

PERBANDINGAN METODE ANALISIS TEKSTUR DAN STRUCTURAL MATCHING PADA CITRA DIGITAL UNTUK IDENTIFIKASI PRODUK PAPAN ARDUINO

Muhammad Adhitya Syahputra, Mahardika Abdi

Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jalan Kapt. Mukhtar Basri No.3 Medan, Indonesia

Adhityahputra12@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dan industri elektronika, khususnya papan Arduino, telah mengalami kemajuan pesat, sehingga kebutuhan akan metode identifikasi yang efektif menjadi semakin penting. Permasalahan yang dihadapi adalah kesulitan dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan berbagai jenis papan Arduino berdasarkan kondisi fisiknya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan efektivitas metode analisis tekstur menggunakan Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) dan metode structural matching menggunakan Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) dalam mengidentifikasi produk papan Arduino. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan citra digital dari 30 jenis papan Arduino, diikuti dengan penerapan kedua metode analisis untuk mengevaluasi akurasi, kecepatan pemrosesan, dan tingkat kesalahan identifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik GLCM maupun SIFT berhasil mencapai akurasi identifikasi 100% dan tingkat kesalahan identifikasi 0%, dengan GLCM lebih unggul dalam analisis tekstur dan SIFT lebih cepat dalam pemrosesan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem pengenalan otomatis yang lebih efisien dan akurat untuk aplikasi industri dan teknologi.

Kata kunci: Arduino, GLCM, Identifikasi, Metode, SIFT.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan industri elektronika telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu produk yang menonjol dalam industri ini adalah papan Arduino, yang banyak digunakan dalam proyek-proyek elektronika, pendidikan, dan penelitian. Arduino merupakan platform open-source yang memudahkan para pengguna untuk merancang dan mengembangkan berbagai jenis aplikasi elektronik, mulai dari sistem kendali sederhana hingga proyek *Internet of Things* [1].

Seiring dengan meningkatnya popularitas Arduino, kebutuhan akan metode yang efektif dan efisien untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan berbagai jenis papan arduino menjadi semakin penting. Identifikasi yang akurat sangat penting, baik dalam proses produksi, distribusi, maupun pemeliharaan perangkat.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah analisis citra digital, dimana pengolahan citra digital adalah teknik mengolah citra dengan bertujuan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin computer yang dapat berupa foto maupun gambar bergerak [2].

Dalam konteks pengolahan citra digital, terdapat dua metode utama yang sering digunakan: analisis tekstur dan *structural matching*. Analisis tekstur fokus pada karakteristik permukaan citra, seperti pola dan distribusi intensitas, yang dapat diekstraksi menggunakan metode seperti *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM). Metode ini dapat membantu dalam mengenali pola spesifik pada

permukaan papan Arduino, seperti teks dan simbol yang tercetak.

Di sisi lain, *structural matching* berfokus pada identifikasi dan pencocokan fitur-fitur geometris yang terdapat pada citra. Metode seperti *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) dapat digunakan untuk mendeteksi titik-titik kunci (*keypoints*) dan mendeskripsikan fitur lokal dalam citra, memungkinkan pencocokan antara citra-citra yang berbeda. Teknik ini sangat berguna untuk mengenali struktur dan tata letak komponen pada papan Arduino.

Dalam konteks identifikasi produk papan Arduino, kedua pendekatan ini dapat diterapkan untuk membedakan antara produk baru dan produk *recycle*. Analisis tekstur dapat membantu dalam mengidentifikasi pola cetakan dan fitur fisik unik pada papan Arduino, sementara *structural matching* dapat digunakan untuk mencocokkan pola geometris pada papan dengan pola yang tercatat atau template yang dikenal.

Namun, belum ada kajian yang membandingkan secara langsung efektivitas dan keandalan kedua metode ini dalam identifikasi produk papan Arduino. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode analisis tekstur dan structural matching dalam konteks identifikasi produk papan Arduino menggunakan citra digital. Urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan metode identifikasi yang lebih akurat dan efisien, yang dapat diterapkan dalam skala industri, guna mencegah peredaran produk tiruan atau daur ulang yang dapat merugikan industri dan konsumen. Dengan pemahaman yang lebih mendalam

tentang keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode, diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknik identifikasi produk yang lebih efisien dan dapat diandalkan dalam industri elektronika.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Citra

Citra, dalam pengertian umum, adalah representasi visual dari suatu objek, adegan, atau fenomena, yang dapat berupa gambar dua atau tiga dimensi. Citra dapat diartikan sebagai "representasi visual atau simbolis dari sesuatu yang ditangkap melalui indera penglihatan, baik melalui media alamiah maupun buatan." Citra ini dapat berupa gambar yang dihasilkan oleh mata manusia, lukisan, foto, atau bentuk visual lainnya[3].

Secara harafiah, citra (image) adalah gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (scanner), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam[2].

2.2. Citra Digital

Citra digital adalah representasi gambar dalam bentuk digital, yang berarti gambar tersebut direkam, disimpan, dan diproses menggunakan data numerik. Ini berbeda dengan citra analog, yang direkam dalam bentuk fisik atau kimia[4].

Suatu citra diperoleh dari penangkapan kekuatan sinar yang dipantulkan oleh objek. Ketika cahaya menerangi sebuah objek, objek tersebut memantulkan kembali sebagian cahaya yang ditangkap oleh indra (manusia) atau optik (kamera). Bayangan objek itu akan terekam sesuai intensitas pantulan cahaya[5].

Citra digital digunakan dalam berbagai bidang seperti pengenalan pola, analisis medis, hingga sistem pengawasan. Dalam pengolahan citra, data citra dapat dimanipulasi untuk meningkatkan kualitas atau mengekstraksi informasi penting[6].

Perkembangan teknologi saat ini berpengaruh terhadap perkembangan dunia citra digital. Saat ini marak terjadi adanya perubahan kualitas citra yang dihasilkan dari citra yang beresolusi rendah, warna yang pudar, dan lain sebagainya. Kondisi ini memungkinkan pihak yang tidak bertanggung jawab memanfaatkan situasi tersebut untuk kepentingan tertentu. Pembuktian perubahan yang terjadi di dalam sebuah citra digital dapat dilakukan dengan cara penyamaan isi menggunakan pendekatan metadata. Pendekatan metadata ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya perbedaan di antara kedua citra yang terlihat sama[7].

2.3. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan Citra Digital (Digital Image Processing) merupakan bidang ilmu yang mempelajari

tentang bagaimana suatu citra itu dibentuk, diolah, dan dianalisis sehingga menghasilkan informasi yang dapat dipahami oleh manusia, sedangkan Histogram citra adalah representasi grafik yang menyatakan distribusi nilai-nilai warna atau intensitas piksel-piksel di dalam citra[8].

Pengolahan citra digital adalah ilmu yang mempelajari hal-hal berkaitan dengan perbaikan kualitas terhadap suatu gambar (meningkatkan kontras, perubahan warna, restorasi citra), transformasi gambar (translasi, rotasi transformasi, skala, geometrik), melakukan pemilihan citra ciri (feature images) yang optimal untuk tujuan analisis, melakukan penyimpanan data yang sebelumnya dilakukan reduksi dan kompresi, transmisi data, dan waktu proses data[9].

Pengolahan Citra yaitu proses perbaikan kualitas citra agar manusia atau mesin (computer) mudah mengidentifikasi atau mempresentasikan citra tersebut. Input dari pengolahan citra ini adalah citra dan outputnya juga citra yang memiliki kualitas lebih baik dari input citra, misalnya dalam citra mengandung derau (noise/bitnik-bintik putih), citra blur/kabur yang mungkin dikarenakan saat proses pengambilan citra, warna citra kurang pekat sehingga perlu adanya pengolahan citra untuk memperbaiki citra agar citra mudah diimplementasikan baik oleh manusia maupun mesin (komputer)[10].

Pengolahan citra digital adalah suatu teknologi yang digunakan untuk memproses, menganalisis, dan mengotomatiskan tugas berbasis gambar menggunakan komputer[11]. Pada umumnya analog dan digital merupakan tahapan yang sering digunakan dalam pengolahan citra. Analog sering di praktikan dalam pengopian dalam bentuk print out. Pengolahan citra digital banyak digunakan dengan menggunakan komputer[12].

2.4. Arduino

Arduino adalah platform pengembangan perangkat keras yang sangat populer di kalangan penghobi elektronika, pengembang bahkan digunakan secara luas dalam dunia pendidikan. Arduino dapat Anda manfaatkan untuk membuat berbagai proyek elektronik, mulai dari lampu berkedip sederhana hingga robot kompleks[13].

Arduino merupakan platform perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan pengembangan dan pembuatan prototipe perangkat elektronik interaktif [14]. Dengan menggunakan Arduino, pengguna dapat membuat berbagai macam proyek elektronik mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks, seperti sistem kendali otomatis, alat pengukur lingkungan, robotika, dan banyak lagi.

Salah satu keunggulan utama Arduino adalah lingkungan pemrograman yang mudah digunakan. Pengguna dapat membuat program (kode) menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang telah disederhanakan dan diberi perpustakaan fungsi-fungsi

khusus Arduino. Lingkungan pengembangan Arduino (Arduino IDE) menyediakan antarmuka yang ramah pengguna untuk mengunggah kode ke papan Arduino melalui koneksi USB atau bahkan Bluetooth, tergantung pada varian papan[15].

2.5. Analisis Tekstur

Tekstur merupakan salah satu ciri yang bisa diekstrak dari suatu citra digital. Tekstur dapat digunakan sebagai ciri yang membedakan antara citra yang satu dengan citra lainnya. Analisis tekstur dapat diimplementasikan ke dalam bidang pengolahan citra antara lain untuk pengenalan motif kain batik, identifikasi kualitas daging, identifikasi tumor/kanker, klasifikasi jenis kayu, dll[16].

Analisis tekstur pada citra digital dapat dilakukan menggunakan berbagai metode dan rumus, tergantung pada tujuan analisis dan jenis citra yang digunakan. Berikut adalah beberapa rumus umum yang sering digunakan dalam analisis tekstur:

a. Metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM)

Gray-Level Co-occurrence matrix (GLCM) merupakan teknik analisis tekstur pada citra. GLCM merepresentasikan hubungan antara 2pixel yang bertetangga (*neighboring pixels*) yang memiliki intensitas keabuan (*grayscale intensity*), jarak dan sudut. Terdapat 8 sudut yang dapat digunakan pada GLCM, diantaranya sudut 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, atau 315° [17].

Gray-Level Co-occurrence matrix (GLCM) merupakan metode ekstraksi tekstur yang telah terbukti sangat efektif sebagai deskriptor fitur dalam mewakili tekstur karakteristik suatu gambar[18].

GLCM adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis tekstur. Beberapa rumus yang terkait dengan GLCM antara lain:

$$\text{Contrast} = \sum_{i,j} (i - j)^2 \cdot \text{GLCM}(i, j) \quad (1)$$

$$\text{Homogeneity} = \sum_{i,j} \frac{1}{1 + |i - j|} \cdot \text{GLCM}(i, j) \quad (2)$$

2.6. Structural Matching

Structural matching atau template matching adalah salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan pengolahan citra.

Secara umum template matching adalah merupakan untuk mengukur kesamaan dari citra dengan citra template, dengan pencarian fitur tertentu dari keduanya. Template matching memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah metode ini mudah untuk dituliskan ke dalam bahasa program dan mudah untuk mempersiapkan data referensinya. Kekurangannya adalah membutuhkan data referensi atau basis data yang banyak untuk mendapatkan hasil yang optimal[19].

Berikut adalah penjelasan singkat beserta rumus yang menggambarkan konsep template matching:

2.7. Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Proses kerja SIFT melibatkan konstruksi *scale-space* dari gambar dengan menggunakan filter Gaussian untuk mendeteksi titik-titik kunci yang bersifat unik dan stabil di berbagai skala. Setelah titik-titik kunci ini terdeteksi, orientasi dan skala dari setiap titik kunci diukur, dan deskriptor dengan 128 dimensi dibentuk berdasarkan informasi gradien lokal dari gambar. Deskriptor ini sangat khas, sehingga memungkinkan pencocokan yang kuat di antara berbagai pandangan objek atau adegan[20]. Namun, karena SIFT cukup memakan waktu dalam hal komputasi, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan algoritma ini. Salah satunya adalah pengembangan algoritma *Local-Peak SIFT* (LP-SIFT) yang mempercepat proses deteksi fitur tanpa mengorbankan akurasi[21].

Dalam perkembangannya, SIFT terus diintegrasikan ke dalam berbagai kerangka kerja yang lebih maju. Misalnya, LP-SIFT diperkenalkan untuk meningkatkan kecepatan dalam aplikasi *image stitching*, di mana jumlah fitur yang terdeteksi dapat dikurangi tanpa mengorbankan kualitas. Selain itu, *iterative SIFT* (iSIFT) dikembangkan untuk aplikasi penginderaan jauh, memungkinkan registrasi gambar yang lebih baik meskipun terjadi distorsi geometris besar atau perubahan pencahayaan yang signifikan[22].

Inovasi-inovasi ini memastikan bahwa SIFT tetap relevan dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi visi komputer.

SIFT telah menjadi metode yang sangat berpengaruh dalam bidang pengolahan citra dan visi komputer. Dalam penelitian terbaru, SIFT terus digunakan dan dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dengan mengkaji aplikasi SIFT dalam sistem pengenalan objek dan deteksi fitur di lingkungan nyata[23].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan fokus pada analisis citra digital untuk membandingkan efektivitas dua metode, yaitu analisis tekstur dan structural matching, dalam identifikasi papan Arduino. Metode pengumpulan data dilakukan melalui beberapa langkah sistematis yang dirancang untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil.

3.1. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data adalah prosedur penting dalam proses penelitian, di mana data yang diperoleh akan digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan mencapai tujuan penelitian. Pengumpulan data merupakan proses sistematis untuk memperoleh informasi dari subjek penelitian melalui berbagai teknik seperti observasi, wawancara, kuesioner, dan dokumentasi.

Data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap produk papan Arduino. Penulis melakukan

pengambilan citra digital menggunakan kamera handphone dari berbagai sudut dan posisi untuk mencakup variasi yang ada pada papan Arduino. Pengumpulan citra dilakukan dalam kondisi pencahayaan yang konsisten untuk meminimalkan variabel yang dapat mempengaruhi hasil analisis.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

- Survey dan Observasi: Penulis melakukan survey untuk mengamati dan memahami karakteristik fisik dari papan Arduino yang akan dianalisis.
- Pengumpulan Data Referensi: Data referensi yang diperlukan untuk melatih model analisis tekstur dan structural matching dikumpulkan. Data ini mencakup citra papan Arduino yang telah ditandai sebagai baik, bekas, atau cacat.
- Pengumpulan Citra Digital: Citra digital papan Arduino diambil dengan memperhatikan sudut pandang yang serupa untuk memastikan konsistensi dalam analisis.
- Implementasi Metode Analisis: Metode analisis tekstur diterapkan menggunakan *Gray Level Co-Occurance Matrix* (GLCM), sedangkan metode *structural matching* menggunakan *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT). Kedua metode ini diterapkan untuk menganalisis citra dari 30 jenis papan arduino yang berbeda.
- Evaluasi dan Interpretasi Hasil: Hasil dari kedua metode dievaluasi berdasarkan akurasi, kecepatan pemrosesan, dan tingkat kesalahan identifikasi. Data dari tiga papan arduino dalam kondisi berbeda (bagus, bekas, dan tidak bagus) digunakan sebagai acuan untuk analisis.

3.3. Hasil dan Analisis

Hasil dari pengolahan data akan dibandingkan untuk menentukan metode yang paling efektif dan akurat dalam mengidentifikasi produk papan Arduino. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem pengenalan otomatis yang lebih efisien dan akurat untuk aplikasi industri dan teknologi. Dengan pendekatan yang sistematis dan terstruktur, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang mendalam mengenai efektivitas metode analisis citra dalam konteks identifikasi produk elektronik, khususnya papan arduino.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, penulis membandingkan dua metode utama untuk identifikasi produk papan Arduino, yaitu metode analisis tekstur menggunakan *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dan metode *structural matching* menggunakan *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan citra dari 30 jenis papan Arduino yang berbeda, dan hasilnya akan dipaparkan di bawah ini.

4.1. Hasil Pengolahan Data

Bagian ini memaparkan hasil pengolahan data dari metode analisis tekstur *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dan *structural matching Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) pada 30 jenis papan Arduino. Setiap metode dievaluasi berdasarkan akurasi, kecepatan, dan tingkat kesalahan identifikasi. Data dari tiga papan Arduino dalam kondisi bagus, bekas, dan tidak bagus digunakan sebagai acuan untuk menilai dan membandingkan kualitas 30 papan lainnya, sehingga hasil pengolahan citra dengan GLCM dan SIFT lebih akurat dan informatif.

Berikut ini adalah data dari ketiga papan Arduino yang digunakan sebagai acuan:

Tabel 1. Data acuan glcm

No	Citra Asli	Jenis Papan Arduino
1		Bagus
2		Bekas
3		Tidak Bagus

Dari tabel 1 didapatkan kriteria sebagai acuan berikut:

- Kriteria Bagus: $\text{Contrast} < 0.3$: Mengindikasikan bahwa gambar memiliki tekstur yang relatif halus atau tidak banyak variasi intensitas. Ini dapat berarti bahwa papan dalam kondisi baik tanpa banyak kerusakan atau keausan yang jelas. $\text{Energy} > 0.3$: Menunjukkan bahwa gambar memiliki distribusi energi yang relatif tinggi, menunjukkan bahwa pola tekstur pada papan masih cukup teratur dan konsisten.
- Kriteria Bekas: $\text{Contrast} \geq 0.3$: Menunjukkan adanya lebih banyak variasi dalam intensitas piksel, yang mungkin menunjukkan adanya beberapa kerusakan atau penurunan kualitas pada papan. $\text{Correlation} < 0.96$: Menunjukkan bahwa hubungan antara intensitas piksel di berbagai lokasi tidak terlalu tinggi, mungkin mengindikasikan bahwa papan mengalami beberapa kerusakan atau keausan yang mengganggu tekstur yang lebih teratur.
- Kriteria Tidak Bagus: Kondisi ini dipilih jika tidak memenuhi kriteria "Bagus" atau "Bekas". Biasanya, jika contrast tinggi dan energy rendah atau jika correlation sangat rendah, maka papan mungkin dalam kondisi yang lebih buruk, seperti kerusakan atau degradasi yang signifikan.

Tabel 1. Data acuan sift

No	Citra Asli	Jenis Papan Arduino
1		Bagus

No	Citra Asli	Jenis Papan Arduino
2		Bekas
3		Tidak Bagus

Dari tabel 2 didapatkan kriteria sebagai acuan berikut:

- Kondisi "Baru": Jumlah fitur yang terdeteksi sesuai dengan nilai-nilai [1320, 1422, 1239, 1488, 2316, 1743] atau [1422, 1239, 1320] mengindikasikan bahwa papan Arduino Uno berada dalam kondisi baru atau sangat baik. Papan yang baru cenderung memiliki lebih banyak fitur yang terdeteksi karena permukaan dan komponen elektroniknya masih utuh dan jelas.
- Kondisi "Bekas": Jika jumlah fitur yang terdeteksi adalah [1070, 2130, 850, 1823, 1156, 621] atau [1705, 2118, 1905, 1859], maka papan dikategorikan sebagai bekas. Papan yang sudah digunakan cenderung memiliki sedikit lebih banyak fitur yang hilang atau tidak terdeteksi karena penggunaan atau sedikit kerusakan.
- Kondisi "Tidak Bagus": Jumlah fitur dalam rentang [1706, 1430, 1611, 1509, 2507, 1726] atau [2439, 2410, 1430, 1726] menunjukkan bahwa papan dalam kondisi tidak bagus. Papan yang rusak atau mengalami degradasi yang signifikan akan memiliki lebih sedikit fitur yang terdeteksi.

4.2. Analisis Tekstur Metode GLCM

Pada bagian ini, akan dilakukan analisis metode Gray Level Cooccurrence Matrix (GLCM) yang digunakan dalam menganalisis tekstur papan arduino. GLCM adalah salah satu metode yang efektif dalam pemrosesan citra karena kemampuannya untuk mengevaluasi tekstur dengan menghitung frekuensi pasangan piksel dengan nilai intensitas tertentu yang terjadi pada jarak dan sudut tertentu. Berikut adalah langkah-langkah dari metode GLCM dalam proses analisis produk papan arduino:

- Konversi Gambar Menjadi Grayscale
Gambar akan diubah menjadi citra grayscale, sehingga setiap piksel memiliki satu nilai intensitas antara 0 hingga 255.
- Ekstrak Fitur dari GLCM
Beberapa fitur yang umum diambil dari GLCM antara lain: Kontras, Korelasi, Energi dan Homogenitas. Fitur-fitur ini membantu dalam mendeskripsikan tekstur Papan Arduino.
- Proses Klasifikasi
Setelah fitur diekstrak, dilakukan proses klasifikasi jenis papan Arduino berdasarkan fitur yang telah diperoleh dari GLCM.

4.3. Studi Kasus Metode GLCM

Berikut ini adalah studi kasus dari penggunaan metode GLCM dalam melakukan analisis dan

klasifikasi tekstur papan arduino berdasarkan data latih dan data uji sebagai berikut:

4.4. Data Latih

Data latih yang akan digunakan akan diproses oleh sistem agar menjadi citra grayscale agar dapat diproses dengan metode GLCM untuk mendapatkan nilai ekstraksi citra. Berikut ini merupakan data latih yang akan digunakan pada sistem yang dibangun pada penelitian ini:

Tabel 3. Data latih

No	Citra Asli	Citra Grayscale	Jenis Papan Arduino
1			Bagus
2			Bagus
3			Bagus
4			Bagus
5			Bagus
6			Bagus
7			Bagus
8			Bekas
9			Bekas
10			Bekas
11			Bekas
12			Bekas
13			Bekas
14			Bekas
15			Tidak Bagus
16			Tidak Bagus
17			Tidak Bagus
18			Tidak Bagus
19			Tidak Bagus
20			Tidak Bagus
21			Tidak Bagus

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa masing masing jenis papan arduino didapatkan sampel 7 bagus, 7 bekas, dan 7 tidak bagus.

4.5. Ekstraksi Fitur dari GLCM

Berdasarkan citra yang telah diubah dari citra warna menjadi grayscale selanjutnya dilakukan proses ekstraksi fitur dari masing-masing citra sehingga di dapatkan nilai dari GLCM berupa Kontras, Korelasi, Energi dan Homogenitas sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai ekstraksi fitur glcm

No	Citra	Kontras	Korelasi	Energi	Homogenitas
1	Citra Bagus 1	0.15444	0.95336	0.33842	0.93484
2	Citra Bagus 2	0.22474	0.94315	0.3099	0.92895
3	Citra Bagus 3	0.1901	0.93223	0.3257	0.92972
4	Citra Bagus 4	0.16187	0.98123	0.38429	0.94379
5	Citra Bagus 5	0.2262	0.94924	0.40393	0.92119
6	Citra Bagus 6	0.12629	0.97598	0.44984	0.95258
7	Citra Bagus 7	0.22474	0.94315	0.3099	0.92895
8	Citra Bekas 1	0.46347	0.90248	0.3836	0.91691
9	Citra Bekas 2	0.44034	0.89755	0.2003	0.87954
10	Citra Bekas 3	1.212	0.80722	0.15632	0.82902
11	Citra Bekas 4	0.4948	0.93373	0.19341	0.89965
12	Citra Bekas 5	0.41768	0.93794	0.13353	0.88304
13	Citra Bekas 6	0.64635	0.84671	0.53843	0.92338
14	Citra Bekas 7	0.58081	0.91361	0.11489	0.858
15	Citra Tidak Bagus 1	0.26684	0.915	0.25649	0.90711
16	Citra Tidak Bagus 2	0.18934	0.96711	0.24899	0.9303
17	Citra Tidak Bagus 3	0.12327	0.98029	0.22007	0.94451
18	Citra Tidak Bagus 4	0.27021	0.96631	0.19311	0.90549
19	Citra Tidak Bagus 5	0.15479	0.97254	0.24338	0.93442
20	Citra Tidak Bagus 6	0.20005	0.94468	0.1888	0.91804
21	Citra Tidak Bagus 7	0.18934	0.96711	0.24899	0.9303

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa analisis citra menggunakan parameter kontras, korelasi, energi, dan homogenitas memberikan gambaran yang berbeda pada tiga kategori citra: citra bagus, citra bekas, dan citra tidak bagus:

- Citra Bagus:** Memiliki kontras yang relatif rendah (rata-rata 0.18-0.22) serta nilai korelasi dan homogenitas yang tinggi (di atas 0.93). Hal ini menunjukkan bahwa citra bagus memiliki tingkat keteraturan yang baik dengan distribusi intensitas yang seragam dan korelasi antar piksel yang kuat. Energinya juga lebih tinggi, menandakan tekstur yang lebih halus.
- Citra Bekas:** Memiliki kontras yang lebih tinggi dibandingkan citra bagus (rata-rata 0.4-1.2), menunjukkan adanya perbedaan intensitas yang lebih besar antar piksel. Korelasi dan homogenitasnya cenderung lebih rendah (0.80-0.93), yang menandakan bahwa citra ini memiliki tekstur yang lebih kasar dan keteraturan yang berkurang. Energinya juga bervariasi, dengan beberapa citra bekas menunjukkan energi yang lebih rendah.
- Citra Tidak Bagus:** Citra ini memiliki kontras yang lebih bervariasi, dengan beberapa mendekati citra bagus (sekitar 0.18-0.27) namun dengan energi yang lebih rendah (sekitar 0.19-0.25). Korelasi dan homogenitas tetap relatif tinggi (di atas 0.90), menunjukkan bahwa meskipun citra ini tidak

bagus, teksturnya masih memiliki keteraturan yang cukup baik, meski tidak sehalus citra bagus.

4.6. Citra Uji

Sebagai contoh citra uji yang akan digunakan adalah citra bagus yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Citra uji

Dimana citra tersebut memiliki nilai Kontras, Korelasi, Energi dan Homogenitas sebagai berikut:

Kontras : 0.15444
 Korelasi : 0.95336
 Energi : 0.33842
 Homogenitas : 0.93484

1. Proses Klasifikasi

Dalam proses klasifikasi akan dihitung nilai Euclidean ke setiap citra latih. Jarak Euclidean antara dua vector ($x_1, x_2, \dots, x_n$) dan ($y_1, y_2, \dots, y_n$) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (3)$$

Sebagai contoh antara citra uji dengan citra latih pertama adalah sebagai berikut:

$$d(\text{Citra Uji, Citra Latih1}) = \sqrt{((0.15444 - 0.15444)^2 + (0.95336 - 0.95336)^2 + (0.33842 - 0.33842)^2 + (0.93484 - 0.93484)^2)} = 0 \quad (4)$$

Rumus yang sama digunakan hingga mendapatkan keseluruhan jarak euclidean antara citra uji dengan citra latih sehingga di dapat hasil perhitungan yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Euclidean distance citra uji dengan citra latih

No	Citra	Kontras	Korelasi	Energi	Homogenitas	Euclidean
1	Bagus 1	0.15444	0.95336	0.33842	0.93484	0
2	Bagus 2	0.22474	0.94315	0.3099	0.92895	0.0767
3	Bagus 3	0.1901	0.93223	0.3257	0.92972	0.0462
4	Bagus 4	0.16187	0.98123	0.38429	0.94379	0.0449
5	Bagus 5	0.2262	0.94924	0.40393	0.92119	0.0982
6	Bagus 6	0.12629	0.97598	0.44984	0.95258	0.1142
7	Bagus 7	0.22474	0.94315	0.3099	0.92895	0.0767
8	Bekas 1	0.46347	0.90248	0.3836	0.91691	0.317
9	Bekas 2	0.44034	0.89755	0.2003	0.87954	0.329
10	Bekas 3	1.212	0.80722	0.15632	0.82902	1.089
11	Bekas 4	0.4948	0.93373	0.19341	0.89965	0.372
12	Bekas 5	0.41768	0.93794	0.13353	0.88304	0.338
13	Bekas 6	0.64635	0.84671	0.53843	0.92338	0.541
14	Bekas 7	0.58081	0.91361	0.11489	0.858	0.488
15	Tidak Bagus 1	0.26684	0.915	0.25649	0.90711	0.147
16	Tidak Bagus 2	0.18934	0.96711	0.24899	0.9303	0.0971
17	Tidak Bagus 3	0.12327	0.98029	0.22007	0.94451	0.1257
18	Tidak Bagus 4	0.27021	0.96631	0.19311	0.90549	0.1885
19	Tidak Bagus 5	0.15479	0.97254	0.24338	0.93442	0.0970
20	Tidak Bagus 6	0.20005	0.94468	0.1888	0.91804	0.1576
21	Tidak Bagus 7	0.18934	0.96711	0.24899	0.9303	0.0971

Berdasarkan tabel Euclidean diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Jarak Terendah (0): Jarak Euclidean terendah adalah 0, menunjukkan bahwa ada dua titik yang identik atau sangat mirip dalam ruang fitur.
- Jarak Rendah Lainnya (< 0.1): Beberapa nilai jarak lain yang rendah (misalnya 0.0449, 0.0462, 0.0767) menunjukkan bahwa titik-titik tersebut sangat mirip satu sama lain, namun tidak identik.
- Jarak Menengah (0.1 - 0.4): Nilai jarak yang berada di kisaran 0.1 hingga 0.4 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara titik-titik tersebut, namun masih dalam batas kesamaan yang relatif dekat.
- Jarak Tinggi (> 0.4): Nilai jarak yang lebih tinggi, seperti 0.541, 0.488, hingga 1.089, menunjukkan bahwa titik-titik ini sangat berbeda satu sama lain. Perbedaan ini mengindikasikan variasi yang signifikan dalam data.

4.7. Structural Matching Metode SIFT

Pada bagian ini, hasil pengolahan data menggunakan metode Structural Matching dengan Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) untuk identifikasi papan Arduino akan dibahas lebih rinci. Metode SIFT merupakan teknik yang efektif untuk mendeteksi dan mencocokkan fitur struktural dalam citra, memungkinkan identifikasi yang akurat

meskipun terjadi perubahan skala, rotasi, atau pencahayaan.

Dengan menggunakan metode SIFT, dapat dilakukan analisis dan klasifikasi titik SIFT papan arduino dengan akurasi yang baik. Implementasi ini memungkinkan identifikasi berbagai jenis papan arduino, seperti papan arduino bagus, papan arduino bekas, dan papan arduino tidak bagus.

4.8. Studi Kasus Metode SIFT

Berikut ini adalah studi kasus dari penggunaan metode SIFT dalam melakukan analisis dan klasifikasi titik fitur papan arduino berdasarkan data latih dan data uji sebagai berikut:

4.9. Data Latih

Data latih yang akan digunakan akan diproses oleh sistem agar menjadi citra grayscale agar dapat diproses dengan metode SIFT untuk mendapatkan nilai ekstraksi citra. Berikut ini merupakan data latih yang akan digunakan pada sistem yang dibangun pada penelitian ini:

Tabel 6. Data latih sift

No	Citra Asli	Citra Grayscale
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa ada 21 citra asli dan 21 citra grayscale data latih SIFT yang akan di ubah untuk di analisis pada SIFT.

4.10. Ekstraksi Fitur dari SIFT

Berdasarkan citra yang telah diubah dari citra warna menjadi grayscale selanjutnya dilakukan proses ekstraksi fitur dari masing-masing citra sehingga di dapatkan nilai dari Fitur SIFT sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai fitur sift

No	Citra Latih	Citra SIFT	Jenis Jumlah Fitur	Kondisi
1			1743	Bagus
2			1320	Bagus
3			1422	Bagus
4			1488	Bagus
5			2316	Bagus
6			1239	Bagus
7			1320	Bagus
8			1070	Bekas
9			2130	Bekas
10			850	Bekas
11			1823	Bekas
12			1156	Bekas
13			621	Bekas
14			1705	Bekas
15			1706	Tidak Bagus
16			1430	Tidak Bagus
17			1509	Tidak Bagus
18			2507	Tidak Bagus
19			1726	Tidak Bagus
20			2439	Tidak Bagus
21			1430	Tidak Bagus

Berdasarkan dari tabel 7 di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Jumlah fitur tertinggi dan terendah tersebar di antara semua kondisi, menunjukkan bahwa jumlah fitur tidak selalu mencerminkan kualitas yang diharapkan

- b. Kondisi "Tidak Bagus" memiliki jumlah fitur rata-rata yang paling tinggi, sementara "Bagus" dan "Bekas" memiliki rata-rata yang lebih rendah dan lebih mendekati satu sama lain.
- c. Rentang jumlah fitur dalam setiap kondisi menunjukkan bahwa faktor-faktor lain mungkin memengaruhi penilaian kondisi selain dari jumlah fitur saja

4.11. Pembahasan

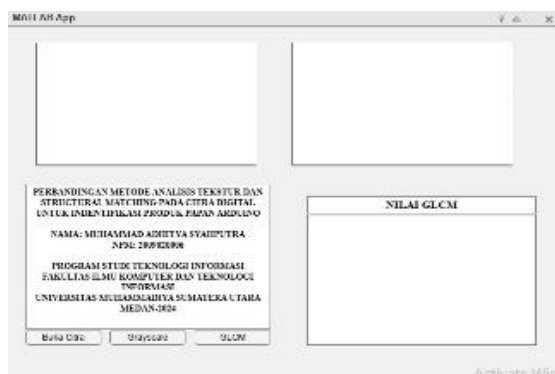
Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah aplikasi yang dapat digunakan untuk melakukan proses identifikasi fitur dari sebuah citra papan arduino menggunakan metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM) dan metode *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) melakukan analisis untuk identifikasi produk papan Arduino yang diuji.

4.12. Pengujian Aplikasi

Berikut ini merupakan hasil pengujian aplikasi saat dijalankan pada perangkat matlab. Hasil proses pengujian dari masing-masing menu yang terdapat pada aplikasi dapat dilihat sebagai berikut:

4.13. Tampilan Aplikasi GLCM

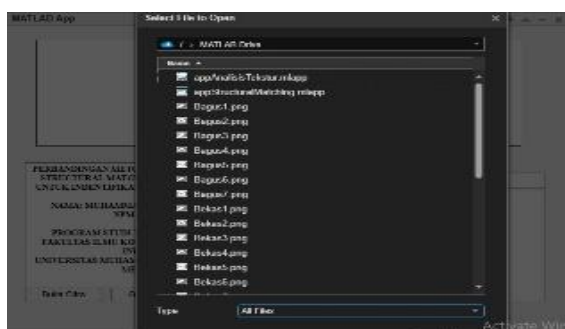
Tampilan dari aplikasi Implementasi Metode *Gray Level CoOccurrence Matrix* Menganalisa papan Arduino dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 2.

4.14. Tampilan Proses Pemilihan Citra GLCM

Tampilan aplikasi glcm Tampilan dari proses pemilihan citra yang akan diuji menggunakan metode GLCM dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 3. Tampilan proses pemilihan citra glcm

4.15. Tampilan Citra GLCM Setelah Dipilih

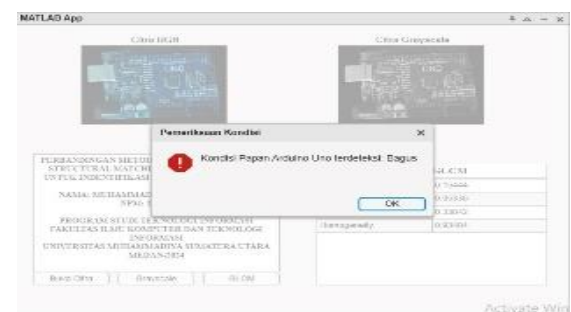
Tampilan yang menggambarkan aplikasi setelah pengguna memilih citra dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 4. Tampilan citra setelah dipilih

4.16. Tampilan Hasil Proses GLCM

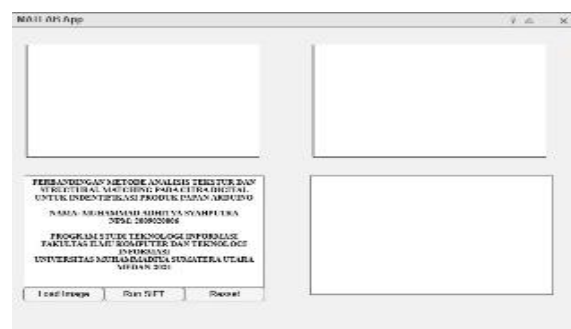
Setelah citra uji dipilih, selanjutnya pengguna dapat melakukan proses ekstraksi fitur citra menggunakan metode GLCM dengan memilih menu GLCM yang terdapat pada aplikasi. Tampilan hasil proses GLCM dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 5. Tampilan hasil proses glcm

4.17. Tampilan Aplikasi SIFT

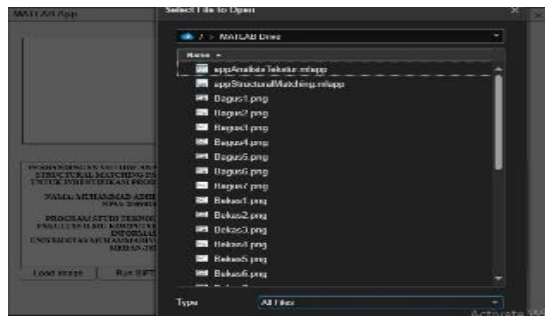
Tampilan dari aplikasi Implementasi *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) Menganalisa Titik papan arduino dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 6. Tampilan aplikasi sift

4.18. Tampilan Proses Pemilihan Citra SIFT

Tampilan dari proses pemilihan citra yang akan diuji menggunakan metode SIFT dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 7. Tampilan proses pemilihan citra sift

4.19. Tampilan Citra SIFT Setelah Dipilih

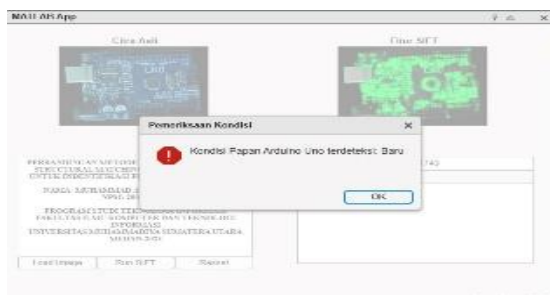
Tampilan yang menggambarkan aplikasi setelah pengguna memilih citra dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 8. Tampilan citra dipilih

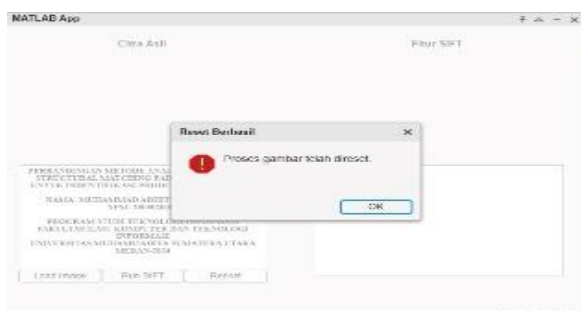
4.20. Tampilan Hasil Proses SIFT

Setelah citra uji dipilih, selanjutnya pengguna dapat melakukan proses jumlah fitur citra menggunakan metode SIFT dengan memilih menu Run SIFT yang terdapat pada aplikasi. Tampilan hasil proses SIFT dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 9. Tampilan hasil proses sift

4.21. Tampilan Hasil Reset SIFT



Gambar 10. Tampilan hasil reset sift

Setelah citra telah diproses, selanjutnya pengguna dapat melakukan proses reset citra dengan memilih menu Reset yang terdapat pada aplikasi. Tampilan hasil reset dapat dilihat pada gambar 12.

4.22. Hasil Pengujian

Dalam pengujian penelitian akan melakukan proses pengujian terhadap citra dari masing-masing produk papan arduino untuk ditampilkan apakah aplikasi akan menghasilkan proses klasifikasi yang sesuai. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian

No	Citra Asli	Hasil Pengujian GLCM	Hasil Pengujian SIFT
1		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
2		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
3		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
4		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
5		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
6		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Bagus OK
7		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK
8		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK
9		Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK	Pemeriksaan Kondisi Kondisi Papan Arduino Uno terdeteksi: Total Bagus OK

4.23. Hasil Pengolahan Data

Bagian ini memaparkan hasil pengolahan data dari metode analisis tekstur GLCM dan structural matching SIFT pada 30 jenis papan Arduino. Setiap metode dievaluasi berdasarkan akurasi, kecepatan, dan tingkat kesalahan identifikasi. Data dari tiga papan Arduino dalam kondisi bagus, bekas, dan tidak bagus digunakan sebagai acuan untuk menilai dan membandingkan kualitas 30 papan lainnya, sehingga hasil pengolahan citra dengan GLCM dan SIFT lebih akurat dan informatif

4.24. Perbandingan Akurasi

Dalam penelitian ini, hasil analisis menunjukkan bahwa baik metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) maupun Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) berhasil mencapai akurasi identifikasi sebesar 100% pada semua citra papan Arduino yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa kedua metode tersebut sangat efektif dalam mengenali dan mengklasifikasikan

kondisi papan Arduino, baik yang dalam keadaan bagus, bekas, maupun tidak bagus, tanpa adanya kesalahan identifikasi.

Metode GLCM lebih cocok digunakan untuk analisis tekstur dan identifikasi pola cetakan pada permukaan papan, sedangkan metode SIFT lebih efektif dalam mendeteksi dan mencocokkan fitur geometris serta struktur komponen pada papan Arduino.

Tabel 9. Perbandingan akurasi

Metode	Akurasi (%)	Keterangan
GLCM	100	Cocok untuk analisis tekstur dan pola cetakan
SIFT	100	Cocok untuk deteksi fitur geometris dan struktur

4.25. Kecepatan Pemrosesan

Dalam hal kecepatan pemrosesan, SIFT menunjukkan performa yang lebih cepat dibandingkan GLCM. Hal ini disebabkan oleh algoritma SIFT yang lebih efisien dalam mendeteksi dan mencocokkan fitur kunci. Namun, kecepatan ini datang dengan pengorbanan akurasi dalam beberapa kasus. Grafik berikut menggambarkan waktu pemrosesan rata-rata untuk masing-masing metode:

Tabel 10. Kecepatan pemrosesan

Metode	Waktu Pemrosesan (Detik)
GLCM	1.5
SIFT	0.8

4.26. Tingkat Kesalahan Identifikasi

Dalam penelitian ini, baik metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) maupun Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) menunjukkan tingkat kesalahan identifikasi yang sempurna, yaitu 0%. Hal ini menandakan bahwa kedua metode berhasil mengidentifikasi semua citra papan Arduino tanpa adanya kesalahan, sehingga dapat diandalkan untuk aplikasi identifikasi produk.

Tabel 11. Tingkat kesalahan

Metode	Akurasi (%)	Keterangan
GLCM	0	Tidak ada kesalahan identifikasi pada semua citra
SIFT	0	Tidak ada kesalahan identifikasi pada semua citra

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) maupun Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) berhasil mencapai akurasi identifikasi 100% dan tingkat kesalahan identifikasi 0% dalam menganalisis citra papan Arduino, yang menandakan efektivitas kedua metode dalam pengenalan produk elektronik. GLCM lebih cocok digunakan untuk analisis tekstur dan identifikasi pola cetakan pada permukaan papan, sedangkan SIFT menunjukkan keunggulan dalam kecepatan pemrosesan dengan

waktu rata-rata 0,8 detik dibandingkan GLCM yang memerlukan 1,5 detik, serta lebih efektif dalam mendeteksi dan mencocokkan fitur geometris serta struktur komponen pada papan Arduino.

Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya mengeksplorasi kombinasi kedua metode tersebut serta mempertimbangkan penggunaan teknik pembelajaran mesin yang lebih canggih untuk mengoptimalkan proses klasifikasi dan memperluas aplikasi analisis citra dalam konteks industri. Selain itu, penting untuk melakukan pengujian lebih lanjut dengan variasi kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar yang berbeda untuk memastikan konsistensi hasil identifikasi di berbagai situasi, serta untuk meningkatkan keandalan identifikasi produk bekas dan baru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cindy Amara, "Internet of Things (IoT): Pengertian, Contoh & Komponennya," Ilmu Elektro.
- [2] R. Munir, "Pengantar Pengolahan Citra," *Pengolah. Citra Digit.*, no. Bagian 1, pp. 1–10, 2019, [Online]. Available: <http://rosnigj.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/15431/pendahuluan.pdf>
- [3] R. Webster, *Visual Imaging: Techniques and Processes*. Routledge, 2017.
- [4] Agung Adhitya, "Citra Digital: Konsep, Aplikasi, dan Perkembangannya," Power Code. Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://blogs.powercode.id/citra-digital-konsep-aplikasi-dan-perkembangannya/>
- [5] H. Kettutrare, "Pengertian Piksel dan Resolusi di Citra Digital." [Online]. Available: <https://www.kettutrare.com/2019/12/pengertian-piksel-dan-resolusi-di-citra.html>
- [6] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 2nd editio. Springer, 2020.
- [7] A. A. and K. Hijjayanti, "Menggunakan Exif Metadata," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 5, p. 1, 2020.
- [8] S. Ratna, "Pengolahan Citra Digital Dan Histogram Dengan Phyton Dan Text Editor Phycharm," *Technol. J. Ilm.*, vol. 11, no. 3, p. 181, 2020, doi: 10.31602/tji.v11i3.3294.
- [9] M. Y. Munantri, N. Z., Sofyan, H., & Florestiyanto, "Aplikasi Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Umur Pohon," *Telemat. J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 16(2), p. 98, 2020, [Online]. Available: <http://www.jurnal.upnyk.ac.id/index.php/telematika/article/view/3183/2491>
- [10] F. W. Ikhsan, D., Utami, E., & Wibowo, "Metode Klasifikasi Mutu Greenbean Kopi Arabika Lanang Dan Biasa Menggunakan K-Nearest Neighbor Berdasarkan Bentuk.," *J. Ilm. SINUS*, vol. 18(2), 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.30646/sinus.v18i2.456>
- [11] F. A. Rahman, "Pengolahan Citra Digital dan

- Cara Pengaplikasiannya,” Kompasiana. [Online]. Available: <https://www.kompasiana.com/fajaradika7458/665c7b0d34777c62015208b2/pengolahan-citra-digital-dan-cara-pengaplikasiannya>
- [12] C. Susila, M. F., Irawan, B., & Setianingsih, “Deteksi Penyakit Pada Daun Pakcoy Dengan Pengolahan Citra Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Diseases Detection of Bok Choy Leaf By Image Processing Using Convolutional Neural Network Method,” *E-Proceeding Eng.*, vol. 7(3), pp. 9347–9354, 2020.
- [13] E. A. Prastyo, “Panduan Dasar Arduino untuk Pemula: Memulai dengan Mudah,” Arduino Indonesia. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2024/01/panduan-dasar-arduino-untuk-pemula-memulai-dengan-mudah.html>
- [14] Rony Setiawan, “Apa itu Arduino? Pahami Lebih Mendalam,” Dicoding. Accessed: Jan. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.dicoding.com/blog/apa-itu-arduino/>
- [15] C. Amara, “Arduino: Pengertian, Komponen, Fungsi dan Jenisnya,” Ilmu Elektro. [Online]. Available: <https://ilmuelektro.id/arduino/>
- [16] A. Pamungkas, “Analisis Tekstur Menggunakan Metode GLCM, LBP, dan FLBP,” Pemrograman Matlab. [Online]. Available: <https://pemrogramanmatlab.com/2018/09/27/analisis-tekstur-menggunakan-metode-glcm-lbp-dan-flbp/>
- [17] M. Yunus, “Feature Extraction : Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM),” Medium. [Online]. Available: <https://yunusmuhammad007.medium.com/feature-extraction-gray-level-co-occurrence-matrix-glcm-10c45b6d46a1>
- [18] M. Praseptiyana, W. I., Widodo, A. W., & Rahman, “Pemanfaatan Ciri Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) Untuk Deteksi Melasma Pada Citra Wajah,” *J. Pengemb. Teknol. Informasi Dan Ilmu Komput.*, vol. 3(11), pp. 10402–10409, 2019.
- [19] N. I. Rahman, S., Sahira, U., & Syahputri, “Pengenalan Iris Mata Menggunakan Metode Template Matching Correlation,” *J. Teknol. Inf.*, vol. Vol.2, No.2, pp. 105–112, 2019.
- [20] et al Lindeberg, T., “Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) Advances,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 29, pp. 742–753, 2020.
- [21] et al Li, W., “Local-Peak SIFT for Fast Image Stitching,” *J. Imaging*, vol. 6(7), p. 112, 2020.
- [22] et al Zhou, T., “Iterative SIFT for Remote Sensing,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 58(5), pp. 3126–3137, 2020.
- [23] A. Sharma, A., Jain, A., & Chauhan, “A Comprehensive Review of SIFT and Its Applications in Computer Vision,” *J. Comput. Vis. Image Underst.*, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2020.103222>