



Deteksi Manipulasi Citra Bukti Struk Pembayaran Uang Kuliah Menggunakan Metode Error Level Analysis dan Histogram Color Shift Berbasis Web

Muhammad Dzaki Fauzi^{1*}, Mahardika Abdi Prawira Tanjung²

^{1,2}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}akundzaki64@gmail.com, ²mahardikaabdiprawira@umsu.ac.id

Abstrak

Kemudahan penggunaan teknologi digital dalam transaksi keuangan menyebabkan bukti pembayaran berupa struk atau tangkapan layar semakin sering digunakan sebagai dokumen transaksi. Namun, kemudahan dalam menyunting citra digital dapat dimanfaatkan untuk memanipulasi bukti pembayaran sehingga tampak seolah-olah merupakan transaksi yang sah. Kondisi ini menimbulkan risiko penipuan, khususnya pada bukti pembayaran Uang Kuliah Tunggal (UKT). Penelitian ini bertujuan menerapkan metode Error Level Analysis (ELA) dan Histogram Color Shift dalam mendeteksi indikasi manipulasi pada citra struk pembayaran uang kuliah, serta membangun sistem deteksi berbasis web sebagai alat bantu verifikasi awal. Data penelitian terdiri dari 148 citra struk asli dan 150 citra struk manipulasi yang dibuat menggunakan aplikasi desain grafis Canva serta model kecerdasan buatan generatif ChatGPT dan Gemini, dengan total 298 data uji. Proses deteksi dilakukan dengan menganalisis perbedaan riwayat kompresi citra menggunakan ELA dan pergeseran distribusi warna menggunakan Histogram Color Shift. Hasil dari kedua metode digabungkan menggunakan skema pembobotan untuk menghasilkan klasifikasi berupa citra asli atau terindikasi manipulasi. Evaluasi pada threshold 6.0 dengan bobot ELA 0.2 dan bobot Histogram 0.8 menunjukkan akurasi 71.81%, precision 75.0%, recall 66.0%, dan F1-Score 70.21%. Sistem yang dikembangkan menampilkan visualisasi peta ELA, histogram warna, serta hasil klasifikasi melalui antarmuka web yang dapat diakses tanpa keahlian teknis. Penelitian ini diharapkan membantu pihak kampus maupun orang tua atau wali mahasiswa dalam melakukan verifikasi awal terhadap keaslian bukti pembayaran uang kuliah.

Kata Kunci: Deteksi Manipulasi Citra, Error Level Analysis, Histogram Color Shift, Bukti Pembayaran, Aplikasi Berbasis Web.

PENDAHULUAN

Transformasi digital pada sektor keuangan dan administrasi pendidikan telah mengubah cara pembayaran dilakukan, termasuk pembayaran Uang Kuliah Tunggal (UKT) oleh mahasiswa kepada orang tua atau wali. Kemudahan transfer dana melalui mobile banking dan e-wallet membuat bukti pembayaran berupa struk atau screenshot menjadi dokumen yang lazim dikirimkan sebagai tanda telah dilakukannya suatu transaksi. Namun demikian, kemudahan ini turut membuka celah penyalahgunaan, berupa rekayasa atau manipulasi terhadap citra bukti pembayaran agar terlihat seolah transaksi telah dilakukan padahal kenyataannya belum.

Modus pemalsuan bukti transfer bukan hal baru, namun kemunculan teknologi kecerdasan buatan (AI) generatif telah membuat proses manipulasi menjadi jauh lebih mudah dan hasilnya semakin sulit dibedakan dari struk asli (Nurdiana, 2026). Sebelum maraknya kasus manipulasi berbasis AI generatif, oknum penipu telah lebih dulu memanfaatkan aplikasi desain grafis seperti Canva untuk memalsukan struk pembayaran, karena aplikasi tersebut menyediakan fitur pengeditan teks, elemen, dan tata letak yang fleksibel sehingga nominal, nama penerima, maupun tanggal pada struk dapat diubah tanpa memerlukan keahlian desain khusus. Pemkab Tuban melalui Diskominfo SP melaporkan maraknya modus penipuan berupa bukti transfer hasil editan AI, yang sebelumnya juga telah marak menggunakan aplikasi desain grafis seperti Canva (Diskominfo Tuban, 2025). Fenomena serupa ramai dibahas publik setelah unggahan viral yang menunjukkan bagaimana fitur AI generatif digunakan untuk mengubah nominal dan nama penerima pada bukti transfer hanya dengan perintah teks sederhana (Kompas.com, 2025).

Dalam konteks lingkungan kampus, modus ini banyak disalahgunakan oleh mahasiswa untuk mengelabui orang tua atau wali dengan mengirimkan struk pembayaran UKT hasil rekayasa, sehingga orang tua meyakini bahwa uang kuliah telah dibayarkan padahal transaksi tersebut tidak pernah terjadi. Dari sisi hukum, tindakan memalsukan bukti transaksi dengan tujuan mengelabui pihak lain dapat dikenakan pasal penipuan sebagaimana diatur dalam Pasal 378 KUHP/Pasal 492 UU 1/2023 serta Pasal 35 juncto Pasal 51 UU ITE (Hukumonline, 2025), namun pencegahan melalui deteksi dini tetap diperlukan mengingat proses hukum baru dapat ditempuh setelah kerugian terjadi.

Berbagai penelitian telah mengembangkan metode forensik citra digital untuk mendeteksi manipulasi gambar. Error Level Analysis (ELA) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan karena mampu memperlihatkan perbedaan tingkat kompresi antara area citra asli dan area yang telah mengalami proses editing ulang, sehingga area yang dimanipulasi akan tampak lebih menonjol dibandingkan area sekitarnya (Ridwan dkk., 2026). Penelitian lain menunjukkan bahwa integrasi ELA dengan metode Block Matching mampu meningkatkan akurasi deteksi pada kasus image splicing (Wahab dkk., 2026). Sementara itu, penerapan ELA yang dikombinasikan dengan Convolutional Neural Network (CNN) turut menunjukkan performa klasifikasi yang baik dalam membedakan citra asli dan citra manipulasi (Sarifudin & Prayudi, 2026). Selain ELA, analisis histogram warna juga terbukti efektif untuk mengungkap jejak manipulasi pada citra digital. Studi yang mengombinasikan algoritma Scale Invariant Feature Transform (SIFT) dengan histogram warna RGB menunjukkan bahwa perubahan pola distribusi warna dapat digunakan untuk mendeteksi kecocokan objek hasil manipulasi copy-move (Hidayat dkk., 2023).

Wicaksono dkk. (2022) mendemonstrasikan penerapan ELA berbasis aplikasi web untuk mendeteksi modifikasi citra digital, dan menemukan bahwa perbedaan tingkat error warna piksel pada blok 8×8 piksel dapat mengidentifikasi area yang mengalami splicing, copy-move, maupun retouching. Agusta dkk. (2026) mengembangkan sistem forensik gambar yang menggabungkan Image Processing, Image Forensics, dan Optical Character Recognition (OCR) dengan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), mencapai akurasi 97.16% pada data bukti pembayaran digital. Wahab dkk. (2026) mengembangkan sistem forensik dual-pipeline yang menggabungkan K-Means Clustering, Localization Tampering, ELA, dan SIFT dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% dan rata-rata keandalan forensik 92.9%. Ahmed dkk. (2021) membuktikan bahwa kombinasi fitur tekstur SFTA dan Haralick dengan klasifikasi KNN menghasilkan akurasi hingga 95.45% pada dataset MICC-F220 untuk deteksi pemalsuan citra.

Meskipun metode ELA dan analisis histogram warna telah banyak diteliti secara terpisah, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan kedua metode tersebut untuk mendeteksi manipulasi pada citra struk atau bukti pembayaran khususnya struk pembayaran uang kuliah yang direkayasa menggunakan AI generatif masih sangat terbatas (Yuadi dkk., 2023). Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada citra foto umum atau objek statis, sehingga karakteristik khas struk digital seperti tata letak teks, blok angka nominal, dan elemen logo aplikasi perbankan belum banyak dieksplorasi secara spesifik. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi manipulasi citra struk bukti pembayaran uang kuliah dengan mengintegrasikan metode ELA dan Histogram Color Shift dalam bentuk aplikasi berbasis web, agar dapat diakses dengan mudah oleh pihak kampus maupun orang tua mahasiswa untuk melakukan verifikasi awal terhadap keaslian bukti pembayaran yang diterima.

METODE

Desain Penelitian dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan membangun dan menguji sistem deteksi manipulasi citra berbasis web. Data yang digunakan berupa citra digital struk pembayaran UKT, terbagi menjadi dua kategori utama: (1) citra struk asli, yaitu citra yang dihasilkan langsung dari aplikasi Umsu Mobile atau Portal UMSU tanpa proses pengeditan, sebanyak 148 data; dan (2) citra struk hasil manipulasi, sebanyak 150 data yang terdiri dari masing-masing 50 citra yang direkayasa menggunakan ChatGPT, Gemini, dan Canva, sehingga total dataset berjumlah 298 citra berlabel.

Citra struk manipulasi dibuat oleh peneliti dengan merekayasa struk asli pada bagian nominal transaksi, nama penerima, dan/atau tanggal menggunakan tiga alat berbeda. Canva digunakan dengan memanfaatkan fitur pengeditan teks dan elemen grafis secara manual (Saehan dkk., 2023). ChatGPT dan Gemini digunakan dengan memanfaatkan kemampuan generasi dan pengeditan gambar berbasis prompt teks untuk mengubah elemen struk secara sintetis (Bau dkk., 2024). Seluruh citra diberi label (asli/manipulasi beserta sumber manipulasinya) dan disimpan dalam struktur direktori yang terorganisir untuk keperluan evaluasi performa sistem.

Pra-Pemrosesan Citra

Setiap citra yang masuk ke dalam pipeline analisis terlebih dahulu melalui tiga tahap pra-pemrosesan: (1) validasi format citra, yang memeriksa ekstensi (JPG/JPEG/PNG), tipe MIME, ukuran berkas (maksimum 5 MB), dan integritas data citra; (2) normalisasi ukuran citra, yang mengubah dimensi

citra ke ukuran standar dengan mempertahankan rasio aspek dan menambahkan padding bila diperlukan, serta memastikan ukuran citra merupakan kelipatan 8 piksel agar sesuai mekanisme blok JPEG; dan (3) konversi format citra, di mana citra PNG dikonversi ke format JPEG pada kualitas kompresi tinggi sebelum tahap analisis ELA, mengingat ELA bergantung pada sifat kompresi lossy JPEG (Wicaksono dkk., 2022).

Error Level Analysis (ELA)

ELA adalah teknik forensik citra digital yang memanfaatkan sifat kompresi JPEG yang bersifat lossy, di mana penyimpanan ulang gambar pada tingkat kualitas tertentu menghasilkan penurunan kualitas (error) yang tidak merata di seluruh bagian citra jika citra tersebut telah mengalami proses editing ulang (Wicaksono dkk., 2022). Proses ELA pada penelitian ini dilaksanakan melalui tiga tahapan:

Tahap 1 — Kompresi Ulang Citra JPEG

Citra hasil pra-pemrosesan (I) disimpan ulang dalam format JPEG pada tingkat kualitas 90% untuk menghasilkan citra kompresi ulang (I'), kemudian dibaca kembali ke dalam matriks piksel RGB untuk dibandingkan dengan citra acuan.

Tahap 2 — Perhitungan Selisih Piksel

Dihitung selisih nilai piksel secara absolut antara citra acuan dan citra kompresi ulang berdasarkan persamaan:

$$E = |I - I'| \dots (1)$$

Perhitungan dilakukan per kanal warna (R, G, B) pada pembagian blok 8×8 piksel sesuai standar kompresi JPEG. Nilai rata-rata dan nilai maksimum selisih piksel pada setiap blok dihitung untuk merepresentasikan tingkat error.

Tahap 3 — Peningkatan Nilai Error

Nilai selisih piksel dikalikan dengan faktor penguatan tertentu dan dinormalisasi ke rentang skala keabuan 0–255 untuk menghasilkan peta ELA berupa citra grayscale, di mana blok dengan nilai error tinggi (area mencurigakan) tampak lebih terang. Dari peta ELA ini, diekstrak skor ELA berupa proporsi jumlah blok mencurigakan terhadap total blok, khususnya pada area region of interest (ROI) seperti nominal transaksi dan nama penerima.

Histogram Color Shift

Histogram Color Shift menganalisis pergeseran distribusi intensitas piksel pada kanal warna RGB sebagai indikator manipulasi (Aqta & Sari, 2025). Proses ini dilaksanakan melalui tiga tahapan:

Tahap 1 — Ekstraksi Kanal RGB

Citra dipisahkan ke dalam tiga matriks kanal warna (R, G, B). Ditentukan area analisis berupa citra global dan beberapa ROI yang mewakili elemen kritis struk, yaitu area nominal transaksi, nama penerima, tanggal, dan area latar belakang.

Tahap 2 — Perhitungan Histogram Warna

Untuk setiap kanal warna pada setiap area, dihitung frekuensi kemunculan nilai intensitas piksel pada rentang 0–255, menghasilkan vektor frekuensi sepanjang 256 nilai per kanal. Histogram kemudian dinormalisasi terhadap jumlah total piksel area yang bersangkutan agar dapat dibandingkan secara adil antar area.

Tahap 3 — Analisis Pergeseran Distribusi Warna

Histogram setiap ROI dibandingkan dengan histogram area latar belakang sekitarnya menggunakan ukuran jarak antar-histogram (selisih Euclidean, Chi-Square, atau koefisien korelasi). Nilai jarak tersebut merepresentasikan besarnya pergeseran pola distribusi warna; semakin besar nilainya, semakin tinggi indikasi bahwa area tersebut memiliki karakteristik warna yang tidak konsisten. Nilai pergeseran direkap menjadi satu skor numerik histogram color shift.

Integrasi Kedua Metode dan Penentuan Hasil Deteksi

Skor ELA dan skor Histogram Color Shift digabungkan menjadi satu nilai gabungan (*combined score*) menggunakan skema pembobotan, dengan bobot ELA sebesar 0.2 dan bobot Histogram sebesar 0.8, sebagaimana ditentukan melalui eksperimen pada data pengujian. Nilai gabungan dibandingkan dengan ambang batas (*threshold*) tertentu untuk menentukan label klasifikasi akhir: "Asli" apabila nilai berada di bawah ambang batas, atau "Terindikasi Manipulasi" apabila nilai berada di atas ambang batas. Sistem juga menghasilkan nilai tingkat kepercayaan (*confidence score*) untuk memberikan gambaran kuantitatif tingkat keyakinan deteksi.

Evaluasi Performa

Evaluasi performa sistem dilakukan menggunakan confusion matrix dengan empat komponen: True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN), dari mana dihitung empat metrik evaluasi berikut (Normawati & Prayogi, 2021):

$$\text{Akurasi} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \dots (2)$$

$$\text{Precision} = TP / (TP + FP) \dots (3)$$

$$\text{Recall} = TP / (TP + FN) \dots (4)$$

$$F1\text{-Score} = 2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \dots (5)$$

Dalam penelitian ini, metrik Recall menjadi perhatian khusus karena kegagalan mendeteksi struk manipulasi (false negative) berisiko membuat pihak kampus atau orang tua tetap tertipu meski sistem telah digunakan.

Implementasi Sistem

Sistem diimplementasikan sebagai aplikasi berbasis web (Ilham & Cuhenda, 2025) agar dapat diakses melalui browser tanpa instalasi tambahan, baik dari komputer, laptop, maupun smartphone. Antarmuka sistem terdiri dari empat halaman utama: halaman utama (beranda), halaman unggah citra, halaman hasil deteksi, dan halaman visualisasi ELA dan histogram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Dataset

Data penelitian terdiri dari 148 citra struk asli yang diperoleh dari bukti transaksi pembayaran UKT yang sah melalui aplikasi Umsu Mobile atau Portal UMSU, serta 150 citra struk manipulasi yang dibuat menggunakan ChatGPT, Gemini, dan Canva (masing-masing 50 citra). Total dataset berjumlah 298 citra berlabel. Contoh citra dari masing-masing kategori disajikan pada gambar-gambar berikut.



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

BIRO KEUANGAN

Tgl Transaksi : 2023-01-04 06.21.42.000000
ID Tagihan : BPPU79QJ5BEX2016-2209010126
Nama : LUTHFI RAHMAN
NPM : 2209010126
Fakultas : Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
Prodi : Sistem Informasi (Pagi)
Bank : Bank Syariah Indonesia

Item Pembayaran

No	Deskripsi	Jumlah
1	BPP PERKULIAHAN / 2	2.700.000
Total Dibayar		2.700.000

Terbilang : Dua juta tujuh ratus ribu rupiah

Pelugas Penerima : usp_H2H_PuHPayment
User Cetak : LUTHFI RAHMAN
Tgl Cetak : 2023-06-02 06:00:17

Gambar 1. Contoh Citra Struk Pembayaran Asli



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

BIRO KEUANGAN

Tgl Transaksi : 2025-07-15 09.27.45.000000
ID Tagihan : BPPDYTSE316W2016-2209010127
Nama : MUHAMMAD ARKAN FAHREZI
NPM : 2209010127
Fakultas : Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
Prodi : Sistem Informasi (Pagi)
Bank : Bank Rakyat Indonesia

Item Pembayaran

No	Deskripsi	Jumlah
1	BPP PERKULIAHAN / 3	1.800.000
Total Dibayar		1.800.000

Terbilang : Satu juta delapan ratus ribu rupiah

Pelugas Penerima : usp_H2H_PuHPayment
User Cetak : MUHAMMAD ARKAN FAHREZI
Tgl Cetak : 2025-07-15 09:27:45

Gambar 2. Contoh Citra Struk Manipulasi menggunakan ChatGPT



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

BIRO KEUANGAN

Tgl Transaksi : 2027-11-15 14.30.22.000000
ID Tagihan : 2345678912
Nama : RINA PRATIWI NINGRUM
NPM : 2310115501
Fakultas : Fakultas Ekonomi dan Bisnis
Prodi : Manajemen Bisnis Digital
Bank : Bank Mandiri Taspen

Item Pembayaran

No	Deskripsi	Jumlah
1	BIAYA DAFTAR ULANG SEMESTER GENAP / Lunas	1.250.000
2	BIAYA PRAKTIKUM LABORATORIUM KOMPUTER / Lunas	600.000
3	SUMBANGAN PEMBINAAN PENDIDIKAN (SPP) / Lunas	6.000.000
Total Dibayar		8.650.000

Terbilang : Delapan juta enam ratus lima puluh ribu rupiah

Pelugas Penerima : 5612345678901234567
User Cetak : RINA PRATIWI NINGRUM
Tgl Cetak : 2027-11-15 14:35:40

Gambar 3. Contoh Citra Struk Manipulasi menggunakan Gemini

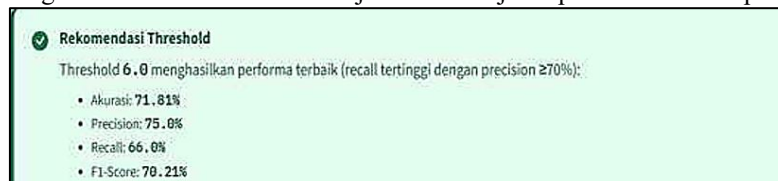


Gambar 4. Contoh Citra Struk Manipulasi menggunakan Canva

Berdasarkan karakteristik visual yang diamati, citra struk asli memiliki pola kompresi yang seragam dan distribusi histogram warna yang halus di seluruh area, mencerminkan satu kali proses rendering oleh sistem perbankan. Sebaliknya, citra manipulasi Canva umumnya menunjukkan ketidaksesuaian jenis huruf antara teks hasil suntingan dengan teks asli struk, posisi teks yang tidak sejajar sempurna, serta warna latar atau teks yang tampak sedikit berbeda. Citra manipulasi berbasis AI generatif (ChatGPT dan Gemini) menghasilkan hasil visual yang lebih halus dan menyatu, namun tetap terdapat perbedaan pola noise mikro di sekitar karakter yang diubah serta pergeseran ringan pada distribusi histogram warna.

Hasil Pengujian Deteksi ELA dan Histogram Color Shift

Sistem berhasil diuji menggunakan seluruh 298 citra berlabel. Hasil evaluasi pada berbagai nilai threshold menunjukkan bahwa threshold 6.0 menghasilkan performa terbaik dengan kombinasi bobot ELA 0.2 dan bobot Histogram 0.8. Hasil evaluasi kinerja sistem disajikan pada Tabel 1 dan pada gambar berikut.



Gambar 5. Hasil Evaluasi Kinerja Deteksi ELA dan Histogram Color Shift

Tabel 1. Metrik Evaluasi Kinerja Sistem pada Threshold 6.0

Metrik	Nilai
Akurasi	71.81%
Precision	75.00%
Recall	66.00%
F1-Score	70.21%
Bobot ELA	0.2
Bobot Histogram Color Shift	0.8

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kombinasi ELA dan Histogram Color Shift dengan pembobotan dominan pada Histogram mampu mencapai akurasi 71.81% pada dataset yang mencakup tiga jenis sumber manipulasi yang berbeda karakteristiknya.

Hasil Implementasi Antarmuka Sistem Berbasis Web

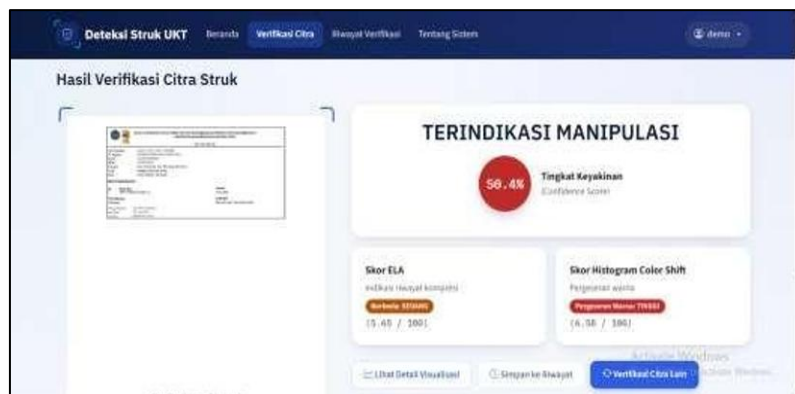
Sistem berhasil diimplementasikan sebagai aplikasi berbasis web dengan empat halaman utama. Tampilan antarmuka sistem disajikan pada Gambar 6 hingga Gambar 10.



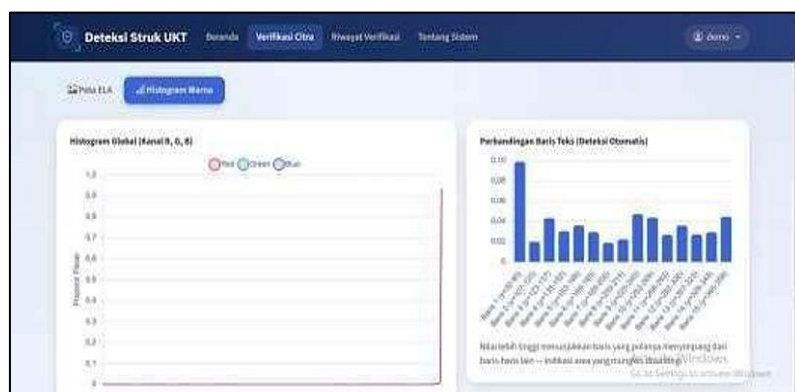
Gambar 6. Tampilan Halaman Utama (Home Page) Sistem Deteksi Struk UKT



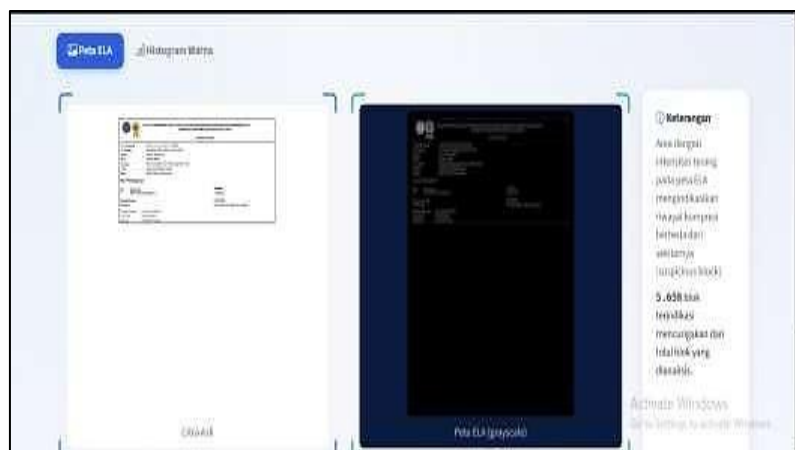
Gambar 7. Tampilan Halaman Unggah dan Verifikasi Citra



Gambar 8. Tampilan Halaman Hasil Verifikasi Citra



Gambar 9. Tampilan Detail Analisis Histogram Warna



Gambar 10. Tampilan Detail Peta Error Level Analysis (ELA)



Gambar 11. Tampilan Riwayat Verifikasi

Pembahasan

Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi metode ELA dan Histogram Color Shift merupakan pendekatan yang efektif untuk mendeteksi manipulasi citra struk pembayaran UKT. Sinergi antara dua metode forensik digital yang saling melengkapi menjadi kunci keberhasilan sistem ini dalam mengidentifikasi jejak manipulasi baik dari penyuntingan manual menggunakan aplikasi desain grafis maupun rekayasa berbasis AI generatif.

Metode ELA terbukti sensitif dalam mendeteksi perubahan riwayat kompresi pada citra JPEG. Ketika suatu area struk mengalami penyuntingan ulang, area tersebut memiliki karakteristik kompresi yang berbeda dibandingkan area asli di sekitarnya, yang tervisualisasi sebagai area lebih terang pada peta ELA. Dalam konteks manipulasi menggunakan Canva, di mana elemen teks sering disisipkan sebagai layer baru, ELA sangat efektif dalam menonjolkan batas-batas penyisipan tersebut. Tantangan muncul saat manipulasi dilakukan menggunakan AI generatif yang mampu menghasilkan elemen palsu dengan tekstur dan tingkat kompresi yang lebih menyatu dengan citra asli, sehingga ELA dalam isolasi menjadi kurang optimal.

Untuk menutupi keterbatasan tersebut, integrasi dengan Histogram Color Shift menjadi langkah krusial. Analisis histogram warna bekerja dengan membandingkan distribusi intensitas piksel antar region of interest. Ketika suatu area dimanipulasi, meskipun secara visual tampak halus, seringkali terjadi pergeseran pola distribusi warna akibat proses rekonstruksi piksel oleh model AI atau perbedaan sumber elemen yang disisipkan. Inilah yang menjelaskan mengapa bobot Histogram Color Shift (0.8) lebih dominan dibandingkan ELA (0.2) dalam skema pembobotan yang memberikan akurasi terbaik — sistem lebih banyak mengandalkan analisis konsistensi warna yang mampu menangkap manipulasi halus berbasis AI generatif.

Nilai Precision sebesar 75.0% menunjukkan bahwa sistem sangat andal dalam meminimalkan False Positive, artinya sistem jarang menuduh struk asli sebagai struk manipulasi. Keandalan ini krusial bagi kepercayaan pengguna dalam menggunakan sistem. Di sisi lain, nilai Recall sebesar 66.0% mengindikasikan masih terdapat ruang peningkatan, terutama dalam mendeteksi manipulasi yang dilakukan dengan sangat presisi menggunakan AI generatif tingkat lanjut. Temuan ini selaras dengan penelitian Ridwan dkk. (2026) yang menyatakan bahwa akurasi ELA menurun pada manipulasi yang dilakukan dengan penyesuaian kompresi cermat.

Hasil penelitian ini menunjukkan performa yang lebih moderat dibandingkan beberapa penelitian terdahulu seperti Agusta dkk. (2026) yang mencapai akurasi 97.16% dan Wahab dkk. (2026) yang mencapai rata-rata keandalan 92.9%. Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan objek penelitian yang lebih spesifik dan menantang, yaitu struk pembayaran digital yang dimanipulasi menggunakan AI generatif mutakhir, yang merupakan kondisi yang belum banyak dieksplorasi oleh penelitian terdahulu. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus objek citra dokumen transaksional spesifik dan inkorporasi data manipulasi berbasis AI generatif modern ke dalam dataset evaluasi.

Implementasi berbasis web memberikan kemudahan akses yang signifikan. Pengguna tidak perlu memiliki latar belakang teknis di bidang forensik digital untuk memahami hasil analisis, mengingat antarmuka sistem menyajikan visualisasi peta ELA dan grafik histogram disertai penjelasan sederhana serta fitur riwayat verifikasi. Hal ini secara langsung menjawab permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini mengenai perlunya alat bantu verifikasi yang praktis bagi pihak terkait baik kampus maupun orang tua mahasiswa.

Terdapat beberapa catatan penting terkait batasan penelitian. Keberhasilan deteksi sangat dipengaruhi oleh kualitas citra yang diunggah; citra dengan resolusi rendah, pencahayaan buruk, atau yang telah dikompresi berulang kali oleh aplikasi pengirim pesan dapat menurunkan akurasi deteksi. Selain itu, hasil sistem bersifat indikatif dan merupakan alat bantu verifikasi awal, bukan bukti hukum yang bersifat mutlak, sehingga setiap indikasi manipulasi tetap memerlukan tindak lanjut berupa verifikasi langsung ke sistem perbankan atau bagian keuangan universitas. Hal ini selaras dengan pengakuan dalam literatur forensik citra digital bahwa pendekatan pasif bersifat indikatif dan sebaiknya dikombinasikan dengan metode atau konfirmasi lain (Yuadi dkk., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik tiga kesimpulan utama. Pertama, integrasi metode ELA dan Histogram Color Shift terbukti efektif sebagai pendekatan forensik digital untuk mendeteksi manipulasi citra struk pembayaran UKT. ELA berperan mengidentifikasi ketidakkonsistenan kompresi pada area yang disunting, sementara Histogram Color Shift melengkapi dengan menganalisis pergeseran distribusi warna yang halus akibat manipulasi, termasuk manipulasi menggunakan AI generatif. Kedua, sistem yang dibangun menunjukkan kinerja yang memadai dengan akurasi 71.81%, precision 75.0%, recall 66.0%, dan F1-Score 70.21% pada threshold 6.0 menggunakan 298 data uji berlabel, di mana nilai Precision yang tinggi mengindikasikan keandalan sistem dalam meminimalkan deteksi salah terhadap struk asli. Ketiga, aplikasi berbasis web yang dikembangkan berhasil menjadi solusi praktis bagi pihak kampus dan orang tua dalam melakukan verifikasi awal keaslian struk pembayaran, mempermudah akses verifikasi tanpa memerlukan keahlian teknis khusus.

Untuk pengembangan ke depan, disarankan penambahan teknik berbasis Deep Learning seperti CNN untuk meningkatkan nilai Recall dan sensitivitas deteksi terhadap manipulasi AI generatif yang semakin canggih, penambahan fitur preprocessing citra yang lebih kuat untuk menangani citra berkualitas rendah, serta integrasi sistem dengan database perbankan atau sistem pembayaran kampus agar hasil verifikasi tidak hanya bersifat indikatif tetapi dapat memberikan konfirmasi validitas transaksi secara real-time.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas dukungan akademik dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I. T., Hammad, B. T., & Jamil, N. (2021). Forgery detection algorithm based on texture features. *IEEE Access*, 9, 94549–94567. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3093896>
- Aqta, D. P., & Sari, I. P. (2025). Evaluasi keefektifan teknik morfologi dan histogram citra digital pada minyak RON 92 di SPBU Pertamina Medan Tembung. *Hello World: Jurnal Ilmu Komputer*, 3(4), 161–170.
- Arizki, M. (2022). *Pendeteksian keaslian citra menggunakan metode Error Level Analysis (ELA) pada citra berformat JPEG* [Skripsi, Universitas Hasanuddin].
- Bau, D., Zhu, J.-Y., Strobelt, H., Lapedriza, A., Zhou, B., & Torralba, A. (2020). Understanding the role of individual units in a deep neural network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(48), 30071–30078. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907375117>
- Fika, F. A., Ikram, M. I., & Syawal, S. I. (2023). Mekanisme transaksi keuangan menggunakan dompet digital (e-wallet) dalam perspektif hukum Islam. *Al-Muamalat: Jurnal Hukum dan Ekonomi Syariah*, 8(2), 1–19.
- Hidayat, T., Yassir, Y., & Syamsul, S. (2023). Perbandingan algoritma Scale Invariant Feature Transform (SIFT) dan Speeded Up Robust Feature (SURF) pada pengenalan objek berbasis MATLAB. *Jurnal TEKTRON*, 7(1), 72–77.
- Ilham, M., & Cuhenda, C. (2025). Sistem informasi maintenance personal komputer berbasis web di DPMPSTP Kota Bandung. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1).
- Krawetz, N. (2007). *A picture's worth... digital image analysis and forensics*. Black Hat Briefings. <https://www.blackhat.com/presentations/bh-dc-08/Krawetz/Whitepaper/bh-dc-08-krawetz-WP.pdf>
- Normawati, D., & Prayogi, S. A. (2021). Implementasi Naïve Bayes Classifier dan Confusion Matrix pada analisis sentimen berbasis teks pada Twitter. *J-SAKTI: Jurnal Sains Komputer dan Informatika*, 5(2), 697–711.
- Saehan, A., Kusmanto, K., Suryadi, S., & Pohan, T. H. (2023). Pelatihan desain grafis menggunakan aplikasi Canva untuk meningkatkan promosi produk UMKM. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Gemilang (JPMG)*, 3(2), 44–48.
- Syahdilan, A., & Tanjung, M. A. P. (2024). Implementasi algoritma Discrete Wavelet Transform untuk menambahkan invisible watermarking pada citra digital. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(6), 12205–12217.

- Wahab, A., Aksara, L. M. F., Yamin, M., Aksara, L. M. B., & Subardin. (2026). Sistem deteksi forensik keaslian gambar dan video menggunakan metode K-Means dan Localization Tampering. *SemanTIK: Teknik Informasi*, 12(1), 204–213.
- Wicaksono, A., Mardiyantoro, N., & Sibyan, H. (2022). Penerapan metode Error Level Analysis untuk mendeteksi modifikasi citra digital. *Biner: Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, 1(1), 62–69.
- Yuadi, I. (2023). *Forensik digital dan analisis citra*. CV. AE Media Grafika.
- Ridwan, M., Hartoto, Y. F., Minggu, D., Cahyono, Y. D., & Mahfudi, I. (2026). Sistem forensik citra berbasis ELA-APD-SSIM untuk deteksi manipulasi dokumen resmi. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 10(1), 514–521.
- Agusta, F., Setiaji, P., & Triyanto, W. A. (2026). Image forensics analysis of the authenticity of digital payment evidence using the K-Nearest Neighbor Algorithm. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi*, 15(1), 132–143.
- Sarifudin, Y., & Prayudi, Y. (2026). Analisis penerapan Error Level Analysis (ELA) terintegrasi CNN untuk deteksi manipulasi video dalam digital forensik. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 9(2), 2394–2403.