

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem deteksi jenis kopi dan pengukuran kadar kafein berdasarkan pendekatan sensorik dan kecerdasan buatan. Deteksi jenis kopi dilakukan menggunakan sensor aroma yang mampu menangkap senyawa volatil dari bubuk kopi, dengan analisis pola aroma dilakukan melalui metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) propagasi balik. Sementara itu, pengukuran kadar kafein dilakukan melalui analisis warna kematangan kopi, dengan memanfaatkan sensor warna tipe TCS3200 dan kamera digital. Data warna yang dihasilkan kamera digital dianalisis menggunakan algoritma K-NN untuk memperkirakan kadar kafein secara akurat. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi sistem dalam proses kontrol kualitas bubuk kopi. Hasil penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan penting:

1. Sensor TGS 2602, 2610, 2611, dan 2620 terbukti memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi variasi unsur gas pada kopi Arabika dan Robusta. Perbedaan karakter aroma antara kedua jenis kopi dapat dikenali dengan jelas melalui respons sensor, khususnya TGS 2602 dan TGS 2610. Kopi Robusta menunjukkan kadar gas dan tegangan sensor yang lebih tinggi, terutama pada butana dan VOC, mencerminkan aroma yang lebih tajam dan kuat. Sementara itu, kopi Arabika memiliki kadar metana, alkohol, dan VOC yang lebih tinggi, namun dengan tegangan dan konsentrasi butana yang lebih rendah, menandakan aroma yang lebih halus dan kompleks. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem sensor mampu membedakan profil aroma kopi secara akurat dan dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi jenis kopi.
2. Model JST memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi jenis kopi, yaitu 95,00% saat pelatihan dan 97,78% saat pengujian, menunjukkan performa yang konsisten dan andal. Uji validasi dilakukan terhadap 225 sampel, yang terdiri dari 180 sampel untuk pelatihan dan 45 sampel untuk pengujian, dengan distribusi yang seimbang pada setiap kategori aroma.
3. Analisis kadar kafein menunjukkan adanya hubungan terbalik antara kadar kafein dan intensitas warna kopi. Kopi Robusta memiliki kadar kafein tertinggi sebesar 0,88% pada tingkat kematangan dark, dengan warna paling gelap dan intensitas terendah. Sebaliknya, kopi Arabika dan Liberika memiliki kadar kafein lebih rendah, dengan nilai terendah sebesar 0,298% pada tingkat kematangan light, yang ditandai dengan warna lebih cerah dan intensitas warna paling tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat kematangan dan warna kopi berpengaruh langsung terhadap kadar kafein, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai parameter tambahan dalam proses klasifikasi jenis kopi.

4. Penelitian ini membuktikan bahwa terdapat hubungan terbalik antara intensitas warna kopi dan kadar kafein. Kopi dengan warna lebih gelap (tingkat kematangan dark) dengan intensitas rata-rata 64,0872 memiliki kadar kafein lebih tinggi dengan nilai rata-rata 0,7066, sedangkan kopi dengan warna lebih terang baik pada tingkat kematangan medium maupun light menunjukkan kadar kafein yang lebih rendah. Dimana kematangan medium intensitas rata-rata 77,21897436 kadar kafein rata-rata 0,691 dan kematangan medium intensitas rata-rata 100,3102564 kadar kafein rata-rata 0,588273385. Nilai intensitas warna diukur menggunakan sensor, yang mampu mendeteksi komponen RGB secara akurat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai RGB berpotensi digunakan sebagai variabel input dalam sistem klasifikasi, karena semakin rendah nilai RGB (warna lebih gelap), semakin tinggi kadar kafein, dan sebaliknya.
5. Deteksi kafein menggunakan JST berdasarkan warna biji kopi dilakukan dengan 180 sampel dari tiga jenis: Robusta, Liberika, dan Arabika, masing-masing memiliki tiga tingkat kematangan. Data dibagi secara seimbang menjadi 144 untuk pelatihan dan 36 untuk pengujian. Model JST menunjukkan akurasi tinggi, yaitu 95,13% saat pelatihan dan 95,00% saat pengujian. Hasil ini membuktikan bahwa metode JST efektif dan stabil dalam mendeteksi kadar kafein dari warna biji kopi.
6. Penelitian dengan tiga jenis kopi Robusta, Liberika, dan Arabika menggunakan metode K-NN menunjukkan bahwa kadar kafein tertinggi terdapat pada varian dark, dan cenderung menurun pada varian medium dan light. Kopi Robusta memiliki kadar kafein tertinggi pada varian dark sebesar 0,683, lalu menurun pada medium sebesar 0,604 dan light sebesar 0,474. Kopi Liberika menunjukkan pola serupa, dengan kadar kafein tertinggi pada dark sebesar 0,731, kemudian turun pada medium sebesar 0,590 dan light sebesar 0,451. Sementara itu, kopi Arabika memiliki kadar kafein yang lebih stabil, yaitu 0,683 pada dark, 0,671 pada medium, dan sedikit menurun pada light sebesar 0,626. Secara umum berdasarkan nilai RGB sensor kamera digital, semakin rendah nilai intensitas warna, semakin rendah kadar kafeinnya, meskipun penurunan ini berbeda-beda tergantung jenis kopinya.
7. Metode K-NN digunakan untuk mendeteksi kadar kafein pada tiga jenis kopi yakni, Arabika, Robusta, dan Liberika, dengan total 390 sampel, terdiri dari 312 data latih (80%) dan 78 data uji (20%). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa metode ini memiliki akurasi rata-rata sebesar 89,00% pada tahap awal pelatihan, dan meningkat menjadi 95,59% pada tahap evaluasi lanjutan. Temuan ini menunjukkan bahwa K-NN merupakan metode yang efektif dan andal dalam klasifikasi kadar kafein berdasarkan warna kematangan kopi.
8. Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat non-destruktif, karena hanya mengandalkan pemprofilan aroma melalui sensor aroma warna RGB melalui sensor warna, kamera digital, tanpa melibatkan proses kimia atau perlakuan fisik yang merusak terhadap sampel kopi. Pendekatan ini

memungkinkan proses analisis dilakukan secara praktis, cepat, dan ramah lingkungan. Dengan keunggulan tersebut, sistem yang dikembangkan memiliki potensi tinggi untuk diterapkan dalam berbagai sektor industri, seperti industri kopi, makanan dan minuman, kosmetik, serta farmasi, khususnya dalam mendukung proses kontrol kualitas, autentikasi produk, dan pengukuran komponen aktif secara efisien.

5.2 Saran

Bagian saran ini disusun sebagai bentuk refleksi dan tindak lanjut dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Saran-saran yang diajukan bertujuan untuk memperkaya wawasan ilmiah serta mendorong pengembangan penelitian di masa mendatang, khususnya dalam bidang analisis kualitas kopi.

1. Analisis Pengaruh Lingkungan
Penelitian lanjutan sebaiknya mempertimbangkan pengaruh unsur tanah, iklim, dan ketinggian tempat terhadap aroma dan kadar kafein kopi. Faktor-faktor agronomis ini berperan penting dalam membentuk profil kimia dan sensorik biji kopi.
2. Penguatan Validasi Laboratorium
Validasi kadar kafein melalui uji laboratorium perlu diperluas dengan metode kimia seperti HPLC atau GC-MS, agar hasil dari sistem sensorik dan kecerdasan buatan dapat dibandingkan secara kuantitatif dan ilmiah.
3. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan dua jenis perangkat untuk akuisisi data warna, yaitu sensor warna TCS3200 dan kamera digital. Perbedaan karakteristik teknis antara kedua perangkat tersebut dapat menyebabkan bias pada data masukan, yang berpotensi mempengaruhi hasil klasifikasi kadar kafein. Oleh karena itu, peneliti menyarankan agar proses analisis dan pelatihan model dilakukan secara terpisah berdasarkan sumber data yang digunakan. Selain itu, kalibrasi silang perlu dilakukan untuk menyamakan distribusi nilai RGB, sehingga akurasi dan konsistensi model klasifikasi dapat terjaga.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem pendeteksian kopi yang tidak hanya mengidentifikasi jenis dan aroma, tetapi juga mengintegrasikan analisis rasa (*taste detection*) menggunakan teknologi *electronic tongue* (*E-tongue*). Integrasi antara sistem E-nose dan E-tongue diharapkan dapat menghasilkan model pendeteksian yang lebih komprehensif terhadap karakteristik sensori kopi, meliputi aroma, rasa, dan tingkat keasaman.