkan citra. Komponen kedua adalah model pengambilan keputusan berbasis aturan (*rule-based decision model*) yang dirancang untuk mengintegrasikan indikator morfologis dan indikator fisiologis [10], [15].

Model CNN ukuran digunakan sebagai komponen tetap tanpa pelatihan ulang secara menyeluruh. Sementara itu, data sensor gas dimanfaatkan sebagai masukan tambahan dalam proses pengambilan keputusan akhir tanpa melibatkan pelatihan model pembelajaran mesin.

2.5 Pengambilan Keputusan Berbasis Aturan

Penentuan status kematangan akhir dilakukan menggunakan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan. Aturan keputusan disusun dengan mempertimbangkan hasil klasifikasi ukuran buah dari CNN dan

kategori gas dari sensor MQ-135. Status kematangan akhir diklasifikasikan ke dalam dua kelas, yaitu matang dan belum matang. Pendekatan ini dipilih untuk mengurangi ambiguitas klasifikasi serta menyesuaikan dengan karakteristik data sensor gas yang masih terbatas [11], [15].

2.6 Evaluasi Sistem

Evaluasi sistem difokuskan pada pengujian fungsional sistem dalam menentukan status kematangan buah mangga berdasarkan integrasi indikator ukuran buah dan data sensor gas. Penilaian dilakukan terhadap hasil keputusan akhir sistem, yaitu klasifikasi matang dan belum matang, tanpa mengevaluasi masing-masing komponen secara terpisah [10].

Pengujian dilakukan pada sejumlah sampel buah mangga dengan membandingkan hasil prediksi sistem terhadap kondisi aktual buah. Hasil evaluasi dianalisis secara deskriptif melalui pengamatan kesesuaian keluaran sistem pada beberapa skenario pengujian yang representatif. Sebagai pelengkap, evaluasi kuantitatif dilakukan menggunakan confusion matrix untuk menggambarkan distribusi hasil klasifikasi benar dan salah, serta untuk menghitung metrik evaluasi dasar berupa akurasi, precision, dan recall sebagai indikator kinerja awal sistem [18].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Ukuran Buah

Tabel 1 Accuracy, Precision, Recall, F1-Score

Kelas	Precision	Recall	F1-Score
Besar	1.00	1.00	1.00
Kecil	0.94	1.00	0.97
Sedang	1.00	0.94	0.97
Akurasi			0.98

Hasil pengujian model Convolutional Neural Network (CNN) dalam mengklasifikasikan ukuran buah mangga ke dalam tiga kelas, yaitu kecil, sedang, dan besar, ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil evaluasi, model memperoleh akurasi sebesar 0,98, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan ukuran buah dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Nilai precision dan recall pada kelas besar mencapai 1,00, menandakan bahwa seluruh data pada kelas tersebut berhasil diklasifikasikan dengan benar. Pada kelas kecil, model menghasilkan precision sebesar 0,94 dan recall 1,00, sedangkan pada kelas sedang diperoleh precision 1,00 dan recall 0,94. Perbedaan nilai recall pada kelas kecil dan sedang menunjukkan adanya beberapa kesalahan klasifikasi minor yang kemungkinan disebabkan oleh kemiripan visual ukuran buah antar kelas. Meskipun demikian, nilai F1-score yang tinggi pada seluruh kelas menunjukkan bahwa model CNN mampu mengekstraksi fitur ukuran buah secara efektif dan konsisten, sehingga layak digunakan sebagai komponen penentu ukuran dalam sistem pengambilan keputusan selanjutnya.

3.2 Sensor Gas

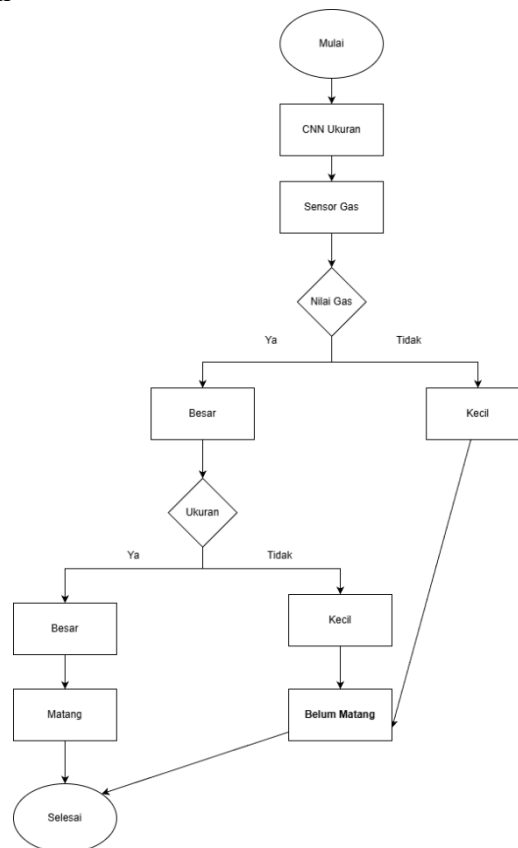
Tabel 2 Data sensor Gas

Waktu	Nilai Gas
00:20.3	96
00:36.3	101
00:57.0	385
01:07.7	244
01:28.5	173
01:49.2	107

Pengujian sensor gas MQ-135 dilakukan untuk mengamati respons sensor terhadap keberadaan gas volatil yang dilepaskan oleh buah mangga. Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 2, nilai sensor berada pada rentang rendah dan relatif stabil ketika tidak terdapat buah di sekitar sensor. Namun, ketika buah mangga didekatkan ke sensor, terjadi lonjakan nilai yang signifikan, dengan nilai maksimum mencapai 385. Setelah beberapa waktu, nilai sensor mengalami penurunan secara bertahap, namun tetap berada pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan kondisi awal. Pola perubahan ini menunjukkan bahwa sensor MQ-135 mampu

mendeteksi keberadaan gas volatil yang berkorelasi dengan proses pematangan buah, sehingga data sensor gas dapat digunakan sebagai indikator fisiologis pendukung dalam pengambilan keputusan tingkat kematangan.

3.3 Pengambilan Keputusan



Gambar 1. Diagram Rule-Base

Pengambilan keputusan tingkat kematangan buah mangga dilakukan menggunakan pendekatan berbasis aturan (*rule-based decision*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Proses diawali dengan masukan citra buah yang diproses menggunakan model CNN untuk memperoleh hasil klasifikasi ukuran buah. Selanjutnya, sistem menerima masukan nilai sensor gas yang merepresentasikan tingkat paparan gas volatil hasil pengukuran. Nilai sensor gas tersebut kemudian dievaluasi pada tahap keputusan untuk menentukan kondisi gas berada pada kategori tinggi atau rendah. Berdasarkan kombinasi hasil klasifikasi ukuran buah dan nilai sensor gas, sistem menghasilkan keputusan akhir berupa status kematangan buah, yaitu matang atau belum matang. Pendekatan berbasis aturan ini dipilih untuk menjaga kesederhanaan mekanisme keputusan serta menyesuaikan dengan keterbatasan jumlah data sensor gas pada penelitian ini, sehingga sistem lebih berfokus pada validasi alur pengambilan keputusan multimodal sebagai studi pendahuluan.

3.4 Implementasi sistem

Sistem Klasifikasi Kematangan Mangga

Upload Citra Buah: No file chosen

Nilai Sensor Gas:

Hasil Klasifikasi Ukuran: sedang

Nilai Gas: 385

Status Kematangan: Matang

Gambar 2. UI Sistem

Implementasi sistem dilakukan dalam bentuk prototipe aplikasi berbasis web yang berfungsi untuk mendemonstrasikan alur kerja sistem klasifikasi kematangan buah mangga. Aplikasi ini menyediakan dua masukan utama, yaitu citra buah mangga yang digunakan untuk memperoleh hasil klasifikasi ukuran melalui

model CNN, serta nilai sensor gas yang dimasukkan sebagai representasi hasil pengukuran maksimum pada setiap skenario pengujian. Setelah kedua masukan diterima, sistem menerapkan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan untuk menentukan status kematangan buah.

Gambar 2 menunjukkan tampilan antarmuka prototipe sistem, di mana pengguna dapat mengunggah citra buah dan memasukkan nilai sensor gas, kemudian memperoleh keluaran berupa hasil klasifikasi ukuran buah, nilai gas yang digunakan, serta status kematangan akhir. Implementasi ini difokuskan pada pengujian fungsional alur input–proses–output sistem, tanpa menekankan aspek integrasi sensor secara real-time maupun pengembangan antarmuka pengguna yang kompleks. Pendekatan ini sesuai dengan tujuan penelitian sebagai studi pendahuluan dalam pengembangan sistem klasifikasi kematangan buah berbasis multimodal.

4. SIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem klasifikasi kematangan buah mangga berbasis pendekatan multimodal yang mengintegrasikan informasi visual dari citra buah dan indikator fisiologis dari sensor gas. Pendekatan ini menunjukkan bahwa penggabungan dua jenis data yang berbeda dapat memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu modalitas saja.
2. Model Convolutional Neural Network (CNN) yang digunakan mampu mengklasifikasikan ukuran buah mangga ke dalam kategori kecil, sedang, dan besar dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa fitur ukuran dan bentuk buah dapat diekstraksi secara efektif dari citra dan layak digunakan sebagai indikator morfologis dalam sistem penentuan kematangan.
3. Sensor gas MQ-135 menunjukkan respons yang jelas terhadap keberadaan gas volatil yang dilepaskan oleh buah mangga, ditandai dengan lonjakan nilai sensor ketika buah didekatkan. Temuan ini menegaskan bahwa data sensor gas dapat dimanfaatkan sebagai indikator fisiologis yang mendukung proses penentuan tingkat kematangan buah.
4. Mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan (rule-based decision) berhasil mengintegrasikan hasil klasifikasi ukuran buah dan nilai sensor gas untuk menghasilkan keputusan akhir berupa status matang atau belum matang. Pendekatan ini memiliki kelebihan dalam hal kesederhanaan, kemudahan implementasi, serta tidak memerlukan pelatihan model tambahan.
5. Implementasi sistem dalam bentuk prototipe aplikasi berbasis web menunjukkan bahwa alur kerja sistem dari tahap input, proses, hingga output dapat berjalan secara fungsional. Aplikasi ini berperan sebagai sarana demonstrasi sistem dan validasi konsep pengambilan keputusan multimodal pada penelitian ini.
6. Keterbatasan penelitian ini terletak pada jumlah data sensor gas yang masih terbatas serta belum diterapkannya integrasi sensor secara real-time ke dalam aplikasi. Selain itu, mekanisme pengambilan keputusan yang digunakan masih bersifat statis dan bergantung pada aturan yang ditentukan secara manual.
7. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan memperluas dataset citra dan sensor gas, menerapkan integrasi sensor secara real-time, serta mengembangkan metode pengambilan keputusan yang lebih adaptif, seperti pendekatan berbasis pembelajaran mesin atau optimasi ambang batas secara dinamis, untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem.

8. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah dan variasi data sensor gas dengan melibatkan lebih banyak sampel buah dan rentang tingkat kematangan yang lebih beragam agar karakteristik respons sensor terhadap gas volatil dapat dianalisis secara lebih representatif. Integrasi sensor gas secara real-time ke dalam sistem juga perlu dikembangkan untuk menghilangkan ketergantungan pada input nilai sensor secara manual sehingga sistem dapat bekerja secara lebih otomatis. Selain itu, mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan yang digunakan pada penelitian ini dapat dikembangkan menjadi lebih adaptif, misalnya melalui penyesuaian ambang batas nilai gas secara dinamis atau dengan mengombinasikannya dengan pendekatan pembelajaran mesin sederhana. Pengembangan tersebut diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem dalam menentukan tingkat kematangan buah mangga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, *Statistik Hortikultura Indonesia 2023*, BPS RI, Jakarta, 2023.
- [2] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Outlook Komoditas Mangga*, Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Jakarta, 2022.
- [3] A. S. Prasetya dan R. W. Oktaviani, “Deteksi Tingkat Kematangan Buah Mangga Menggunakan Pendekatan Deep Learning Berbasis Citra,” *Jurnal Informatika Universitas Satya Negara Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 45–56, 2023.
- [4] M. R. Suryani dan L. Wijaya, “Pengaruh Tingkat Kematangan terhadap Karakteristik Fisik dan Umur Simpan Buah Mangga,” *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 101–110, 2022.
- [5] D. A. Nugroho, E. Prasetyo, dan M. Iqbal, “Analisis Subjektivitas Penilaian Visual pada Penentuan Kematangan Buah Tropis,” *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 11, no. 3, pp. 201–209, 2021.
- [6] A. P. Wicaksono dan F. Ramadhan, “Keterbatasan Metode Konvensional dalam Penentuan Kematangan Buah,” *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 26, no. 4, pp. 512–520, 2021.
- [7] A. S. Prasetya, “Klasifikasi Kematangan Buah Menggunakan Convolutional Neural Network Berbasis Citra Digital,” *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 12, no. 2, pp. 169–176, 2023.
- [8] R. W. Oktaviani dan T. H. Widodo, “Implementasi Deep Learning untuk Analisis Ukuran dan Bentuk Buah Berbasis Citra,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 10, no. 3, pp. 623–632, 2023.
- [9] J. Chen, Y. Li, and X. Zhang, “Fruit Maturity Classification Using Lightweight Convolutional Neural Networks,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 203, pp. 107451, 2022.
- [10] H. Zhang, Q. Wang, and J. Liu, “Challenges and Limitations of Vision-Based Fruit Ripeness Detection,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 189, pp. 106421, 2021.
- [11] A. K. Mishra and S. Sharma, “Analysis of Volatile Organic Compounds in Fruit Ripening Process,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 182, pp. 111705, 2021.
- [12] R. P. Singh and S. Sharma, “Gas Sensor-Based Fruit Ripeness Detection: Recent Advances and Applications,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 8, pp. 7561–7573, 2022.
- [13] D. A. Nugroho dan M. R. Suryani, “Pemanfaatan Sensor Gas MQ-135 untuk Monitoring Proses Pematangan Buah,” *Jurnal Instrumentasi*, vol. 6, no. 2, pp. 85–93, 2022.
- [14] L. Wijaya, A. Rahman, dan T. Prakoso, “Evaluasi Sensor Gas Seri MQ untuk Deteksi Senyawa Volatil pada Buah Tropis,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 11, no. 3, pp. 198–206, 2023.
- [15] M. Sandler et al., “MobileNetV2 Revisited: Performance Analysis in Lightweight Image Classification,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 164215–164227, 2021.
- [16] R. Munir, F. Hidayat, dan S. Kurniawan, “Penerapan Marker ArUco untuk Normalisasi Skala pada Sistem Pengolahan Citra,” *Jurnal RESTI*, vol. 7, no. 4, pp. 742–749, 2023.
- [17] D. M. Powers, “Evaluation Metrics for Classification Models: Accuracy, Precision, Recall, and F1-Score,” *Journal of Machine Learning Technologies*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [18] Y. Li, X. Wang, and Z. Zhou, “Rule-Based Decision Fusion for Multimodal Classification Systems,” *Applied Soft Computing*, vol. 117, pp. 108415, 2022.