



Sistem Informasi Uji Forensik Proses Klasterisasi Protektil Amunisi Senjata Api Menggunakan Algoritma *Gray Level Co-occurrence Matrix* dan *K-Mean Clustering*

Didik Supriyadi^{1*}, Catur Edi Widodo², R. Rizal Isnanto³
^{1,2,3} Universitas Diponegoro, Indonesia

*email: dick.jateng2013@gmail.com

Info Artikel

Dikirim: 8 November 2024

Diterima: 20 November 2024

Diterbitkan: 30 November 2024

Kata kunci:

uji forensik;
klasterisasi proyektil amunisi senjata;
algoritma *gray level co-occurrence*;
K-Mean clustering.

ABSTRAK

Penggunaan teknologi menjadi solusi yang relevan di tengah perkembangan zaman yang terus maju, termasuk dalam bidang keamanan negara. Salah satu metode yang mendukung proses klasterisasi adalah ekstraksi fitur menggunakan *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), yang dilakukan sebelum klasterisasi. GLCM sangat efektif untuk mengekstraksi fitur dari citra berpola tertentu, seperti pada penelitian pengenalan pola wayang. Prosedur penelitian ini melibatkan alur flowchart untuk membangun sistem informasi yang dirancang untuk uji forensik klasterisasi proyektil amunisi senjata api, menggunakan algoritma GLCM dan K-Means clustering. Diagram kerangka sistem informasi menggambarkan proses yang melibatkan tahap input, proses, dan output secara terstruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode GLCM untuk ekstraksi fitur dari gambar grayscale, dikombinasikan dengan K-Means untuk klasterisasi, memberikan akurasi cukup tinggi, yakni mencapai 71.14% meskipun dengan keterbatasan data. Model ini dapat diimplementasikan tidak hanya pada aplikasi berbasis konsol seperti Google Colab, tetapi juga pada aplikasi dengan antarmuka pengguna grafis (GUI) yang stabil.

1. PENDAHULUAN

Senjata api menjadi salah satu penyebab utama kematian akibat kejahatan di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Penggunaan dan perakitan senjata api ilegal yang marak untuk aktivitas kriminal menuntut adanya investigasi forensik yang lebih canggih. Dalam proses ini, bukti fisik dari TKP (Tempat Kejadian Perkara) menjadi elemen penting, meskipun beberapa jenis bukti mudah dihancurkan. Namun, peluru memiliki keunggulan sebagai bukti forensik karena lebih sulit dihancurkan dibandingkan bukti fisik lainnya. Peluru dapat memberikan informasi penting yang membantu mengidentifikasi pelaku kejahatan, sehingga menjadi elemen kunci dalam investigasi forensik. Pendekatan ini menunjukkan pentingnya teknologi dan metode ilmiah dalam mendukung penegakan hukum dan keamanan [1].

Menurut Thomaon (2002) dalam bukunya "*Ballistic Imaging*", perkembangan teknologi pencitraan balistik telah membawa inovasi baru. Teknologi ini memungkinkan penghubungan antar-TKP dengan cara menganalisis proyektil amunisi yang ditemukan, memanfaatkan database, dan mengikuti perkembangan teknologi terkini [2]. Disebutkan bahwa katalog RBID dari *The National Integrated Ballistic Information Network (NIBIN)* memiliki keterbatasan, terutama karena gambar dan identifikasi senjata produksi baru tidak lagi relevan. Oleh karena itu, diperlukan dataset nasional yang mampu mengakomodasi dan mengolah data

tersebut menjadi informasi yang berguna. Informasi akurat ini memainkan peran penting dalam membantu proses forensik, khususnya untuk mendukung penyelidikan oleh pihak kepolisian [3].

Pemanfaatan teknologi memang menjadi kunci utama dalam menghadapi perkembangan zaman yang terus bergerak maju, termasuk dalam mendukung bidang keamanan negara. Dengan adanya inovasi seperti teknologi pencitraan balistik, analisis forensik, dan klusterisasi data, tantangan keamanan dapat diatasi dengan lebih efektif. Teknologi tidak hanya mempermudah proses investigasi tetapi juga memberikan alat yang lebih akurat dan efisien untuk melindungi masyarakat. Memadukan teknologi dengan keahlian manusia bisa menjadi sinergi yang luar biasa untuk menghadapi ancaman di masa depan. Meningkatkan dan mengoptimalkan sistem informasi kepada masyarakat secara luas merupakan tanggung jawab dari sistem keamanan negara untuk meminimalisir kejahatan akibat penggunaan senjata api oleh para penjahat. Pemanfaatan teknologi pada identifikasi senjata api pengolahan citra pada komputer (*Citra Processing*) telah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu [4]. Penelitian sebelumnya yang mengkaji identifikasi penggunaan senjata api dengan memanfaatkan CCTV dan teknik pembelajaran mendalam menunjukkan hasil yang menjanjikan. Dengan menggunakan dataset yang cukup besar dan beragam di setiap kelasnya, sistem tersebut mampu mendeteksi keberadaan senjata api dengan tingkat akurasi yang baik. Hal ini menunjukkan pentingnya ketersediaan data yang cukup serta algoritma pembelajaran mendalam dalam meningkatkan performa model deteksi. Pendekatan ini tentunya dapat mendukung upaya forensik dan keamanan secara signifikan [5].

Mutu keamanan dalam investigasi forensik yang akurat sangat penting untuk menganalisis jejak bukti pada senjata api yang ditemukan di TKP. Hal ini menuntut adanya inovasi dalam proses identifikasi forensik senjata api. Penelitian terkini mengarah pada pemilihan dan pengkajian algoritma yang dapat digunakan untuk mengembangkan proses identifikasi berbasis citra 2D [6], [7]. Berdasarkan studi literatur, teknik klustering muncul sebagai alternatif yang menarik selain klasifikasi. Salah satu keunggulan klustering adalah tidak memerlukan pelabelan data, sehingga memungkinkan penerapan pembelajaran tanpa pengawasan (*unsupervised learning*). Teknik ini menawarkan fleksibilitas yang tinggi dalam proses identifikasi dan dapat menjadi landasan penting untuk pengembangan lebih lanjut dalam investigasi forensik senjata api [8].

Salah satu metode tambahan yang mendukung proses klusterisasi adalah ekstraksi ciri menggunakan Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), yang dilakukan sebelum tahap klusterisasi. GLCM sangat efektif dalam mengekstraksi fitur dari citra yang memiliki pola khusus, seperti yang telah diterapkan pada penelitian pengenalan pola wayang [9], [10] dan penelitian pengenalan pola batik [11], [12]. Dengan kemampuan ini, GLCM memberikan dasar yang solid untuk analisis citra, terutama dalam konteks penelitian yang melibatkan pola-pola unik. Pendekatan ini memperlihatkan bagaimana teknologi dapat diadaptasi untuk berbagai aplikasi yang spesifik namun krusial.

Berdasarkan latarbelakang masalah dan kajian terdahulu yang membantu keputusan peneliti dalam pemilihan algoritma yang akan digunakan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah membangun sistem informasi uji forensik klusterisasi proyektil senjata dengan menggunakan algoritma *Gray Level Co-occurrence Matrix* sebagai ekstraksi fitur dan menggunakan algoritma *K-Mean clustering* [13]. Data citra yang digunakan diambil dari scanner khusus yang menghasilkan citra 3D dalam bentuk citra [14].

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang diperlukan pada penelitian ini yang pertama yaitu, data sebagai inputan. Sumber data untuk data training diperoleh dari buku katalog yang diperoleh dari *The National Integrated Ballistic Information Network* (NIBIN). Buku katalog ini mencakup ukuran dan jenis, dengan semua amunisi yang diproduksi oleh perusahaan amunisi Winston, termasuk amunisi yang beredar di pakai di Indonesia. Data testing yang digunakan dari laboratorium forensik Polda Jawa Tengah, dengan 72 data amunisi yang terdiri dari 4 jenis yaitu, glock 4, Taurus, S&W 14 dan Rev. Untuk senjata laras panjang peneliti menggunakan 3 jenis senjata, yaitu SS1 V1, M16 dan AK 2000.

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu dengan menggunakan perangkat keras (Hardware) satu unit laptop dengan spesifikasi Windows 10, dengan processor intel core i7, CPU 1,7 GHz, dengan RAM 8 GB dan Hardisk 512 GB. Penggunaan dengan spesifikasi tersebut bertujuan agar mempermudah dan mempercepat proses pelatihan citra (yang dikenal dengan memproses data yang cukup berat jika tidak ditunjang dengan spesifikasi laptop yang memadai). Perangkat lunak yang menunjang lainnya pada penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Python versi terbaru, serta perangkat lunak dan kerangka kerja yang menunjang untuk hasil akhir berbasis website guna untuk membangun sistem klasterisasi citra pada senjata api. Prosedur penelitian ini merupakan alur dari *flowchat* untuk membangun sistem informasi untuk uji forensik proses klasterisasi proyektil amunisi senjata api menggunakan algoritma *Gray Level Co-occurrence Matrices* (GLCM) dan *K-Means clustering* [15]. Pada Gambar 3.1 berikut merupakan kerangka sistem informasi sebagai penjabar setiap alur *input*, proses dan *output* diilustrasikan. Ada beberapa tahap yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

- 1) Masukan, pada tahapan ini dilakukan pengumpulan dataset citra amunisi dengan menggunakan scanner sehingga dihasilkan citra 3D dalam wujud file image. Dataset yang terkumpul ini selanjutnya akan dibawa ke tahap selanjutnya yaitu proses.
- 2) Proses, pada tahapan ini setiap citra yang berada dalam dataset amunisi ini akan dilakukan pra pemrosesan terlebih dahulu, yaitu dilakukan konversi dari warna RGB ke warna keabuan. Selanjutnya akan dilakukan ekstraksi ciri menggunakan algoritma GLCM, hasil ekstraksi ini akan disimpan dalam file. File ekstraksi ciri ini yang selanjutnya akan diolah untuk di-klasterisasi menggunakan algoritma K-mean, hingga ditetapkan kondisi optimal. Citra amunisi yang akan dikenali klasterisasinya selanjutnya akan menggunakan parameter yang telah disimpan tadi untuk diproses.
- 3) Keluaran, pada tahapan ini hasil akhir dimunculkannya tabel klasterisasi yang menunjukkan citra amunisi yang diuji itu masuk dalam cluster mana, dibantu secara visual juga dengan grafik.

Pada penelitian ini akan dikembangkan aplikasi dalam bentuk web. Skema dari tiap antar muka dijelaskan seperti di bawah ini.

- 1) Muka halaman login
Halaman login ini digunakan untuk keamanan, hanya yang memiliki kewenangan saja terhadap sistem ini. Secara umum terdiri dari:
 - a. Inputan teks username sesuai dengan data yang disimpan di sistem.
 - b. Inputan teks password sesuai dengan data yang disimpan di sistem.
 - c. Tombol “Login” untuk memproses ke halaman utama.
- 2) Muka halaman utama
Halaman utama ini digunakan adalah halaman jika telah berhasil masuk ke dalam sistem. Secara umum terdiri dari:
 - a. Label username dari akun yang login.
 - b. Tombol “Start Clustering” untuk memproses ke halaman berikutnya.
- 3) Muka halaman unggah citra amunisi
Halaman unggah citra amunisi ini digunakan untuk mengunggah citra amunisi yang akan diuji. Secara umum terdiri dari:
 - a. Input file “Choose file”, untuk unggah citra amunisi.
 - b. Input kode, bersifat opsional.
 - c. Tombol “Tambahkan” untuk menambah ke dataset.
- 4) Muka halaman konfirmasi proses
Halaman konfirmasi proses ini digunakan untuk memastikan apakah diproses untuk citra yang sudah diunggah pada halaman sebelumnya. Secara umum terdiri dari:
 - d. Tombol “Process!” untuk memproses.
- 5) Muka hasil klasterisasi
Halaman hasil klasterisasi digunakan sebagai keluaran akhir dari sistem klasterisasi. Secara umum terdiri dari:
 - a. Visualisasi konversi citra amunisi ke warna keabuan.
 - b. Visualisasi nilai ekstraksi ciri dari citra amunisi yang sudah diubah warna menjadi warna keabuan.

- c. Visualisasi grafik persebaran kluster data amunisi termasuk data citra yang diunggah.
- d. Visualisasi evaluasi klusterisasi menggunakan salah satu metrik.
- e. Visualisasi tabel klusterisasi untuk membantu menemukan posisi citra amunisi yang diunggah masuk ke dalam cluster mana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan pertama penelitian ini adalah membuat model *K-Means clustering* berdasarkan nilai-nilai ekstraksi fitur dari GLCM. Adapun fitur yang diekstraksi adalah *Contrast* (C), *Dissimilarity* (D), *Homogeneity* (H), *Energy* (E), *Correlation* (CN) dan *Angular Second Moment* (ASM). Nilai dari parameter *distance* dan *angle* yang digunakan pada metode GLCM, diperlihatkan pada Tabel 1 Nilai-nilai pada Tabel 1, nantinya digunakan sebagai parameter untuk mendapatkan hasil terbaik dari model clustering. Tabel 2 memperlihatkan sampel dari ekstraksi fitur GLCM.

Tabel 1. Nilai *distance* dan *angle*

Nomor	<i>Distance</i>	<i>Angle (degree)</i>
1.	1	0
2.	1	45
3.	1	90
4.	1	135
5.	2	0
6.	2	45
7.	2	90
8.	2	135
9.	3	0
10.	3	45
11.	3	90
12.	3	135

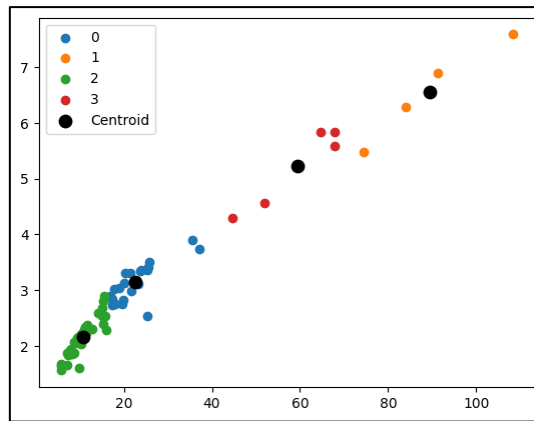
Tabel 2. Sample hasil ekstraksi fitur GLCM pada tiga gambar.

<i>Image Name</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>CN</i>	<i>ASM</i>
AP 373	12.112	2.478	0.361	0.040	0.988	0.0016
AP 378	11.028	2.292	0.388	0.036	0.992	0.0013
AP 370	7.191	1.875	0.434	0.045	0.995	0.002

Hasil akhir pada tahapan pertama, berupa sebuah model yang diperoleh dengan mengkombinasikan hasil ekstraksi fitur GLCM (menjadi *input*) dan *K-Means* sebagai metode *clustering*. Guna melihat presentase keberhasilan model dalam mengklusterisasi setiap ekstraksi fitur GLCM berdasarkan masing-masing *distance* dan *angle*, penelitian ini menggunakan metode Silhoutte dalam melakukan evaluasi modelnya. Hasil evaluasi model, ditampilkan pada Tabel 3. Adapun visualisasi dari klusterisasi metode *K-Means* dan sebaran data dengan *distance* dan *angle* terbaik ditampilkan pada Gambar 1.

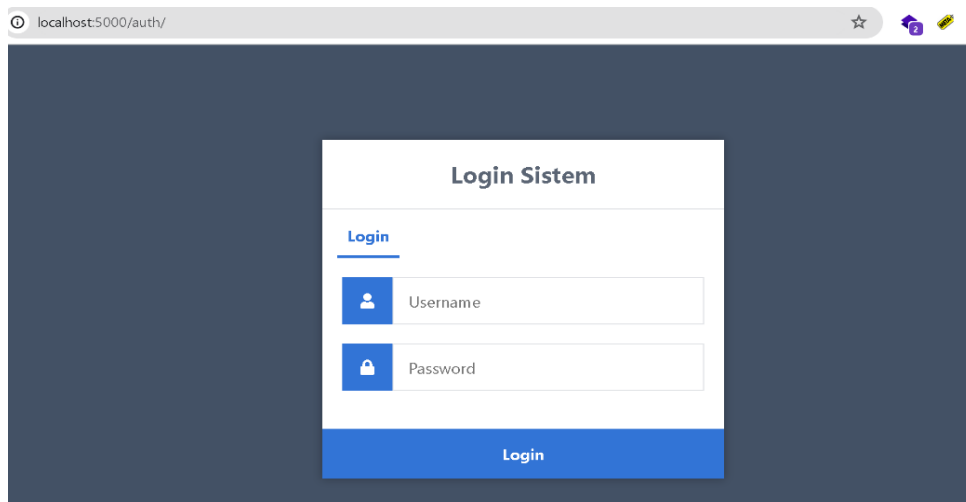
Tabel 3. Hasil evaluasi model *K-Means* pada setiap *distance* dan *angle* GLCM

<i>Distance</i>	<i>Angle 0</i>	<i>Angle 45</i>	<i>Angle 90</i>	<i>Angle 134</i>
1	71.14%	61.36%	61.67%	62.22%
2	62.85%	61.18%	63.41%	58.14%
3	64.30%	62.90%	61.87%	63.23%

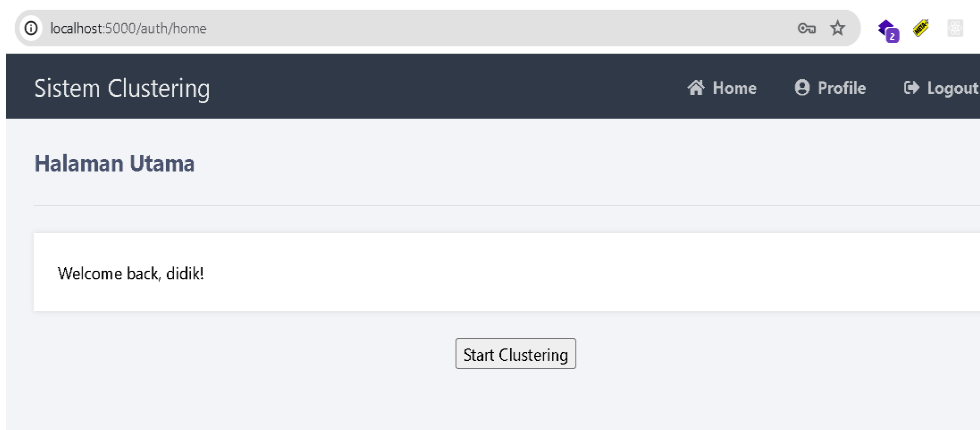


Gambar 1. Sebaran data *clustering* GLCM *distance 1* dengan *angle 0*

Berdasarkan perancangan skema antar muka seperti yang dijelaskan di bab sebelumnya, pada gambar 1. ditunjukkan halaman pengamanan untuk menggunakan sistem klusterisasi ini. Selanjutnya pada gambar 2 haman utama ini jika sudah berhasil masuk ke dalam sistem.

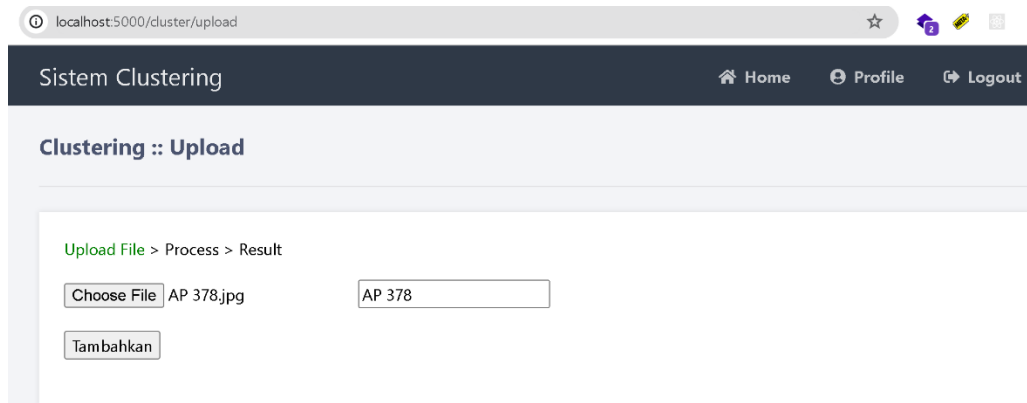


Gambar 2. Halaman Login



Gambar 3. Halaman utama

Selanjutnya untuk menguji suatu citra amunisi ke dalam sistem klusterisasi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari citra amunisi yang akan diunggah menggunakan "Choose File". Terlihat pada 3 sudah terbaca filenya, dapat kita tambahkan kode sebagai penanda dan lalu klik "Tambahkan". Akan muncul halaman konfirmasi seperti pada gambar 4.

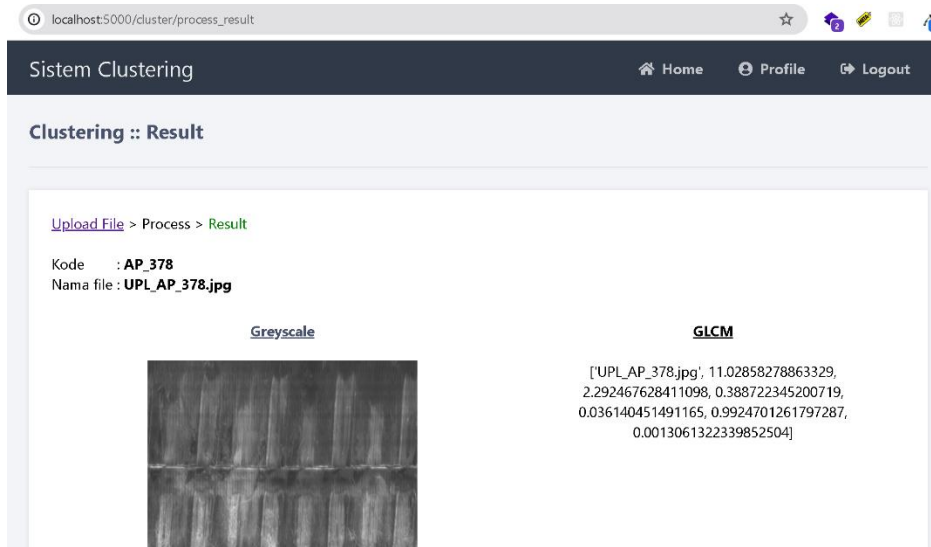


Gambar 4. Halaman Unggah Citra Amunisi

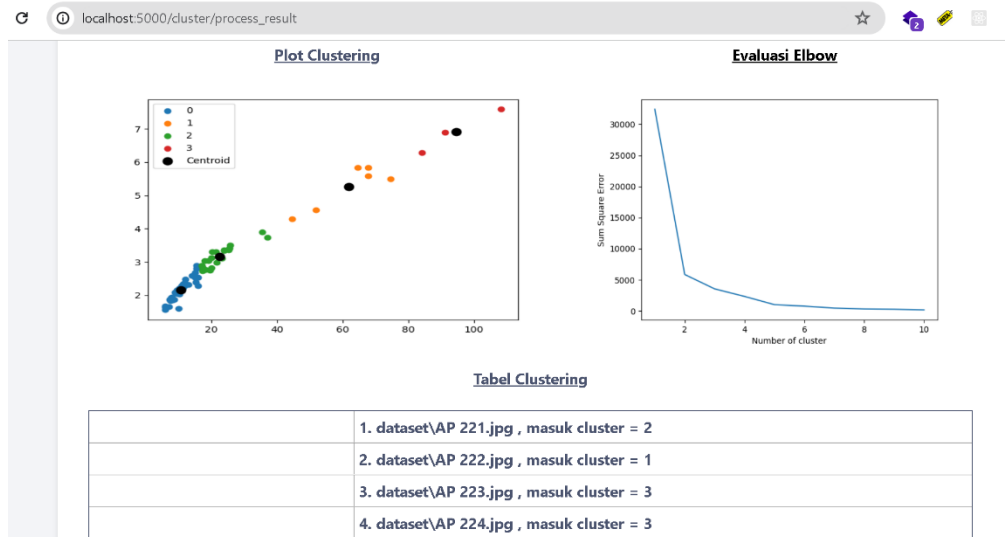


Gambar 5. Halaman Konfirmasi Proses

Langkah akhir dari sistem klasterisasi ini adalah sebuah halaman akhir seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Halaman hasil (1) konversi ke warna keabuan, (2) nilai ekstraksi ciri dan Gambar 6 Hasil akhir (3) Grafik klaster, (4) Evaluasi elbow, (5) tabel klasterisasi. Pada halaman akhir ini dimunculkan 5 buah visualisasi. Visual pertama menunjukkan citra amunisi yang diunggah lalu diubah ke warna keabuan. Visual kedua menunjukkan nilai dari ekstraksi ciri dari warna keabuan. Dalam proses ekstraksi ciri menggunakan GLCM, setiap citra amunisi dalam dataset akan dicari nilainya seperti terlihat dalam visualisasi. Visualisasi ketiga menunjukkan grafik persebaran data amunisi sesuai klasterisasi yang telah ditentukan sebanyak 4 buah. Visualisasi keempat menunjukkan grafik evaluasi klasterisasi menggunakan metrik Elbow. Dan visualisasi terakhir berupa tabel klasterisasi yang menunjukkan posisi setiap citra amunisi masuk dalam klaster mana, dapat dikombinasikan dengan visualisasi ketiga untuk melihat posisi dari data yang diunggah tadi.



Gambar 6. Halaman Hasil (1) konversi ke warna keabuan, (2) nilai ekstrasi ciri



Gambar 6. Hasil akhir (3) grafik kluster, (4) Evaluasi Elbow, (5) table klasterisasi

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode GLCM untuk ekstraksi fitur dari gambar *grayscale*, yang dikombinasikan dengan metode K-Means untuk proses klusterisasi, memberikan hasil dan tingkat akurasi yang memadai meskipun terdapat keterbatasan dalam jumlah data. Model ini mencapai performa akurasi sebesar 71.14% dengan parameter *distance* bernilai 1 dan *angle* bernilai 0 pada metode GLCM. Keunggulan lainnya, model ini fleksibel untuk digunakan, baik dalam aplikasi berbasis konsol seperti Google Colab maupun pada aplikasi dengan antarmuka pengguna grafis (GUI). Performanya cukup stabil, sehingga membuka peluang untuk implementasi dalam berbagai skenario praktis. Pendekatan ini menyoroti potensi besar teknologi dalam mendukung proses forensik.

Penambahan kuantitas, variasi dan konsistensi data. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan akurasi model dalam melakukan clustering selama proses training. Melakukan tuning parameter pada model K-Means. Pada penelitian ini, proses tuning hanya dilakukan pada sisi ekstraksi fitur, sehingga untuk meningkatkan akurasi pada model K-Means, kiranya perlu untuk dilakukan tuning parameter pada bagian tersebut. Membuat aplikasi yang dapat dijalankan pada platform smartphone. Hal ini ditujukan agar penggunaan model tidak harus

menunggu data diinput pada personal computer (PC). Sehingga pada saat keadaan genting, user dapat segera menggunakan atau memanfaatkan model tersebut.

REFERENSI

- [1] P. Pisantanaroj *et al.*, “Automated Firearm Classification From Bullet Markings Using Deep Learning,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 78236–78251, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2989673.
- [2] R. Mukundan, S. H. Ong, and P. A. Lee, “Image analysis by Tchebichef moments,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 9, pp. 1357–1364, 2001, doi: 10.1109/83.941859.
- [3] J. De Kinder, F. Tulleners, and H. Thiebaut, “Reference ballistic imaging database performance,” *Forensic Sci Int*, 2004, doi: 10.1016/j.forsciint.2003.12.002.
- [4] G. Gerules, S. K. Bhatia, and D. E. Jackson, “A survey of image processing techniques and statistics for ballistic specimens in forensic science,” *Science & Justice*, vol. 53, no. 2, pp. 236–250, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.scijus.2012.07.002.
- [5] M. T. Bhatti, M. G. Khan, M. Aslam, and M. J. Fiaz, “Weapon Detection in Real-Time CCTV Videos Using Deep Learning,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 34366–34382, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3059170.
- [6] A. Egiazarov, V. Mavroeidis, F. M. Zennaro, and K. Vishi, “Firearm Detection and Segmentation Using an Ensemble of Semantic Neural Networks,” in *2019 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, IEEE, Nov. 2019, pp. 70–77. doi: 10.1109/EISIC49498.2019.9108871.
- [7] E. J. A. T. Mattijssen, “Interpol review of forensic firearm examination 2016-2019,” *Forensic Sci Int*, vol. 2, pp. 389–403, 2020, doi: 10.1016/j.fsisyn.2020.01.008.
- [8] Y. Florenza, “Tinjauan Naratif Tentang Mengeksplorasi Menyeluruh Kehebatan K-Means Algoritma Klusterisasi,” *Jurnal Ilmu Data*, vol. 3, no. 1, 2023.
- [9] M. Muhathir, M. H. Santoso, and D. A. Larasati, “Wayang Image Classification Using SVM Method and GLCM Feature Extraction,” *JOURNAL OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATION ENGINEERING*, vol. 4, no. 2, pp. 373–382, Jan. 2021, doi: 10.31289/jite.v4i2.4524.
- [10] A. P. A. Masa and H. Hamdani, “Klasifikasi Motif Citra Batik Menggunakan Convolutional Neural Network Berdasarkan K-means Clustering,” *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 5, no. 4, p. 1292, Oct. 2021, doi: 10.30865/mib.v5i4.3246.
- [11] P. N. Andono and E. H. Rachmawanto, “Evaluasi Ekstraksi Fitur GLCM dan LBP Menggunakan Multikernel SVM untuk Klasifikasi Batik,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i1.2615.
- [12] P. N. Andono and E. H. Rachmawanto, “Evaluasi Ekstraksi Fitur GLCM dan LBP Menggunakan Multikernel SVM untuk Klasifikasi Batik,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, Feb. 2021, doi: 10.29207/resti.v5i1.2615.
- [13] A. Abdulhafedh, “Incorporating K-means, Hierarchical Clustering and PCA in Customer Segmentation,” *Journal of City and Development*, vol. 3, no. 1, pp. 12–30, 2021, doi: 10.12691/jcd-3-1-3.
- [14] C.-Y. Liong, N. A. M. Ghani, S. B. A. Kamaruddin, and A. A. Jemain, “Firearm Classification Based on Numerical Features of the Firing Pin Impression,” *Procedia Comput Sci*, vol. 13, pp. 144–151, 2012, doi: 10.1016/j.procs.2012.09.123.
- [15] K. Aprilia and F. Sembiring, “Analisis Garis Kemiskinan Makanan Menggunakan Metode Algoritma K-Means Clustering,” *SISMATIK (Seminar Nasional Sistem Informasi dan Manajemen Informatika)*, pp. 1–10, 2021.