

Deteksi Keaslian Uang Rupiah Menggunakan Metode *Canny Edge Detection* dan *K-Mean Clustering*

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v21i2.2922>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)



Selvana Fadila^{1*} Dedy Abdullah²

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*: selvanafadilah16@gmail.com

Abstract

The escalating problem of counterfeit currency in various countries, primarily due to easy access to information on manufacturing methods and advancements in color printing technology, renders traditional '3D' identification methods less effective. This research aims to design an authenticity detection system for Rupiah banknotes using a digital image processing approach. This study utilized a total of 40 Rupiah banknote images as test objects, comprising 10 genuine and 10 counterfeit images for each of the Rp 50,000 and Rp 100,000 denominations. The methodology applied included image acquisition, conversion to grayscale, followed by image segmentation. This system integrates Canny Edge Detection to extract edge details and K-Means Clustering for image grouping. Key features analyzed were Aspect Ratio and Edge Density, which assist in differentiating between genuine and counterfeit banknotes. Test results indicate that the developed system could identify the authenticity of Rupiah banknotes with an average accuracy of 87.50%. This combined approach offers an effective solution for Rupiah banknote authentication.

Keyword: *Authenticity Rupiah Banknotes; Canny Edge Detection; K-Means Clustering; Aspect Ratio, Edge Density.*

Abstrak

Permasalahan uang palsu yang terus meningkat di berbagai negara, terutama dengan kemudahan akses informasi dan teknologi pencetak warna, menjadikan metode identifikasi tradisional '3D' kurang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem deteksi keaslian uang kertas Rupiah menggunakan pendekatan pengolahan citra digital. Penelitian ini menggunakan total 40 citra uang kertas Rupiah sebagai objek uji, terdiri dari 10 gambar uang asli dan 10 gambar uang palsu untuk masing-masing nominal Rp 50.000 dan Rp 100.000. Metodologi yang diterapkan meliputi akuisisi citra, konversi citra menjadi skala abu-abu, diikuti dengan segmentasi citra. Sistem ini mengintegrasikan *Canny Edge Detection* untuk mengekstraksi detail tepi dan *K-Means Clustering* untuk pengelompokan citra. Fitur-fitur kunci yang dianalisis adalah *Aspect Ratio* dan *Edge Density*, yang membantu dalam hal membedakan uang asli dan palsu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun mampu mengidentifikasi keaslian uang Rupiah dengan akurasi rata-rata sebesar 87.50%. Pendekatan gabungan ini memberikan solusi efektif untuk autentikasi uang kertas Rupiah.

Kata kunci: *Keaslian Uang Rupiah; Canny Edge Detection; K-Means Clustering; Aspect Ratio; Edge Density.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi sangatlah cepat dari masa ke masa, perkembangan ini juga terjadi dalam bidang teknologi informatika. Perkembangan teknologi informatika juga turut mendorong meningkatnya kriminalitas dalam bidang ini. Peredaran uang palsu meningkat secara signifikan setiap tahun dikarenakan perkembangan teknologi dan kemudahan akses informasi di dunia maya mengenai cara pembuatan uang palsu. Kecanggihan alat printer berwarna bahkan sudah bisa membuat uang palsu dengan hampir presisi[1]. Uang palsu

termasuk permasalahan sangat serius di negara manapun. Untuk mengurangi kasus yang semakin meningkat terutama pada uang kertas palsu, Bank Indonesia (BI) telah membuat metode keamanan pada uang kertas yang beredar pada masyarakat untuk menjadi pembeda antara uang asli dan tiruan. Namun metode ini tergolong tidak ampuh demi total yang terlalu melimpah. Perkara ini disebabkan karena transaksi menggunakan uang fisik berlangsung sangat cepat, sedangkan pemeriksaan tidak otomatis memerlukan durasi lebih panjang dibandingkan proses transaksi itu sendiri. Oleh karena itu, membutuhkan metode yang lebih akurat dan cepat dalam mendeteksi uang palsu [2]. Meskipun telah diterapkan strategi untuk mengatasi peredaran uang palsu di Indonesia, serta sosialisasi cara membedakan antara asli dan palsu tetapi peredaran uang palsu di Indonesia masih mengalami peningkatan. Menurut klarifikasi UYDK sampai oktober 2022 ada 117.180 lembar uang palsu di Bank Indonesia naik 78% dari 65.699 lembar pada tahun 2021 [3].

Sebagai ilustrasi yang konkret, terjadi insiden pemalsuan uang di UIN Alauddin Makassar, yang melibatkan sejumlah orang dalam penggunaan uang tiruan untuk kegiatan jual beli. Peristiwa ini menarik perhatian banyak pihak karena uang ilegal itu tersebar di antara mahasiswa serta wirausahawan area sekitar perguruan tinggi, sehingga menimbulkan kegelisahan di dunia akademis.[4]

Seiring meningkatnya peredaran uang palsu, metode otomatis berbasis pengolahan citra menjadi solusi potensial dalam verifikasi keaslian uang. Untuk tujuan tersebut, metode deteksi tepi digunakan sebagai cara untuk mengidentifikasi uang palsu. Deteksi tepi merupakan langkah untuk mengidentifikasi perbedaan intensitas yang sangat signifikan dalam gambar, mengingat metode *Canny* memiliki tingkat kesalahan yang paling rendah, sehingga deteksi ini memberikan hasil citra tepi yang optimal. Di sisi lain, Metode *K-Means Clustering* berfokus pada klasifikasi yang berbasis data ke dalam sejumlah kluster yang memiliki kesamaan berdasarkan kedekatannya. Dari kedua metode tersebut sepertinya dapat digabungkan untuk meningkatkan dalam mendeteksi uang asli dan palsu.

Pada metode *Canny* telah dilakukan penelitian guna memperkirakan beberapa jumlah uang logam yang muncul pada gambar telah bekerja dengan baik dan telah menentukan jumlah koin dengan akurat. Pada penelitian saat ini, sistem dapat membandingkan antara koin yang memiliki warna, yang terbuat dari tembaga, koin berwarna putih, serta terbuat dari aluminium, dengan keakuratan data mencapai 91%[5]. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan menggunakan *canny edge detection* dalam mendeteksi uang kertas memiliki *watermark* atau tidak, serta untuk mendeteksi keaslian uang yaitu mencapai 85,71% [6]. Pada penelitian menerapkan pendekatan *K-Means Clustering* guna memperoleh nominal segmentasi gambar yang akan digunakan dalam mengekstraksi ciri-cirinya. Selanjutnya, data yang diperoleh dari ekstraksi ciri tersebut digunakan dalam proses pelatihan untuk model klasifikasi *Random Forest*. Hasilnya adalah sebuah model *Random Forest* dengan 100 *decision* keputusan yang dapat memprediksi jumlah uang kertas yang dimasukkan ke dalam gambar dengan tingkat akurasi 95% [7]. Pada penelitian yang sudah dikerjakan mengaplikasikan pendekatan *K-Means Clustering* untuk mendeteksi keaslian objek uang rupiah asli atau palsu dapat mencapai akurasi sebesar 96,67% ini membuktikan jika mekanisme bisa mengidentifikasi orisinalitas uang kertas rupiah [8].

Menurut latar belakang diatas, peneliti bermaksud mempelajari seberapa efektif pendekatan deteksi batas *Canny edge* dan algoritma *clustering K-Means* untuk mengidentifikasi apakah uang kertas rupiah asli atau tidak. Tujuan dari penelitian ini juga adalah untuk mengetahui seberapa akurat pengenalan uang rupiah asli atau palsu dengan menggabungkan kedua algoritma ini.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian dahulu yang dilakukan oleh [9] melakukan evaluasi terhadap metode *Canny Edge* serta *Region Segmentation Active Contour* pada mendeteksi tanda air terhadap uang kertas Rupiah (Rp 5.000-Rp 100.000 dalam tiga kondisi: umum, tertekuk, robek, dan hasil cetakan). Dalam penelitian ini, Metode *Canny Edge* diterapkan guna pendeteksian batas objek terhadap citra, sedangkan Metode *Region Segmentation Active Contour* melakukan pengelompokan area objek dengan menerapkan batas tepi aktif. Penelitian yang menggunakan Matlab ini melaporkan akurasi *Canny Edge* sebesar 88% dan *Region Segmentation Active Contour* sebesar 87%, dengan keunggulan *Canny* untuk tepi kontras tinggi dan *Region Segmentation Active Contour* untuk wilayah objek kompleks.

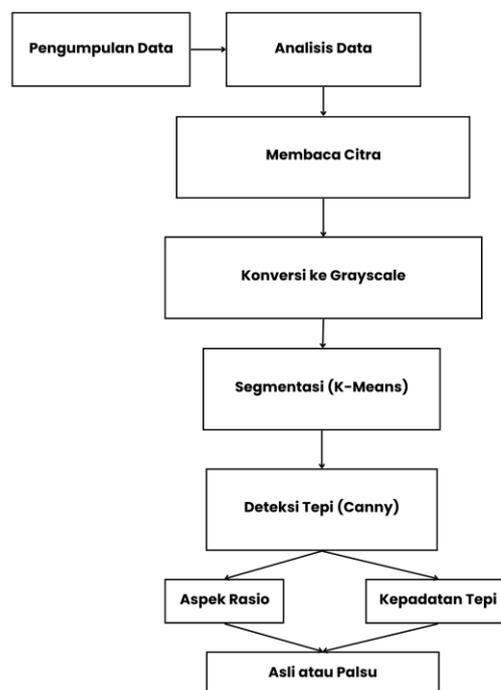
Penelitian dilakukan oleh [10] sebuah pendekatan berbasis deteksi tepi diusulkan untuk mengidentifikasi keaslian uang. Metodologi yang diuraikan mencakup pengambilan citra, konversi ke format grayscale, dan kemudian aplikasi algoritma deteksi tepi. Guna membedakan uang asli dan palsu, mereka melakukan analisis mendalam terhadap karakteristik garis tepi yang dihasilkan, serta pola histogram dan tekstur citra, sebagai indikator utama.

penelitian [11] dalam pengembangan aplikasi identifikasi keaslian uang rupiah. Dalam studi tersebut, K-Means digunakan untuk mengelompokkan citra digital uang berdasarkan nilai rata-rata RGB dari gambar hologram, guna membedakan antara uang asli dan palsu secara otomatis. Prosedur clustering dimulai dari penentuan jumlah kelompok, alokasi data secara acak, hingga iterasi penghitungan *centroid* dan pemindahan data menuju kelompok dengan jarak terdekat, menggunakan rumus *Euclidean Distance*. Penerapan teknik ini menunjukkan efektivitas *K-Means* dalam pengolahan citra digital berbasis warna untuk tujuan klasifikasi.

Penelitian ini berkontribusi pada *state of the art* deteksi keaslian uang kertas Rupiah melalui pendekatan pemrosesan citra digital yang inovatif. Dengan mengintegrasikan secara sinergis Algoritma *Canny Edge Detection* untuk ekstraksi detail tepi dan *K-Means Clustering* untuk pengelompokan citra, sistem yang dikembangkan mampu menganalisis fitur kunci seperti *Aspect Ratio* dan *Edge Density*. Kombinasi metode ini memungkinkan diferensiasi yang efektif antara uang asli dan palsu, dibuktikan dengan akurasi rata-rata sebesar 87.50% pada pengujian uang kertas Rupiah denominasi Rp 50.000 dan Rp 100.000. Pendekatan gabungan ini menawarkan solusi yang efektif dan menjanjikan dalam upaya otentikasi uang kertas di tengah tantangan pemalsuan yang terus berkembang.

3. Metodologi

Metodologi penelitian ini tercakup oleh sebagian tahap. Sedangkan metodologi penelitian ini terlampir lewat Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

Tahap ini melibatkan pengumpulan dataset citra uang rupiah 100 ribu rupiah dan 50 ribu rupiah, yang tercakup dalam uang asli serta uang palsu. Total 40 citra uang digunakan dalam penelitian ini, meliputi 20 citra uang asli serta 20 citra uang palsu. Citra uang asli diperoleh menggunakan kamera ponsel pada kondisi pencahayaan normal. Sementara itu, citra uang palsu didapatkan dari berbagai sumber internet untuk merepresentasikan jenis pemalsuan yang umum dan bervariasi, meliputi hasil print, hasil scanner, dan foto uang asli tapi palsu fisik

dari kamera ponsel yang menyerupai uang asli. Seluruh citra diorganisir dalam sebuah folder khusus untuk input. Sistem akan secara otomatis membaca semua file gambar berformat (png atau jpg) yang terdapat dalam folder input tersebut, memastikan fleksibilitas dalam penambahan data. Setiap citra uang disimpan dalam format PNG dan memiliki resolusi yang seragam untuk mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Selain citra uang itu sendiri, ground truth untuk segmentasi juga disiapkan dalam format citra biner (hitam-putih) yang sesuai dengan setiap citra uang. Dengan total 20 dataset untuk setiap jenis pecahan, penelitian ini dimaksudkan guna mengevaluasi efektivitas pendekatan *Canny Edge Detection* serta *K-Means Clustering* dalam menghasilkan tingkat akurasi yang optimal dalam proses pengelompokan data.

3.2 Analisis Data

3.2.1 Membaca Citra

Tahap awal dalam pra-pemrosesan gambar adalah melakukan pembacaan citra. Pada setiap citra uang rupiah yang akan dianalisis akan dibaca ke dalam sistem dengan menggunakan fungsi `imread` di MATLAB. Citra dapat berupa dalam bentuk (RGB). Dalam penelitian ini menggunakan folder yang dimana folder ini bernama "GambarUang" dan "foreground) agar lebih rapi dalam pengelolaan datasetnya.

Kode 1. Membaca Citra

```
a = imread(current_gambar_path);
```

3.2.2 Konversi ke Grayscale

pada tahap awal dalam pra-pemrosesan adalah mengubah citra berwarna menjadi keabuan (*grayscale*) [12]. Transformasi ini bertujuan untuk mengurangi kompleksitas komputasi dengan menghilangkan informasi warna (saluran RGB) dan fokus pada data intensitas piksel. Data intensitas inilah yang menjadi fundamental bagi keberhasilan algoritma deteksi tepi dan ekstraksi fitur tekstur pada tahapan selanjutnya. Konversi ini diimplementasikan menggunakan fungsi `rgb2gray()` dalam perangkat lunak MATLAB, sebagaimana ditunjukkan pada fragmen kode berikut:

Kode 2. Citra asli ke *grayscale*

```
g = rgb2gray(a);
```

3.2.3 K-Means Clustering

Algoritma *K-Means Clustering* adalah pendekatan partisi data tanpa supervisi yang mengklasifikasikan data terhadap beberapa cluster berdasarkan jarak terhadap titik pusat cluster. Proses iteratif dilakukan hingga centroid tidak lagi berubah. Untuk implementasi teknis dan penjelasan detail proses pengelompokan piksel citra digital berdasarkan intensitas warna [13]. menerapkan pendekatan ini dalam segmentasi citra digital untuk membedakan objek dari latar belakang. Berikut adalah implementasi algoritma K-Means Clustering dalam MATLAB untuk proses segmentasi citra uang dalam MATLAB ditunjukkan pada Cuplikan Kode 3.

Kode 3. Penerapan K-Means Clustering untuk Segmentasi

```
[idx, C] = kmeans(pixel_data, k_clusters);  
% 'idx' berisi indeks klaster untuk setiap piksel. Kemudian di-reshape ke bentuk citra.
```

3.2.4 Deteksi Tepi dengan Canny

Setelah segmentasi, deteksi tepi dilakukan pada citra *grayscale* menggunakan algoritma *Canny Edge Detection*. Algoritma *Canny* dipilih karena kemampuannya dalam mendeteksi tepi pada citra yang kuat. Untuk detail mengenai langkah-langkah atau formula Algoritma *Canny Edge Detection*, pembaca dapat merujuk pada Bagian 2.2.1 Canny Edge Detection di dokumen ini. [14]. Hasil dari tahap ini adalah citra biner (`BW_edges_canny`) yang menyoroti semua garis tepi yang signifikan dalam gambar uang, yang akan menjadi dasar perhitungan kepadatan tepi."

Kode 4. Menerapkan Canny Edge Detection

```
BW_edges_canny = edge(g, 'canny', [canny_low_thresh canny_high_thresh]);
```

3.2.5 Aspect Ratio

Aspect ratio (rasio aspek) dihitung sebagai fitur geometris untuk menilai proporsi dimensi objek [15]. Ini penting untuk mengidentifikasi distorsi ukuran pada uang palsu. Perhitungan untuk aspect ratio berdasarkan pada properti *BoundingBox* dari objek uang tersegmentasi, dimana lebar dan tinggi yang diperoleh menggunakan fungsi dari *regionprops()*.

Kode 5. Perhitungan Aspect Ratio

```
if ~isempty(stats)
% Mengambil bounding box dari objek terbesar (asumsi objek pertama)
bbox = stats(1).BoundingBox; width = bbox(3); height = bbox(4);
aspect_ratio = width / height;
else aspect_ratio = NaN; % Atau nilai default lain jika tidak ada objek
end
```

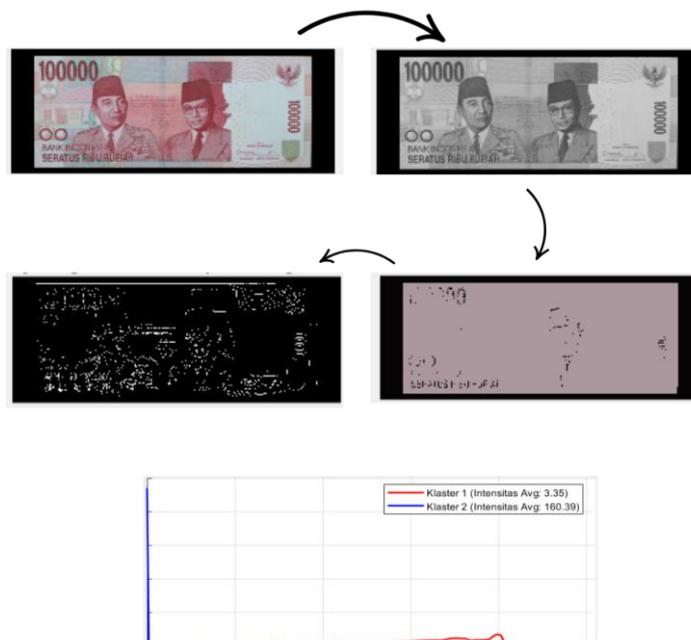
3.2.6 Kepadatan Tepi

Kepadatan tepi dapat membandingkan antara citra gradien dengan ambang batas yang telah ditentukan agar mendapatkan citra pada tepi [16]. Metrik ini dihitung sebagai rasio antara jumlah piksel tepi yang terdeteksi oleh Canny (di dalam objek uang) dan total luas area objek uang yang tersegmentasi oleh *K-Means*. Implementasi perhitungan Kepadatan Tepi dalam MATLAB ditunjukkan pada Cuplikan Kode 6."

Kode 6. Kepadatan tepi

```
edges_in_object = BW_edges_canny & BW_kmeans_object_mask;
edge_pixels_in_money_area = sum(edges_in_object(:));
area_money = stats_money_object(1).Area;
if area_money > 0
edge_density_metric = edge_pixels_in_money_area / area_money;
else
edge_density_metric = 0;
end
```

4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 2. Tahapan Proses

Dalam penelitian ini diterapkan tahapan-tahapan contohnya mengumpulkan *dataset*

dalam bentuk citra uang asli menggunakan kamera ponsel serta citra uang palsu lewat slaman daring. Sesudah tahapan penangkapan *dataset* selanjutnya diterapkan tahapan perubahan citra berubah menjadi citra dalam bentuk *grayscale*. Sesudah citra menjadi grayscale, tahapan selanjutnya diterapkan tahapan pengelompokan citra yaitu K-Means clustering dan deteksi tepi oleh Canny, maka proses berikutnya yang dilakukan yaitu mencari kepadatan tepi dan aspek rasio. Adapun tahapan pada sistem dapat dilihat pada Gambar 2.

Tahapan dengan cara spesifik pada tahapan yang berlangsung terhadap Gambar 2 isa diuraikan pada selanjutnya.

4.1. Hasil Pembacaan dan Pra-pemrosesan Citra

Sub-bab ini menjelaskan hasil dari tahap awal sistem, yaitu pembacaan citra masukan dan konversinya ke skala keabuan, yang merupakan fondasi untuk pemrosesan citra selanjutnya.

4.1.1 Hasil Input Citra

Pada tahap ini, sistem berhasil membaca citra uang Rupiah yang diinput. Citra-citra tersebut memiliki ukuran piksel 1600 x 650 dan diperoleh dari kamera ponsel untuk uang asli, serta dari hasil cetak atau scanner untuk uang palsu yang dirancang mirip aslinya. Penggunaan latar belakang berwarna hitam pada citra masukan terbukti efektif dalam mempermudah proses segmentasi oleh *K-Means* dan deteksi tepi oleh *Canny* pada tahapan selanjutnya. Contoh citra masukan yang berhasil dibaca oleh sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Input Citra

4.1.2 Hasil Konversi ke Grayscale

Dalam tahapan ini akan diimplementasikan memodifikasi gambar dari awal memiliki warna akan menjadi *grayscale* dengan maksud dapat menyederhanakan kompleksitas data piksel dan mempersiapkan citra untuk operasi berbasis intensitas pada tahap segmentasi dan deteksi tepi, sehingga mempermudah algoritma dalam mengenali pola dan fitur pada citra uang. Berikut contoh gambar yang telah melalui proses konversi ke *grayscale* ditemukan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konversi ke *Grayscale*

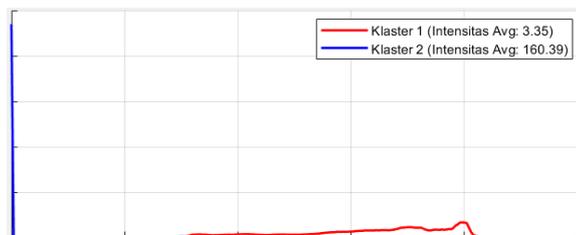
4.2 Hasil Segmentasi Citra

Setelah konversi ke *grayscale*, proses segmentasi menggunakan K-Means Clustering berhasil memisahkan citra uang menjadi dua kelompok utama: objek uang dan latar belakang. Hasil segmentasi ini, seperti terlihat pada Gambar 5, secara efektif mengisolasi area uang untuk analisis fitur lebih lanjut.

Untuk lebih memahami hasil pengelompokan piksel oleh *K-Means*, Gambar 6 menunjukkan distribusi intensitas piksel untuk setiap kluster warna ($k=2$). Grafik ini menggambarkan bagaimana piksel-piksel dikelompokkan berdasarkan kesamaan intensitasnya, yang kemudian menjadi dasar pemisahan objek uang dari latar belakang.



Gambar 5. Hasil Segmentasi Citra



Gambar 6. Grafik Klasterisasi K-Means

4.3 Hasil Deteksi Tepi Canny Edge Detection

Algoritma *Canny Edge Detection* diterapkan pada citra tersegmentasi untuk mengidentifikasi tepi-tepi objek. Proses ini menghasilkan peta tepi biner yang menyoroti batas-batas dan detail pada citra uang. Hasil deteksi tepi ini, yang krusial untuk perhitungan kepadatan tepi, jika semakin padat atau semakin banyak tepi yang terdeteksi maka semakin kuat untuk mendapatkan hasil bahwa citra tersebut uang asli, ditunjukkan Pada Gambar7.



Gambar 7. Hasil Deteksi Tepi Canny Edge Detection

4.4 Hasil Ekstraksi Ciri

Pada tahap ini, dua ciri kuantitatif utama, yaitu Aspek Rasio (*Aspect Ratio*) dan Kepadatan Tepi (*Edge Density*), diekstraksi dari objek uang yang telah tersegmentasi. Nilai-nilai ciri ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk klasifikasi keaslian uang. Tabel 1 menunjukkan contoh nilai Aspek Rasio dan Kepadatan Tepi dari beberapa sampel citra uang asli dan palsu.

Tabel 1. Hasil Ekstraksi Ciri

NO.	Nama Citra	Nilai Edge Density Metric	Nilai Cluster Centroid Distance	Detection Status
1	{'100_1_asli.png'}	0.034136	167.59	{'Uang Palsu'}
2	{'100_10_asli.png'}	0.12642	171.69	{'Uang Asli'}
3	{'100_19_asli.png'}	0.15253	144.55	{'Uang Asli'}
4	{'100_20_asli.png'}	0.12412	155.93	{'Uang Asli'}
5	{'100_3_asli.png'}	0.084492	178.12	{'Uang Asli'}
6	{'100_4_asli.png'}	0.049738	136.64	{'Uang Palsu'}
7	{'100_5_asli.png'}	0.082826	147.56	{'Uang Asli'}
8	{'100_6_asli.png'}	0.13364	176.97	{'Uang Asli'}
9	{'100_7_asli.png'}	0.13746	169.98	{'Uang Asli'}
10	{'100_8_asli.png'}	0.12616	171.69	{'Uang Asli'}
11	{'100_9_asli.png'}	0.13301	168.04	{'Uang Asli'}
12	{'100_1_palsu.png'}	0.034657	144.25	{'Uang Palsu'}
13	{'100_15_palsu.png'}	0.04145	173.46	{'Uang Palsu'}
14	{'100_16_palsu.png'}	0.0262	179.68	{'Uang Palsu'}
15	{'100_17_palsu.png'}	0.062902	178.99	{'Uang Palsu'}
16	{'100_18_palsu.png'}	0.050491	181.89	{'Uang Palsu'}

NO.	Nama Citra	Nilai Edge Density Metric	Nilai Cluster Centroid Distance	Detection Status
17	{'100_19_palsu.png'}	0.029325	177.31	{'Uang Palsu'}
18	{'100_2_palsu.png'}	0.048543	157.04	{'Uang Palsu'}
19	{'100_20_palsu.png'}	0.048424	176.67	{'Uang Palsu'}
20	{'100_3_palsu.png'}	0.047257	157.04	{'Uang Palsu'}
21	{'100_5_palsu.png'}	0.092189	151.63	{'Uang Asli'}
22	{'50_11_asli.png'}	0.12369	181.64	{'Uang Asli'}
23	{'50_12_asli.png'}	0.12554	163.32	{'Uang Asli'}
24	{'50_13_asli.png'}	0.075117	214.11	{'Uang Palsu'}
25	{'50_14_asli.png'}	0.11446	176.58	{'Uang Asli'}
26	{'50_15_asli.png'}	0.14042	166.91	{'Uang Palsu'}
27	{'50_16_asli.png'}	0.14324	172.99	{'Uang Asli'}
28	{'50_17_asli.png'}	0.12622	163.69	{'Uang Asli'}
29	{'50_18_asli.png'}	0.12554	163.32	{'Uang Asli'}
30	{'50_2_asli.png'}	0.15926	176.52	{'Uang Asli'}
31	{'50_10_palsu.png'}	0.070191	181.83	{'Uang Palsu'}
32	{'50_11_palsu.png'}	0.024517	175.45	{'Uang Palsu'}
33	{'50_12_palsu.png'}	0.055514	178.63	{'Uang Palsu'}
34	{'50_13_palsu.png'}	0.044387	177.15	{'Uang Palsu'}
35	{'50_14_palsu.png'}	0.01323	176.92	{'Uang Palsu'}
36	{'50_4_palsu.png'}	0.077865	166.94	{'Uang Palsu'}
37	{'50_6_palsu.png'}	0.043636	193.56	{'Uang Palsu'}
38	{'50_7_palsu.png'}	0.043635	193.56	{'Uang Palsu'}
39	{'50_8_palsu.png'}	0.044387	177.15	{'Uang Palsu'}
40	{'50_9_palsu.png'}	0.013028	213.32	{'Uang Palsu'}

Setelah metrik *Edge Density* dan *Cluster Centroid Distance* diekstraksi, sistem mengklasifikasikan keaslian uang. Citra diidentifikasi sebagai 'Uang Asli' jika kedua kondisi berikut terpenuhi: *Edge Density Metric* berada di antara 0.080 serta *Cluster Centroid Distance* tidak melebihi 100. Apabila satu diantara ataupun keduanya keadanya yang dimaksud belum tercapai, citra akan diklasifikasikan sebagai 'Uang Palsu'. Kombinasi kriteria ini fokus pada detail visual dan konsistensi warna/tekstur untuk deteksi yang efektif.

4.4. Hasil Identifikasi citra uang asli dan palsu

Hasil uji Dengan ukuran citra 1600 x 600 piksel. Hasil akurasi yang beragam mampu diperhatikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Identifikasi

Mata Uang	Asli	Palsu	Akurasi
50k Asli	7	2	77.78%
50k Palsu	10	0	100%
100k Asli	9	2	81.82%
100k Palsu	9	1	90.00%

$$\text{Akurasi Keseluruhan} = 35/40 \times 100\% = 87.50\%$$

Hasil akhir yang telah didapatkan dari pengujian seluruh citra uang 100 ribu dan 50 ribu yaitu, hasil akurasi keseluruhannya adalah 87.50%

4.4. Hasil Identifikasi citra uang asli dan palsu

Akurasi keseluruhan sistem deteksi keaslian uang Rupiah mencapai **87.50%**, menunjukkan kapabilitas signifikan pendekatan pengolahan citra digital yang dikembangkan. Akurasi ini merefleksikan efektivitas kombinasi *Edge Density Metric* dan *Cluster Centroid Distance* dalam membedakan karakteristik uang asli dan palsu.

Berdasarkan analisis Tabel 1, uang asli umumnya menunjukkan nilai *Edge Density* yang tinggi dan konsisten (antara 0.080 dan 0.5), yang merefleksikan kualitas cetakan presisi dan detail keamanan yang kaya [17]. Sementara itu, nilai *Cluster Centroid Distance* pada uang asli cenderung stabil dan berada di bawah 100, mengindikasikan konsistensi pigmen dan tekstur yang seragam. Uang palsu, sebaliknya, seringkali menunjukkan nilai *Edge Density* yang lebih rendah dan/atau *Cluster Centroid Distance* yang lebih tinggi, mencerminkan kualitas

cetakan yang inferior dan distribusi warna yang tidak konsisten.

Meskipun demikian, beberapa kasus misklasifikasi teramati, seperti pada uang asli yang terdeteksi palsu (contohnya 100_1_asli.png dengan Edge Density 0.034136 dan Cluster Centroid Distance 167.59). Hal ini mungkin disebabkan oleh variasi alami pada uang asli akibat keausan atau kondisi akuisisi citra, yang dapat menyebabkan nilai metriknya berada di luar ambang batas yang ditetapkan. Selain itu, terdapat anomali pada sampel 100_5_palsu.png (Edge Density: 0.092189; Cluster Centroid Distance: 151.63) yang, meskipun uang palsu, terdeteksi sebagai 'Uang Asli'. Discrepancy ini, berdasarkan aturan klasifikasi (Edge Density antara 0.080-0.5 DAN Cluster Centroid Distance \leq 100 untuk Asli), mengindikasikan bahwa sampel tersebut memenuhi kriteria Edge Density namun tidak untuk Cluster Centroid Distance, seharusnya diklasifikasikan sebagai palsu. Fenomena ini menunjukkan kompleksitas karakteristik beberapa uang palsu yang dapat menyerupai uang asli pada satu atau lebih fitur, menjadi tantangan dalam optimasi ambang batas.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam melengkapi penelitian-penelitian terdahulu di bidang deteksi uang palsu berbasis citra digital, seperti yang dilakukan oleh [17] yang fokus pada penggunaan *Canny Edge Detection* untuk identifikasi uang kertas Rupiah berbasis *Region of Interest (ROI)*, dan [18] dalam Aplikasi Pendeteksi Nominal Uang Kertas berbasis *Algorithm Regular Expression*. Selain itu, metode ini juga memperluas pendekatan dari penelitian-penelitian yang menggunakan *K-Means Clustering* saja, seperti yang diterapkan oleh [8]. Dengan menggabungkan kedua metode ini, penelitian kami memberikan wawasan baru tentang pemanfaatan fitur *Edge Density* dan *Cluster Centroid Distance* secara simultan.

5. Simpulan

Studi ini berhasil mengembangkan sebuah sistem untuk mengidentifikasi keaslian uang Rupiah, khususnya denominasi 50 ribu dan 100 ribu, melalui pemanfaatan teknik pemrosesan citra digital. Metodologi yang diterapkan meliputi segmentasi citra menggunakan *K-Means Clustering* dan deteksi tepi dengan algoritma *Canny Edge Detection*. Selanjutnya, ciri-ciri kuantitatif seperti rasio aspek, densitas tepi, dan jarak sentroid kluster diekstraksi untuk proses klasifikasi. Temuan ini menggarisbawahi bahwa kualitas citra masukan dan efektivitas pra-pemrosesan, khususnya penanganan latar belakang, merupakan faktor krusial yang secara signifikan memengaruhi akurasi ekstraksi ciri dan proses deteksi akhir. Sistem ini menunjukkan potensi besar aplikasi teknik pengolahan citra untuk validasi keaslian mata uang, memberikan fondasi yang solid untuk pengembangan lebih lanjut dalam penelitian ini.

Dalam penelitian ini, meskipun sistem deteksi keaslian uang Rupiah mencapai akurasi rata-rata **87,50%**. Kegagalan ini terlihat pada kasus-kasus di mana sistem salah mengklasifikasikan citra uang. Misalnya, beberapa uang asli terdeteksi sebagai "uang palsu", seperti sampel 100_1_asli.png. Hal ini bisa terjadi karena variasi alami pada uang asli, seperti keausan atau kondisi pengambilan citra yang memengaruhi nilai metriknya hingga berada di luar ambang batas yang ditetapkan. Sebaliknya, terdapat juga anomali di mana beberapa uang palsu terdeteksi sebagai "uang asli," seperti sampel 100_5_palsu.png. Kegagalan ini menunjukkan bahwa beberapa uang palsu memiliki karakteristik yang kompleks dan menyerupai fitur keamanan uang asli, sehingga menjadi tantangan dalam optimalisasi ambang batas klasifikasi. Oleh karena itu, kegagalan ini menekankan pentingnya penentuan ambang batas yang lebih adaptif atau penggunaan fitur tambahan untuk meningkatkan akurasi sistem di masa mendatang. Maka dari itu saran untuk peneliti yang akan datang adalah untuk meningkatkan akurasi pengklasifikasian, metode clustering atau klasifikasi yang lebih canggih seperti Deep Learning dapat dipertimbangkan.

Daftar Referensi

- [1] A. R. Pambudi, G. Garno, and P. Purwantoro, "Deteksi keaslian uang kertas berdasarkan watermark dengan pengolahan citra digital," *J. Inform. Polinema*, vol. 6, no. 4, pp. 69–74, 2020.
- [2] I K. Y. B. Giri, "Pendetections mata uang rupiah palsu menggunakan image processing," unpublished, Sekolah Tinggi Elektronika dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2016.
- [3] Sumardijanto, I.G.N.B. Sucitra, and S. Subanidja, "Strategi Preventif Pencegahan Peredaran Uang Palsu Di Indonesia," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 9744–

- 9755, 2023.
- [4] M. Sari, Y. Djabbar, T. Rahman, and I. Ilmiati, "Quick Response Code Indonesian Standard (QRIS): Solusi inovatif dalam mencegah uang palsu dalam perspektif Fiqh Muamalah," *Jurnal Tana Mana*, vol. 6, no. 1, pp. 38–45, 2025.
- [5] J. Ulfah and N. Nurdin, "Implementasi Metode Deteksi Tepi Canny Untuk Menghitung Jumlah Uang Koin Dalam Gambar Menggunakan Opencv," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 420–426, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3147.
- [6] B. Kehi, A. Saban, and Y. R. Kaesmetan, "Deteksi keaslian uang kertas berdasarkan watermark dengan metode Support Vector Machine (SVM)," *J. Inform. Komput.*, vol. 15, no. 1, pp. 31–38, 2024.
- [7] A. M. E. Antara, S. A. Sari, N. Riswanti, D. A. Amin, V. Verdila, and A. P. A. Masa, "Deteksi nominal Rupiah uang kertas berdasarkan citra warna menggunakan segmentasi K-Means Clustering dan klasifikasi Random Forest," *Kreat. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–39, 2023, doi: 10.30872/kretisi.v1i1.776.
- [8] R. Umar, I. Riadi, and M. Miladiah, "Sistem identifikasi keaslian uang kertas Rupiah menggunakan metode K-Means Clustering," *Techno.Com*, vol. 17, no. 2, pp. 179–185, 2018, doi: 10.33633/tc.v17i2.1681.
- [9] N. Rinaldi, M. Syahroni, and N. Nasri, "Analisis perbedaan metode Canny Edge dan Region Segmentation Active Contour pada aplikasi deteksi watermark pada uang kertas," *Jurnal LITEK*, vol. 20, no. 2, pp. 57–62, 2023, doi: 10.30811/litek.v20i2.30.
- [10] N. P. W., K. Indartono, and A. Nurhopipah, "Analysis of detecting the authenticity of money using the edge detection method," *JINAV: J. Inform. Vis.*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: 10.35877/454RI.jinav2372.
- [11] M. S. Anwar and M. Ahsan, "Recognition pencitraan pada uang kertas untuk mengetahui keaslian uang," *BIMASAKTI: J. Ris. Mhs. Bid. Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2014.
- [12] C. N. Santi, "Mengubah citra berwarna menjadi Gray-Scale dan citra biner," *J. Teknol. Inf. DINAMIK*, vol. 16, no. 1, pp. 14–19, 2011.
- [13] E. F. A. Pratama, K. Khairil, and J. Jumadi, "Implementasi metode K-Means Clustering pada segmentasi citra digital," *J. Media Infotama*, vol. 18, no. 2, pp. 291–297, 2022.
- [14] C. W. Nugroho, I. Nurtanio, and A. Jalil, "Determination of copra quality based on contour image using the Canny Edge Detection method," *MALCOM: Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 436–450, 2025.
- [15] Mustofa, "Penentuan kebundaran, eksentrisitas, aspek rasio, densitas curah, porositas, dan volume relatif kentang (*Solanum tuberosum* L.)," *J. Teknol. Pertan. Gorontalo (JTPG)*, vol. 4, no. 2, pp. 46–51, 2020, doi: 10.30869/jtpg.v5i1.539.
- [16] V. Abolghasemi and A. Ahmadyfard, "An edge-based color-aided method for license plate detection," *Image Vis. Comput.*, vol. 27, no. 8, pp. 1134–1142, 2009, doi: 10.1016/j.imavis.2008.10.012.
- [17] A. I. Rauyani, M. H. Ibrahim, and S. Pramono, "ROI based Indonesian Paper Currency Recognition Using Canny Edge Detection," *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 5–8, 2020, doi: 10.20961/jeeict.2.1.41349.
- [18] B. Bahar, R.D.Y. Raban, "Penerapan Algoritme Regular Expression Dalam Aplikasi Pendeteksi Nominal Uang Kertas." *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, vol. 19, no. 2, pp. 725-732, 2023.