

**Pengekstrakan dan Pemilihan Fitur Momen Geometri
untuk Pengecaman Spesimen Forensik Balistik**
*(Extraction and Selection of Geometric Moment Features
for Forensic Ballistic Specimen Identification)*

¹Nor Azura Md Ghani, ²Choong-Yeun Liong & ³Abdul Aziz Jemain

¹Pusat Pengajian Statistik, Fakulti Sains Komputer dan Matematik
Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor

^{2,3}Pusat Pengajian Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

e-mail: ¹azura@tmsk.uitm.edu.my, ²lg@ukm.my, ³azizj@ukm.my

Abstrak Makalah ini memperkenalkan satu sistem pengecaman senjata api berasaskan imej kelongsong peluru. Apabila senjata api ditembak, ciri unik akan terbentuk pada kelongsong peluru dan anak peluru. Peluru yang telah diguna akan meninggalkan lebih daripada 30 ciri yang amat berharga bagi membantu pihak tertentu mengecamkan senjata api yang telah diguna. Ciri-ciri ini dikenali sebagai kesan mekanikal cap jari bagi senjata api. Lantaran itu, kajian ini telah mengekstrak empat puluh lapan fitur momen geometri yang berbeza secara signifikan daripada imej kelongsong peluru. Seterusnya analisis korelasi digunakan untuk memilih fitur yang utama dan relevan untuk pengelasan melalui analisis diskriminan.

Katakunci Senjata api; kelongsong peluru; fitur momen geometri; analisis korelasi; analisis diskriminan.

Abstract This paper introduces a recognition system for firearms identification based on cartridge case image. When a gun is fired, a unique characteristic on the cartridge and projectile of a bullet are produced. There are more than 30 marks left on the surface of a fired bullet which are invaluable towards identifying the firearm used. These characteristics are known as the mechanical fingerprint of firearm. Therefore, this research has extracted forty eight significantly different features of geometric moment from cartridge case images. Then correlation analysis was used to select the vital and relevant features for classification using discriminant analysis.

Keywords Firearms; cartridge case; geometric moment features; correlation analysis; discriminant analysis.

1 Pengenalan

Pengecaman senjata api telah menjadi semakin serius dan berkembang pesat di dalam bidang penyiasatan jenayah terutamanya untuk tempoh dua dekad ini. Apabila senjata api ditembak, ciri unik akan terbentuk pada kelongsong peluru dan anak peluru. Kajian juga telah menunjukkan bahawa tidak ada dua senjata api yang menghasilkan ciri unik yang sama pada anak peluru atau kelongsong peluru yang telah ditembak, walaupun senjata api mempunyai model yang serupa dan dikeluarkan dari kilang yang sama [1]. Oleh itu, peluru yang telah ditembak didapati telah meninggalkan lebih daripada 30 ciri unik yang amat berharga [2]. Ciri ini dikenali sebagai kesan mekanikal cap jari bagi senjata api [3]. Ciri ini juga amat membantu pihak tertentu dalam mengecamkan senjata api yang telah diguna. Ciri unik ini dikenali sebagai fitur forensik balistik.

Dalam makalah ini, suatu sistem untuk pengecaman senjata api berasaskan imej tapak kelongsong peluru telah diperkenalkan. Kelongsong peluru adalah satu daripada penunjuk yang amat penting dalam membantu menyelesaikan masalah pengecaman pistol [4], [5]. Fitur forensik balistik yang terhasil pada kelongsong peluru adalah kesan pin peletup, kesan badan bahagian kerja, kesan pengestrakan, kesan pelenting dan lain-lain [6]. Fitur forensik balistik yang terdapat pada kelongsong peluru ini diterangkan dengan terperinci dalam Bahagian 2. Seterusnya, Bahagian 3 menjelaskan cara pengumpulan data, manakala proses segmentasi imej diterangkan dalam Bahagian 4. Bahagian 5 membincangkan cara prapemprosesan dilaksanakan menerusi pakej MATLAB. Pengestrakan fitur pula dibincangkan dalam Bahagian 6. Bahagian 7 membincangkan fitur momen geometri yang diguna, dan Bahagian 8 membincangkan keputusan hasil analisis dan kesimpulan kajian ini.

2 Fitur Forensik Balistik

Kelongsong peluru merupakan satu daripada penunjuk yang amat penting dalam membantu menyelesaikan masalah pengecaman pistol [4], [5]. Berikut dijelas secara terperinci fitur forensik balistik yang terdapat pada kelongsong peluru.

(i) Kesan pin peletup

Apabila senjata api yang berisi peluru ditembak, pin peletup dalam senjata api akan mengetuk tapak kelongsong peluru. Ketukan ini bertujuan memberangsangkan pembakaran bahan ledakan dan ia akan menghasilkan kesan dan calar kepada tapak kelongsong peluru yang dikenali sebagai kesan pin peletup. Ciri kesan pin peletup yang dihasilkan adalah unik. Kesan ini hanya terhasil selepas tembakan berlaku. Maklumat yang boleh diperoleh dari kesan pin peletup ialah kedudukan, radius, kedalaman, bentuk, kesan lelidah dan cakaran halus. Pengilang senjata api membuat pelbagai jenis bentuk kesan pin peletup. Antara bentuk kesan pin peletup ialah bulatan, segiempat, semi bulatan, hemisfera, bentuk U dan lain-lain [7]. Kesan pin peletup berbeza antara satu pistol dengan pistol yang lain walaupun mempunyai nombor model yang serupa. Kajian lepas menunjukkan bahawa kesan pin peletup paling teguh dan merupakan ciri yang paling penting dalam pengecaman senjata api [5], [8].

(ii) Kesan badan bahagian kerja

Badan bahagian kerja adalah ruang yang terdapat di antara muka kebuk dan muka blok. Ia memberi ruang kepada kelongsong peluru keluar daripada kebuk lalu terpelanting keluar daripada senjata api. Kesan ini terjadi apabila kelongsong peluru bergerak keluar daripada kebuk lalu menghentak permukaan badan bahagian kerja ketika proses memuntahkan peluru. Kesan ini mempunyai fitur tekstur yang kukuh tetapi kedalaman dan kedudukan kesan ini amat berbeza bagi setiap senjata api. Kesan badan bahagian kerja wujud dalam beberapa bentuk seperti selari, bulatan, bercapuk-capuk dan lain-lain. Namun, sesetengah senjata api fitur ini senang dilihat manakala sesetengah senjata api fitur ini sukar dikesan.

(iii) Kesan pengestrakan

Pengestrakan adalah bahagian kecil yang menyerupai bentuk cangkuk bertujuan mengeluarkan kelongsong peluru daripada kebuk. Oleh itu, kesan pengestrakan terhasil

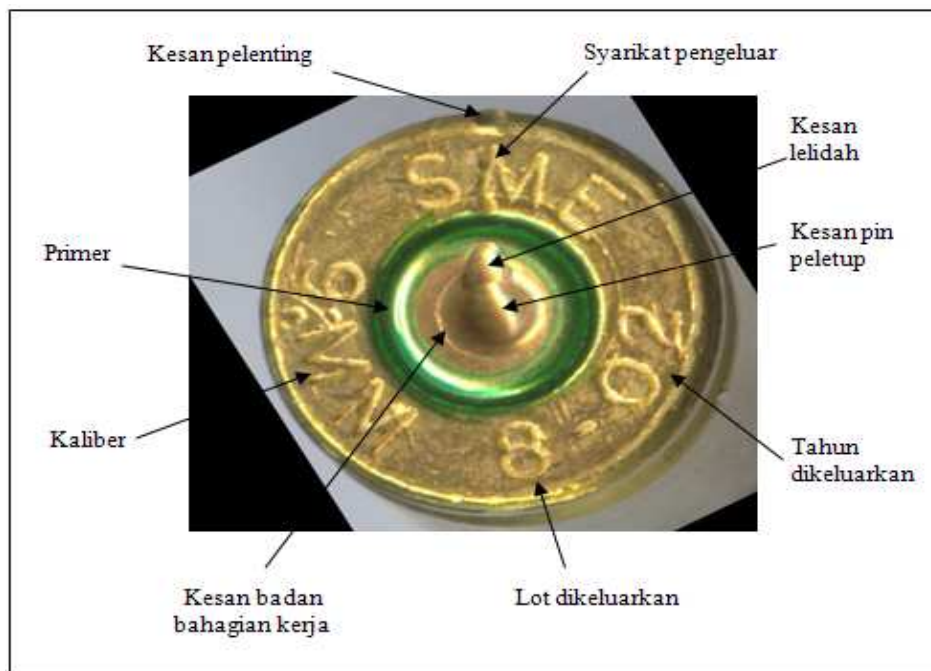
apabila pengestrak pada senjata api mencengkam rim di kelongsong peluru agar keluar ke kebuk.

(iv) Kesan pelenting

Pelenting direka bentuk untuk mengusir kelongsong peluru daripada senjata api setelah tembakan berlaku. Pengusiran ini mengakibatkan kesan pelenting pada kelongsong peluru. Arah kelongsong peluru terpelanting keluar daripada senjata api bergantung kepada pelenting yang di pasang pada senjata api tersebut. Oleh itu, fitur kesan pelenting mengandungi bentuk, kedudukan dan arah bagi pelenting.

Kesan badan bahagian kerja, kesan pengestrakan dan kesan pelenting boleh terbentuk semasa peluru diisi dan dikeluarkan daripada senjata api walaupun tembakan tidak dibuat. Jika sebutir peluru diisi dan dikeluarkan berulang kali maka kesan-kesan ini terhasil berulang kali dan kekal. Ini jelas menunjukkan kesan-kesan ini tidak teguh berbanding kesan pin peletup.

Rajah 1 menggambarkan fitur forensik balistik dan tanda setem yang dapat dilihat pada tapak kelongsong peluru. Walau bagaimanapun kesan pengestrakan tidak kelihatan di rajah ini kerana ia hanya boleh dilihat pada rim kelongsong peluru. Tanda setem mengandungi huruf, nombor dan lambang yang boleh mencirikan syarikat pengeluar, negara pengeluar, lot dan tahun dibuat, kaliber dan lain-lain [9].

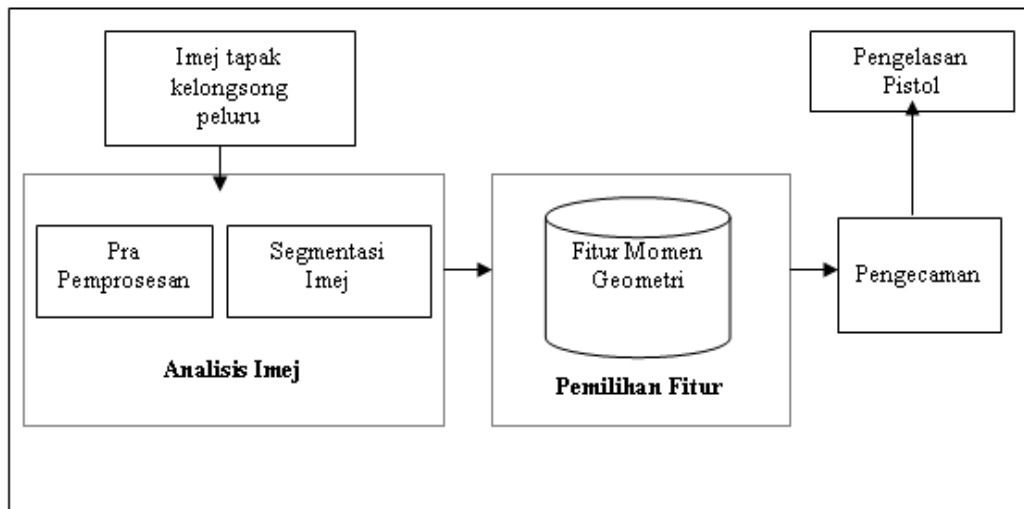


Rajah 1: Fitur forensik balistik dan tanda setem yang terdapat pada tapak kelongsong peluru

3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri daripada imej tapak kelongsong peluru. Walau bagaimanapun skop kajian ini hanya tertumpu kepada keupayaan kesan pin peletup dalam mengecamkan pistol. Ini berdasarkan kajian lepas menyatakan bahawa kesan pin peletup yang paling teguh [10], [11].

Dua jenis imej tapak kelongsong peluru telah dikaji, iaitu dikenali sebagai imej asal dan imej yang telah melalui prapemprosesan. Imej-imej ini perlu melalui proses segmentasi bagi mendapatkan kesan pin peletup. Seterusnya, aspek pencarian fitur dari kesan pin peletup untuk pengelasan dilakukan. Fitur-fitur yang diperoleh penting untuk pengecaman senjata api. Secara keseluruhan, kaedah kajian ini boleh digambarkan seperti mana dalam Rajah 2.



Rajah 2: Komponen utama sistem pengecaman pistol

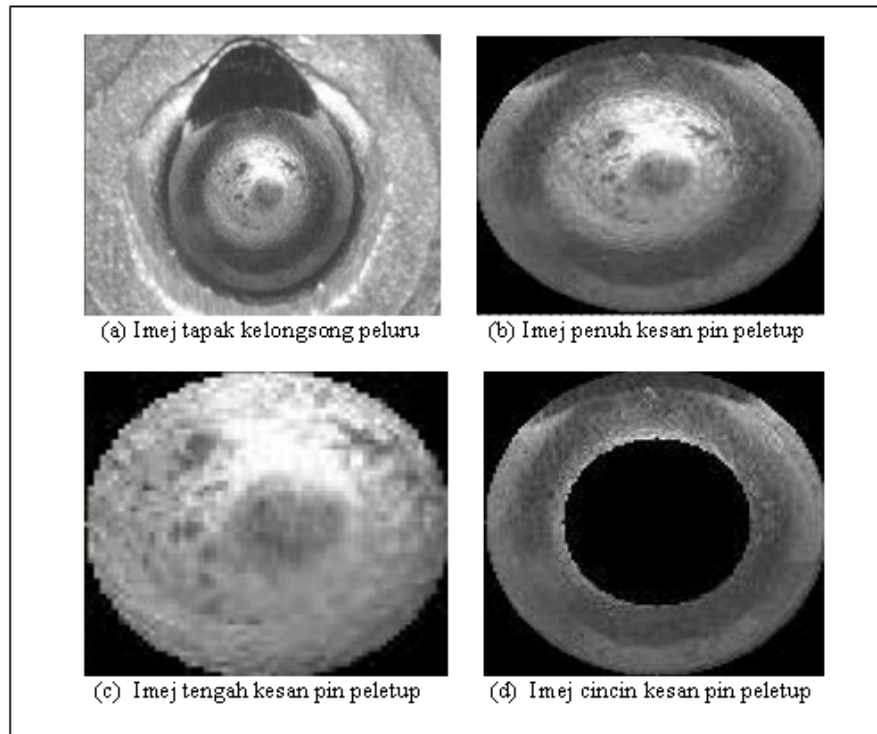
Imej tapak kelongsong peluru yang digunakan dalam kajian ini telah diambil dengan bantuan pakej Drugfire [12]. Dalam kajian ini, lima pucuk pistol jenis Parabellum Vektor SP1 9mm, buatan Afrika Selatan telah digunakan. Pistol-pistol yang diguna dilabel sebagai Pistol A, Pistol B, Pistol C, Pistol D dan Pistol E. Setiap pistol diuji menggunakan sebanyak 50 peluru. Hasilnya sebanyak 50 imej tapak kelongsong peluru telah dikumpul bagi setiap pistol.

4 Segmentasi Imej

Kesan pin peletup perlu disegmen daripada tapak kelongsong peluru. Ini berdasarkan kajian lepas menunjukkan bahawa keteguhan dan keberkesanan kesan pin peletup amat membantu dalam pengecaman senjata api. Dalam kajian ini, bentuk kesan pin peletup ialah bulatan dan terletak di tengah-tengah tapak kelongsong peluru. Oleh itu, bahagian tengah tersebut merupakan kawasan yang teruja untuk pengecaman. Jadi proses segmentasi perlu dilakukan ke atas kawasan tersebut.

Dua jenis imej akan dikaji, iaitu imej asal dan imej yang telah melalui prapemprosesan. Imej-imej ini disegmen kepada tiga bahagian, membentuk tiga set imej yang berlainan, iaitu imej penuh kesan pin peletup, imej tengah kesan pin peletup dan imej cincin kesan pin peletup sebagaimana digambarkan dalam Rajah 3. Imej cincin kesan pin peletup diperoleh setelah dibuang bahagian tengah kesan pin peletup.

Proses segmentasi ini telah dilakukan ke atas imej asal dan imej yang telah melalui prapemprosesan menggunakan atur cara yang telah dibangunkan menggunakan pakej MATLAB [13], [14]. Proses prapemprosesan imej diterangkan dalam bahagian yang berikutnya.



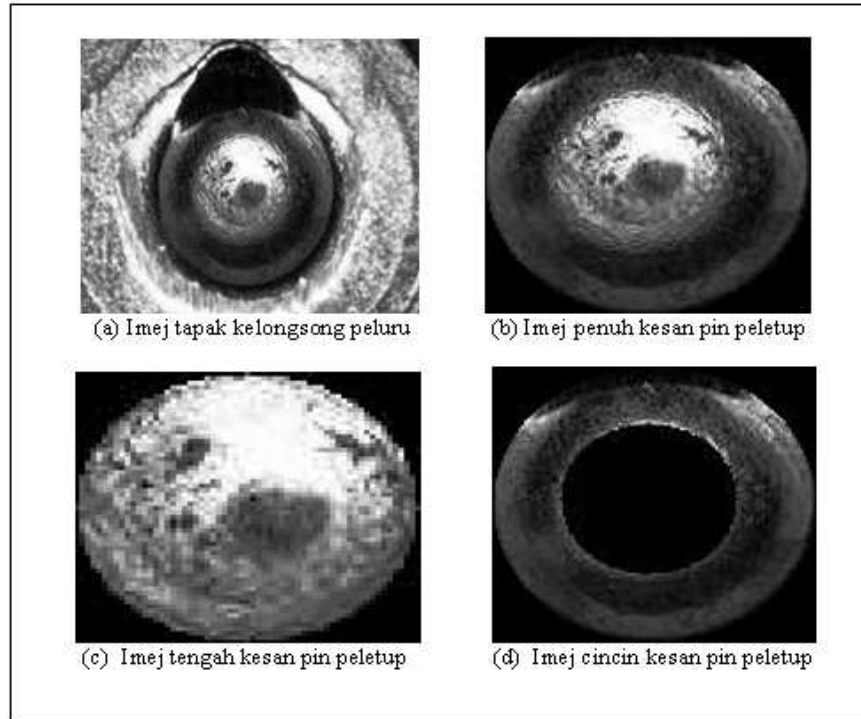
Rajah 3: Sampel imej asal tapak kelongsong peluru

5 Prapemprosesan

Dalam kajian ini, penyeragaman histogram digunakan untuk prapemprosesan. Penyeragaman histogram adalah proses transformasi untuk melaraskan nilai keamatan supaya nilai keamatan adalah seragam bagi setiap imej [13], [14]. Gambar-gambar imej yang telah melalui proses penyeragaman histogram ini dibentangkan dalam Rajah 4. Sampel imej yang telah melalui proses penyeragaman histogram dan disegmen dibentangkan dalam Rajah 4.

Imej ini juga dibahagikan kepada tiga bahagian seperti mana diterangkan dalam seksyen 4. Tujuan prapemprosesan dilaksanakan adalah untuk memudahkan penilaian secara subjektif kesannya ke atas hasil pengelasan berbanding dengan imej asal oleh pengkaji. Ini

adalah kerana penyeragaman histogram telah menyelesaikan masalah keamatan yang berbeza-beza di antara bahagian pada imej. Proses ini boleh mempertingkatkan lagi kejelasan fitur-fitur yang agak malap pada bahagian-bahagian yang teruja.



Rajah 4: Sampel imej tapak kelongsong peluru selepas proses penyeragaman histogram

6 Pengestrakan Fitur

Tujuan utama dalam sebilangan besar aplikasi pemprosesan imej ialah mengekstrak fitur yang penting daripada data imej [15]. Pengekstrakan fitur umumnya merujuk kepada langkah dalam pemprosesan imej yang membuat pengukuran atau pencerapan untuk menghasilkan fitur yang boleh digunakan untuk pengelasan [16].

Walau bagaimanapun, perlu ditekankan bahawa menentu dan mendapatkan fitur, iaitu ciri-ciri unik yang dikira daripada suatu imej, merupakan suatu tugas yang besar dan mencahar dalam mereka bentuk sesuatu sistem pengecaman pola [17]. Ini adalah kerana tiada prosedur atau panduan tertentu ke arah mendapatkannya. Ia lebih bersifat heuristik, iaitu bersifat berpandukan kepada pengetahuan pengkaji dan maklumat daripada data untuk menentukan corak atau jenis fitur yang akan dicadangkan. Dengan kata lain, ia merujuk kepada langkah-langkah memproses cerapan dan maklumat daripada imej untuk menentukan ciri-ciri yang dapat mengecami sesuatu objek itu [18].

Dalam kajian ini, imej yang telah disegmen kepada tiga bahagian mempunyai taburan

nilai keamatan berskala kelabu dalam julat $[0, 255]$. Berdasarkan taburan nilai keamatan sebanyak empat puluh lapan fitur momen geometri telah diperoleh menerusi atur cara yang telah dibangunkan menggunakan pakej MATLAB [13], [14]. Fitur ini mengambil kira nilai keamatan dan maklumat kedudukan setiap piksel pada imej. Oleh itu, fitur momen geometri yang dijana ini juga dikenali sebagai fitur dua dimensi dalam makalah ini.

7 Momen

Konsep matematik bagi momen telah digunakan sejak beberapa lama dalam pelbagai bidang daripada mekanik dan statistik hinggalah ke pengecaman pola dan pengertian imej. Memerihalkan imej menggunakan momen bermaksud fitur imej bersifat global telah digunakan berbanding dengan kaedah-kaedah biasa lain yang menggunakan fitur bersifat setempat [19]. Hu [20] adalah orang pertama yang menjelajahi penggunaan momen dalam bidang pengecaman pola dan telah menghasilkan penemuan yang signifikan dalam bidang ini.

7.1 Definisi Umum Momen

Definisi umum fungsi momen ϕ_{pq} peringkat $(p + q)$ bagi fungsi keamatan imej $f(x, y)$ ditakrifkan seperti berikut:

$$\phi_{pq} = \int_y \int_x \psi_{pq}(x, y) f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

dengan $\psi_{pq}(x, y)$ adalah fungsi selanjar bagi (x, y) dan dikenali sebagai momen fungsi kernel atau set asas. Indeks p dan q kebiasaannya menyatakan bahawa darjah koordinat x dan y masing-masing, seperti yang tertakrif dalam ψ . Fungsi asas mungkin mempunyai ciri-ciri yang bermanfaat yang seterusnya dapat diwarisi oleh momen yang terhasil. Hasilnya adalah suatu set fitur yang mungkin bersifat tak-ubah di bawah operasi putaran, penskalaan dan translasi. Untuk menerapkan ini kepada imej digital, persamaan (1) perlu ditakrifkan ke dalam bentuk diskret:

$$\phi_{pq} = \sum_x \sum_y \psi_{pq}(x, y) f(x, y) \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Selain daripada itu, sifat ortogon fungsi asas adalah dipindahkan terus kepada momen yang terhasil, iaitu fungsi asas yang tidak ortogon akan menghasilkan momen tak-ortogon, manakala fungsi asas yang ortogon akan menghasilkan momen ortogon. Momen geometri adalah momen tak-ortogon manakala momen Legendre adalah contoh momen ortogon [21].

7.2 Momen Geometri (MG)

MG adalah momen yang kerap digunakan dalam menjalani tugas pemprosesan imej. Momen ini juga dikenali sebagai momen Cartesan. Pengiraan momen ini pada imej boleh dilaksanakan dengan mudah berbanding dengan momen lain yang mempunyai fungsi kernel yang kompleks. Oleh itu, ia adalah momen yang paling mudah berbanding dengan fungsi momen yang lain kerana fungsi kernel ditakrifkan sebagai hasil darab koordinat piksel. MG

didefinisikan dengan $\{x^p y^q\}$ sebagai set asas. Oleh itu, MG peringkat $(p + q)$ bagi suatu imej dua dimensi $f(x, y)$ ditakrifkan sebagai:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Jika dibandingkan dengan persamaan (1) maka fungsi kernel, $\psi_{pq}(x, y)$ adalah bersamaan dengan $x^p y^q$ dalam persamaan (3).

Manakala, imej diskret dua dimensi $f(x, y)$ bersaiz $N \times M$ ditakrifkan sebagai:

$$m_{pq} = \sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N x^p y^q f(x, y) \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Perhatikan bahawa fungsi asas untuk mentakrifkan momen adalah hasil darab monomial $x^p y^q$. Oleh itu, MG adalah tidak ortogon kerana fungsi asas adalah tidak ortogon. Teorem keunikan menyatakan bahawa set momen, m_{pq} adalah unik untuk setiap fungsi $f(x, y)$ [22]. Teorem kewujudan pula menjamin bahawa momen sentiasa wujud pada setiap peringkat [23].

Dari persamaan di atas, adalah jelas nilai momennya akan meningkat dengan pantas untuk peringkat yang semakin tinggi dan koordinat yang besar. Oleh itu dalam kajian ini, rumus MG pada persamaan (4) telah diskalakan nilai ke dalam selang nilai $[-1, 1]$. Penskalaan telah dilakukan tanpa kehilangan sebarang maklumat. Fungsi keamatan imej $f(x, y)$ dalam kajian ini mempunyai taburan nilai keamatan berskala kelabu $[0, 255]$.

Oleh itu, rumus MG peringkat $(p + q)$ bagi imej diskret dua dimensi $f(x, y)$ bersaiz $N \times N$ ditakrifkan sebagai:

$$m_{pq} = \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^N \left(\frac{2x}{N} - 1 \right)^p \left(\frac{2y}{N} - 1 \right)^q \frac{1}{255} f\left(\frac{x}{N}, \frac{y}{N} \right) \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots$$

andaikan $u = \frac{x}{N}$ dan $v = \frac{y}{N}$ maka persamaan di atas boleh diringkaskan sebagai

$$m_{pq} = \sum_{v=1/N}^1 \sum_{u=1/N}^1 (2u - 1)^p (2v - 1)^q \frac{1}{255} f(u, v) \quad p, q = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Persamaan (5) memberikan selang nilai yang kecil, memenuhi ciri fitur yang baik untuk pengelasan. Oleh itu, persamaan ini akan digunakan untuk mengekstrak fitur daripada imej yang disegmen kepada tiga bahagian dan seterusnya senjata api yang khusus boleh dicamkan.

8 Analisis Fitur dan Perbincangan

Seperti yang telah dijelaskan bahawa imej telah disegmen kepada tiga bahagian, oleh itu enam belas fitur telah diekstrak daripada setiap bahagian maka secara keseluruhan terdapat empat puluh lapan fitur telah diekstrak menerusi kaedah MG. Fitur-fitur tersebut disenaraikan dalam Jadual 1.

Merujuk Jadual 1, fitur yang dipilih adalah fitur momen sehingga peringkat ketiga. Menurut Mukundan dan Ramakrishnan [23], momen peringkat keempat dan lebih adalah jarang digunakan di dalam pembinaan fitur vektor. Ini memandangkan, momen peringkat tinggi mengandungi perincian lebih mendalam tentang imej dan selalunya amat sensitif kepada kesan hingar.

Jadual 2 dan Jadual 3 berikut menyajikan purata pelbagai fitur bagi fitur dua dimensi yang telah diekstrak menerusi kaedah MG daripada imej asal dan imej selepas proses penyeragaman histogram. Jadual 2 mempamerkan bahawa purata terendah nilai fitur bagi MP_{00} adalah Pistol A (3384.4), diikuti oleh Pistol E (3392.8), Pistol C (3777.2), Pistol D (3992.3), manakala purata tertinggi bagi MP_{00} adalah Pistol B (4061.7). Perbandingan purata fitur MP_{00} ini jelas menunjukkan bahawa terdapat perbezaan di kalangan pistol yang dikaji. Corak penerangan yang sama boleh diperhatikan pada purata fitur yang lain di Jadual 2 dan Jadual 3, di mana jelas menunjukkan bahawa setiap purata nilai fitur tersebut adalah berbeza di antara kelima-lima pistol.

Jadual 1: Senarai fitur dua dimensi ekstrak MG

Bil	Fitur imej kesan pin peletup	Singkatan	Bil	Fitur imej kesan pin peletup	Singkatan
1.	M_{00} penuh	MP_{00}	25.	M_{20} tengah	MT_{20}
2.	M_{01} penuh	MP_{01}	26.	M_{21} tengah	MT_{21}
3.	M_{02} penuh	MP_{02}	27.	M_{22} tengah	MT_{22}
4.	M_{03} penuh	MP_{03}	28.	M_{23} tengah	MT_{23}
5.	M_{10} penuh	MP_{10}	29.	M_{30} tengah	MT_{30}
6.	M_{11} penuh	MP_{11}	30.	M_{31} tengah	MT_{31}
7.	M_{12} penuh	MP_{12}	31.	M_{32} tengah	MT_{32}
8.	M_{13} penuh	MP_{13}	32.	M_{33} tengah	MT_{33}
9.	M_{20} penuh	MP_{20}	33.	M_{00} cincin	MC_{00}
10.	M_{21} penuh	MP_{21}	34.	M_{01} cincin	MC_{01}
11.	M_{22} penuh	MP_{22}	35.	M_{02} cincin	MC_{02}
12.	M_{23} penuh	MP_{23}	36.	M_{03} cincin	MC_{03}
13.	M_{30} penuh	MP_{30}	37.	M_{10} cincin	MC_{10}
14.	M_{31} penuh	MP_{31}	38.	M_{11} cincin	MC_{11}
15.	M_{32} penuh	MP_{32}	39.	M_{12} cincin	MC_{12}
16.	M_{33} penuh	MP_{33}	40.	M_{13} cincin	MC_{13}
17.	M_{00} tengah	MT_{00}	41.	M_{20} cincin	MC_{20}
18.	M_{01} tengah	MT_{01}	42.	M_{21} cincin	MC_{21}
19.	M_{02} tengah	MT_{02}	43.	M_{22} cincin	MC_{22}
20.	M_{03} tengah	MT_{03}	44.	M_{23} cincin	MC_{23}
21.	M_{10} tengah	MT_{10}	45.	M_{30} cincin	MC_{30}
22.	M_{11} tengah	MT_{11}	46.	M_{31} cincin	MC_{31}
23.	M_{12} tengah	MT_{12}	47.	M_{32} cincin	MC_{32}
24.	M_{13} tengah	MT_{13}	48.	M_{33} cincin	MC_{33}

Untuk lebih terperinci lagi, langkah berikut dilaksanakan untuk menentukan sama ada kesemua fitur daripada imej asal dan imej selepas proses penyeragaman histogram adalah berbeza secara signifikan di antara pistol. Di sini ujian analisis varians multivariat (MANOVA) digunakan. MANOVA adalah lanjutan bagi analisis varians yang mempertimbangkan fitur-fitur secara serentak di dalam kelas bagi menguji fitur-fitur tersebut berbeza secara signifikan di antara kelas [24]. Hasil ujian MANOVA menunjukkan bahawa kesemua fitur menunjukkan nilai- p kurang daripada 0.0005 seperti yang tertera di Jadual 2 dan Jadual 3. Kesimpulannya, kelima-lima pistol adalah berbeza secara signifikan berdasarkan fitur dua dimensi yang telah diekstrak daripada kaedah MG.

Gabungan fitur ini membentuk empat puluh lapan fitur yang berbeza secara signifikan. Fitur ini seterusnya digunakan di dalam analisis diskriminan bagi tujuan pengelasan. Walaupun fitur ini berbeza secara signifikan tetapi mungkin tidak banyak memberi maklumat kerana beberapa fitur mungkin terdapat kesan hingar, lewah, tidak relevan atau berkorelasi [25].

Oleh itu, pengkaji hanya berminat untuk memilih beberapa fitur daripada empat puluh lapan fitur tersebut. Proses pemilihan fitur adalah proses mengeluarkan data lewah supaya data yang tinggal adalah data yang minimum dan mencukupi untuk menggambarkan keseluruhan sistem. Fitur yang dipilih adalah berdasarkan keupayaan fitur-fitur berkenaan mengelaskan pistol tersebut. Tambahan pula, penurunan dimensi ini akan mempercepatkan proses pembelajaran algoritma dan lebih efektif.

Oleh itu, pengkaji akan memilih fitur dari perspektif korelasi, iaitu berdasarkan kepada kajian Hall [26] yang menyatakan bahawa suatu subset fitur yang baik terbentuk daripada fitur yang berkorelasi tinggi dengan kelas, tetapi tidak sesama fitur tersebut. Di samping itu, ia juga adalah untuk mengelakkan kelewahan data, iaitu ia merujuk kepada fitur yang berkorelasi tinggi membawa maksud data lewahan dan boleh digugurkan. Tambahan pula, di dalam analisis diskriminan, satu andaian yang perlu dipatuhi ialah tidak wujud multikolinearan antara fitur-fitur [24].

Multikolinearan pula merujuk kepada korelasi di antara tiga ataupun lebih fitur. Multikolinearan yang diukur sebagai tolerans, menunjukkan bahawa dua atau lebih fitur adalah berkorelasi tinggi antara satu sama lain sehingga suatu fitur itu dapat diperihalkan oleh fitur lain, dan oleh itu membawa kuasa perihalan tambahan yang terlalu kecil kepada set fitur keseluruhan [24]. Di dalam kajian, fitur yang dipilih adalah fitur yang tidak wujud multikolinearan kerana ia akan mengakibatkan fitur ini bertindan dan seterusnya mengurangkan kecekapan statistiknya. Oleh itu, jika wujud multikolinearan antara fitur maka pasangannya akan digugurkan.

Proses pemilihan fitur dimulai dengan menjelajahi nilai mutlak korelasi (NMK) di antara fitur. Menurut Wulder [27], multikolinearan hanya akan berlaku jika NMK melebihi 0.90. Oleh itu, kajian ini hanya mempertimbangkan pasangan fitur yang mempamerkan NMK kurang daripada 0.90. Dalam kes ini, kelas yang dikaji, iaitu pistol adalah berbentuk kualitatif. Oleh itu, satu cara mengkaji kewujudan multikolinearan atau sebaliknya adalah melalui analisis diskriminan. Melalui analisis diskriminan, nilai tolerans boleh diperoleh. Masalah multikolinearan wujud sekiranya nilai tolerans untuk fitur yang kurang daripada 0.10 [28].

Oleh itu, jika fitur yang dipilih menghasilkan nilai tolerans lebih besar daripada 0.10, maka fitur tersebut merupakan fitur terbaik bagi model. Jika fitur tersebut menghasilkan nilai tolerans kurang daripada 0.10, maka fitur tersebut digugurkan.

Jadual 2: Perbezaan antara pistol mengikut pelbagai purata fitur MG dan nilai- p berasaskan ujian MANOVA bagi imej asal

Pistol	Perbandingan M_{00}				Perbandingan M_{01}				Perbandingan M_{02}				Perbandingan M_{03}			
	MP ₀₀	MT ₀₀	MC ₀₀	Nilai- p	MP ₀₁	MT ₀₁	MC ₀₁	Nilai- p	MP ₀₂	MT ₀₂	MC ₀₂	Nilai- p	MP ₀₃	MT ₀₃	MC ₀₃	Nilai- p
A	3384.4	895.0	2507.8		54.6	19.1	43.4		785.6	190.5	738.9		33.3	12.9	31.5	
B	4061.7	1126.8	2955.4		61.4	3.2	54.7		929.0	239.7	870.2		38.5	4.9	37.1	
C	3777.2	1065.3	2731.8	0.000	55.0	7.7	44.7	0.000	872.0	231.4	815.1	0.000	32.9	5.9	31.2	0.000
D	3992.3	1112.1	2900.4		68.6	18.2	54.7		909.1	228.2	853.0		41.3	11.1	39.0	
E	3392.8	979.1	2433.1		46.4	12.4	34.9		769.6	216.6	716.4		27.3	6.1	25.6	

Pistol	Perbandingan M_{10}				Perbandingan M_{11}				Perbandingan M_{12}				Perbandingan M_{13}			
	MP ₁₀	MT ₁₀	MC ₁₀	Nilai- p	MP ₁₁	MT ₁₁	MC ₁₁	Nilai- p	MP ₁₂	MT ₁₂	MC ₁₂	Nilai- p	MP ₁₃	MT ₁₃	MC ₁₃	Nilai- p
A	-152.0	-34.1	-136.9		-3.1	-4.3	-2.0		-15.2	-3.5	-14.8		-1.9	-1.2	-1.8	
B	-129.8	-20.8	-124.9		-9.9	-4.7	-8.8		-14.5	-3.9	-14.3		-3.0	-1.4	-2.9	
C	-125.7	-48.4	-107.9	0.000	-10.9	-3.9	-9.8	0.000	-12.9	-6.3	-12.4	0.000	-3.6	-1.5	-3.5	0.000
D	-127.2	-38.4	-113.0		-9.7	-1.9	-9.2		-14.2	-4.7	-13.9		-4.0	-1.4	-3.9	
E	-137.3	-63.2	-111.2		-16.0	-3.3	-15.0		-12.8	-9.2	-12.0		-5.1	-1.7	-5.0	

Pistol	Perbandingan M_{20}				Perbandingan M_{21}				Perbandingan M_{22}				Perbandingan M_{23}			
	MP ₂₀	MT ₂₀	MC ₂₀	Nilai- p	MP ₂₁	MT ₂₁	MC ₂₁	Nilai- p	MP ₂₂	MT ₂₂	MC ₂₂	Nilai- p	MP ₂₃	MT ₂₃	MC ₂₃	Nilai- p
A	827.5	199.7	778.7		9.5	3.8	8.9		130.9	30.5	129.1		4.4	1.8	4.3	
B	969.2	250.6	907.6		13.4	2.4	12.8		153.8	38.4	151.5		5.6	1.1	5.6	
C	886.1	232.7	829.3	0.000	10.8	1.1	10.3	0.000	142.5	37.0	140.3	0.000	4.9	0.6	4.8	0.000
D	949.4	245.8	889.2		13.9	4.3	13.1		150.5	37.7	148.3		5.9	1.7	5.8	
E	799.2	221.7	745.2		9.8	3.2	9.2		126.8	35.5	124.7		4.2	1.0	4.1	

Pistol	Perbandingan M_{30}				Perbandingan M_{31}				Perbandingan M_{32}				Perbandingan M_{33}			
	MP ₃₀	MT ₃₀	MC ₃₀	Nilai- p	MP ₃₁	MT ₃₁	MC ₃₁	Nilai- p	MP ₃₂	MT ₃₂	MC ₃₂	Nilai- p	MP ₃₃	MT ₃₃	MC ₃₃	Nilai- p
A	-56.9	-12.0	-55.7		0.2	-1.2	0.3		-4.1	-0.9	-4.1		-0.3	-0.4	-0.3	
B	-50.9	-15.3	-50.0		-2.8	-1.6	-2.7		-3.6	-1.2	-3.6		-0.8	-0.3	-0.8	
C	-39.2	-19.5	-37.8	0.000	-3.2	-1.2	-3.1	0.000	-2.5	-1.8	-2.5	0.000	-1.0	-0.4	-1.0	0.000
D	-44.3	-17.7	-43.0		-2.6	-0.9	-2.6		-3.4	-1.2	-3.4		-1.0	-0.4	-1.0	
E	-44.1	-23.1	-42.1		-5.5	-1.5	-5.4		-3.1	-2.8	-3.1		-1.5	-0.6	-1.4	

Jadual 3: Perbezaan antara pistol mengikut pelbagai purata fitur MG dan nilai- p berasaskan ujian MANOVA bagi imej melalui proses penyeragaman histogram

Pistol	Perbandingan M_{00}				Perbandingan M_{01}				Perbandingan M_{02}				Perbandingan M_{03}			
	MP ₀₀	MT ₀₀	MC ₀₀	Nilai- p	MP ₀₁	MT ₀₁	MC ₀₁	Nilai- p	MP ₀₂	MT ₀₂	MC ₀₂	Nilai- p	MP ₀₃	MT ₀₃	MC ₀₃	Nilai- p
A	3108.5	832.4	2294.2		73.5	24.4	59.9		687.8	159.3	649.2		40.4	15.1	38.3	
B	3377.6	1021.4	2375.0		78.1	-5.1	76.0		695.7	191.5	648.9		43.7	0.6	43.0	
C	3005.3	948.7	2074.7	0.000	73.3	9.8	62.7	0.000	634.9	185.1	589.6	0.000	36.3	5.7	34.7	0.000
D	3082.5	962.9	2137.2		95.4	25.4	78.6		618.9	159.4	580.1		49.3	12.8	47.2	
E	2445.7	850.8	1611.9		56.9	17.9	43.1		477.4	169.5	435.9		24.6	5.6	23.1	

Pistol	Perbandingan M_{10}				Perbandingan M_{11}				Perbandingan M_{12}				Perbandingan M_{13}			
	MP ₁₀	MT ₁₀	MC ₁₀	Nilai- p	MP ₁₁	MT ₁₁	MC ₁₁	Nilai- p	MP ₁₂	MT ₁₂	MC ₁₂	Nilai- p	MP ₁₃	MT ₁₃	MC ₁₃	Nilai- p
A	-343.5	-72.3	-309.0		-4.5	-7.7	-2.5		-42.2	-9.4	-41.1		-3.2	-2.3	-3.1	
B	-330.2	-56.8	-306.4		-21.1	-8.3	-18.9		-44.2	-9.7	-43.1		-6.6	-2.3	-6.4	
C	-309.2	-103.7	-262.9	0.000	-22.1	-7.2	-20.1	0.000	-40.1	-14.1	-38.6	0.000	-7.4	-2.8	-7.2	0.000
D	-319.3	-92.0	-277.1		-20.0	-3.9	-18.9		-43.2	-11.8	-41.9		-8.1	-2.5	-7.9	
E	-310.0	-124.8	-252.4		-30.4	-6.1	-28.6		-35.7	-19.3	-33.5		-9.6	-3.0	-9.4	

Pistol	Perbandingan M_{20}				Perbandingan M_{21}				Perbandingan M_{22}				Perbandingan M_{23}			
	MP ₂₀	MT ₂₀	MC ₂₀	Nilai- p	MP ₂₁	MT ₂₁	MC ₂₁	Nilai- p	MP ₂₂	MT ₂₂	MC ₂₂	Nilai- p	MP ₂₃	MT ₂₃	MC ₂₃	Nilai- p
A	770.0	174.6	727.6		9.9	4.4	9.3		116.7	24.7	115.3		4.4	1.9	4.3	
B	789.3	211.0	737.9		14.7	1.5	14.3		116.5	29.4	114.7		5.6	0.6	5.5	
C	670.7	190.3	624.8	0.000	12.1	0.5	11.8	0.000	102.4	28.9	100.7	0.000	5.0	0.2	5.0	0.000
D	708.8	193.9	661.8		16.9	5.6	16.0		103.8	26.5	102.2		6.4	1.9	6.4	
E	543.0	179.3	499.8		10.9	4.1	10.2		79.0	27.5	77.3		3.7	0.8	3.6	

Pistol	Perbandingan M_{30}				Perbandingan M_{31}				Perbandingan M_{32}				Perbandingan M_{33}			
	MP ₃₀	MT ₃₀	MC ₃₀	Nilai- p	MP ₃₁	MT ₃₁	MC ₃₁	Nilai- p	MP ₃₂	MT ₃₂	MC ₃₂	Nilai- p	MP ₃₃	MT ₃₃	MC ₃₃	Nilai- p
A	-143.5	-31.6	-139.7		0.8	-2.4	0.9		-13.4	-3.2	-13.3		-0.5	-0.7	-0.5	
B	-147.5	-36.4	-143.5		-6.2	-2.9	-6.0		-14.3	-3.3	-14.2		-1.8	-0.6	-1.8	
C	-116.1	-44.2	-111.4	0.000	-6.7	-2.2	-6.5	0.000	-11.3	-4.5	-11.1	0.000	-2.1	-0.8	-2.1	0.000
D	-131.5	-42.2	-126.7		-5.2	-1.9	-5.1		-13.7	-3.5	-13.6		-1.9	-0.7	-1.8	
E	-118.2	-49.7	-112.6		-10.8	-2.8	-10.6		-11.3	-6.2	-11.1		-2.8	-0.9	-2.8	

Melalui pengamatan pengkaji, multikolinearan tidak wujud bagi pasangan fitur momen geometri bagi imej asal dan imej selepas proses penyeragaman histogram yang mempunyai NMK kurang daripada 0.87. Akhirnya, sembilan fitur terbaik dipilih daripada imej asal dan nilai toleransnya disajikan dalam Jadual 4, manakala bagi imej melalui proses penyeragaman histogram pula, sebelas fitur terbaik telah dipilih dan nilai toleransnya ditunjukkan dalam Jadual 5.

Jadual 4: Sembilan fitur terbaik ekstrakan MG dan nilai toleransnya bagi imej asal

Fitur imej kesan pin peletup	Singkatan	Nilai tolerans
M_{00} penuh	MP_{00}	0.775
M_{01} penuh	MP_{01}	0.182
M_{11} penuh	MP_{11}	0.788
M_{12} penuh	MP_{12}	0.215
M_{01} tengah	MT_{01}	0.362
M_{10} tengah	MT_{10}	0.459
M_{11} tengah	MT_{11}	0.655
M_{10} cincin	MC_{10}	0.231
M_{21} cincin	MC_{21}	0.218

Jadual 5: Sebelas fitur terbaik ekstrakan MG dan nilai toleransnya bagi imej melalui proses penyeragaman histogram

Fitur imej kesan pin peletup	Singkatan	Nilai tolerans
M_{01} penuh	MP_{01}	0.211
M_{10} penuh	MP_{10}	0.141
M_{21} penuh	MP_{21}	0.236
M_{00} tengah	MT_{00}	0.280
M_{01} tengah	MT_{01}	0.477
M_{10} tengah	MT_{10}	0.197
M_{11} tengah	MT_{11}	0.592
M_{12} tengah	MT_{12}	0.249
M_{00} cincin	MC_{00}	0.248
M_{11} cincin	MC_{11}	0.747
M_{12} cincin	MC_{12}	0.172

Berdasarkan Jadual 4 dan Jadual 5, fitur terbaik yang dipilih terdiri daripada fitur momen peringkat rendah, iaitu sehingga peringkat ketiga sahaja. Kajian ini juga menunjukkan bahawa fitur momen geometri peringkat rendah berkorelasi tinggi dengan fitur momen geometri peringkat tinggi. Oleh itu, fitur momen geometri peringkat rendah sahaja yang dipilih sebagai fitur terbaik. Tambahan pula, fitur momen geometri peringkat rendah mudah dikira. Ini disokong oleh Mukundan dan Ramakrishnan [23] di mana mereka menyatakan bahawa momen peringkat tinggi mengandungi perincian yang lebih halus tentang imej dan

selalunya amat sensitif kepada kesan hingar dan mungkin sekali tidak diperlukan untuk pengecaman [29].

Seterusnya, analisis diskriminan digunakan untuk mengetahui sejauh manakah fitur terbaik ini berjaya mengecamkan pistol. Jadual 6 mempamerkan keputusan hasil pengelasan bagi imej asal berdasarkan sembilan fitur terbaik. Jadual 7 pula menunjukkan keputusan hasil pengelasan bagi imej melalui proses penyeragaman histogram berdasarkan sebelas fitur terbaik.

Jadual 6: Hasil pengelasan bagi imej asal berdasarkan sembilan fitur terbaik ekstrakan MG

		Hasil Pengelasan					
		Pistol A	Pistol B	Pistol C	Pistol D	Pistol E	Jumlah
Kelas Asal	Pistol A	47 (94%)	0	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	50
	Pistol B	0	48 (96%)	2 (4%)	0	0	50
	Pistol C	0	2 (4%)	39 (78%)	7 (14%)	2 (4%)	50
	Pistol D	0	0	6 (12%)	44 (88%)	0	50
	Pistol E	0	0	0	1 (2%)	49 (98%)	50

Jadual 7: Hasil pengelasan bagi imej melalui proses penyeragaman histogram berdasarkan sebelas fitur terbaik ekstrakan MG

		Hasil Pengelasan					
		Pistol A	Pistol B	Pistol C	Pistol D	Pistol E	Jumlah
Kelas Asal	Pistol A	48 (96%)	0	1 (2%)	1 (2%)	0	50
	Pistol B	0	50 (100%)	0	0	0	50
	Pistol C	2 (4%)	1 (2%)	39 (78%)	6 (12%)	2 (4%)	50
	Pistol D	0	0	6 (12%)	43 (86%)	1 (2%)	50
	Pistol E	0	0	2 (4%)	0	48 (96%)	50

Secara keseluruhannya, 90.8% imej asal telah berjaya dikelaskan kepada kelas sebenarnya berdasarkan sembilan fitur yang dipilih; manakala bagi imej melalui proses penyeragaman histogram, secara keseluruhannya 91.2% telah berjaya dikelaskan kepada kelas sebenarnya berdasarkan sebelas fitur yang telah dipilih. Merujuk Jadual 6 dan Jadual 7, peratus hasil pengelasan bagi Pistol C masih rendah berbanding dengan lain-lain pistol. Peratus hasil pengelasan bagi Pistol A dan Pistol B lebih baik bagi imej melalui proses penyeragaman histogram manakala peratus hasil pengelasan bagi Pistol D dan Pistol E lebih baik bagi imej asal.

9 Kesimpulan

Berdasar keputusan hasil pengelasan fitur, secara keseluruhannya peratus hasil pengelasan bagi imej melalui proses penyeragaman histogram tidak menunjukkan perbezaan ketara dengan imej asal. Oleh itu, imej asal sudah mencukupi bagi tujuan pengelasan kerana imej melalui proses penyeragaman histogram memerlukan sebelas fitur berbanding imej asal hanya sembilan fitur. Hasil pengelasan ini mencapai suatu tahap pengelasan yang baik dan menunjukkan bahawa fitur yang telah dikenal pasti adalah berpotensi untuk pengecaman pistol.

10 Cadangan

Walaupun secara keseluruhan peratus pengelasan melebihi sembilan puluh peratus namun bagi Pistol C peratus hasil pengelasannya masih rendah iaitu kurang daripada lapan puluh peratus. Untuk kajian selanjutnya, kajian mengestrak fitur menerusi kaedah momen ortogon Legendre adalah dicadangkan. Ini kerana fitur ekstrakan momen ortogon Legendre dihasilkan adalah ortogon maka fitur tersebut tidak berkorelasi dan tiada pertindihan maklumat berlaku [16], [23]. Di samping itu, fitur yang diperoleh daripada fitur statistik asas [30] dan fitur ekstrakan MG juga boleh digabungkan bagi kajian selanjutnya.

Penghargaan

Setinggi penghargaan ditujukan kepada Ketua Penolong Pengarah Forensik Jabatan Siasatan Jenayah, khasnya kepada DSP Abdul Rahman bin Kassim dan warga Seksyen Balistik, Makmal Forensik Polis Di Raja Malaysia kerana menyediakan data, peralatan dan tunjuk ajar bagi menjayakan penyelidikan ini.

Rujukan

- [1] E. Zakaria, *The Illustrated Guide Forensics: True Crime Scene Investigations*, Mortimer Street, London: Carlton Publishing Group, 2004.
- [2] J. Kong, D.G. Li & A.C. Watson, *A Firearm Identification System Based on Neural Network*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003, 315-325.
- [3] G. Burrard, *The Identification of Firearms and Forensic Ballistics*, London: Herbert Jenkins, 1951.
- [4] C.L. Smith, *Fireball: A Forensic Ballistics Imaging System*, Proceedings The Institute of Electrical and Electronics Engineers 31st Annual International Carnahan Conference on Security Technology, 1997, 64-70.
- [5] J. Zhou, L.-P. Xin, D.-S. Gao, C.-S. Zhang & D. Zhang, *Automated Identification for Firearms Authentication*, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference Vol (1), 2001, 749-754.
- [6] C.L. Smith, *An Intelligent Imaging Approach to the Identification of Forensic Ballistics Specimens*, Proceedings of IEEE 2001 International Conferences on Info-tech and Infonet. Conference C, 2001, 390-396.
- [7] C.L. Smith & J.M. Cross, 1995, *Optical Imaging Techniques for Ballistics Specimens to Identify Firearms*, Proceedings of the IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, 1995, 275-289.
- [8] L.-P. Xin, J. Zhou & G. Rong, *A Cartridge Identification System for Firearms Authentication*, Signal Processing Proceedings 2000, WCCC-ICSP 2000, 5th International Conference on Vol (2), 2000, 1405-1408.
- [9] F.C. Barnes, *Cartridges of The World: 10th Edition, Revised and Expanded*, East State Street, Iola: Krause Publications, Inc., 2003.

- [10] D. Li, *A New Approach for Firearm Identification with Hierarchical Neural Networks Based on Cartridge Case Images*, Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI '06), 2006, 923-928.
- [11] C.L. Smith & D. Li, *Intelligent Imaging of Forensic Ballistics Specimens For ID*, Proceedings of the IEEE Congress on Image and Signal Processing, 2008, 37-41.
- [12] Z. Geradts, J. Bijhold, R. Hermesen & F. Murtagh, *Image matching algorithms for breech face marks and firing pins in a database of spent cartridge cases of firearms*, Forensic Science International Vol (119) 1, 2001, 97-106.
- [13] R.C. Gonzales, R.E. Wood & S.L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice-Hall, 2004.
- [14] MathWorks, *Image Processing Toolbox for Use with MATLAB: User's Guide Version 4*, Cetakan ke-4, The MathWorks, Inc., 2003.
- [15] A.K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- [16] C.-Y. Liong, *Investigation of Vision Based System for Passenger Position Recognition*, PhD thesis, Applied Mathematics and Computing Group, School of Mechanical Engineering, Cranfield University United Kingdom, 2001.
- [17] R.A. Haddad & T.W. Parsons, *Digital Signal Processing: Theory, Applications and Hardware*, Upper Saddle River, NJ: W.H. Freeman and Co., 1991.
- [18] B. Jahne, *Digital Image Processing: Concepts, Algorithms and Scientific Applications*. Fourth Edition, Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [19] G. Faouzi, D. Stephane, D. Sami & M. Rim, *Reconstructing With Geometrics Moments*, Int. Conf. on Machine Intelligence (ACIDCA-ICMI' 2005), (2005).
- [20] M.-K. Hu, *Pattern Recognition by Moment Invariants*, Proceeding of the IRE. Vol (49), 1961, 1428.
- [21] S.X. Liao & M. Pawlak, *On Image Analysis by Moments*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol (18) 3, 1996, 254-266.
- [22] M.-K. Hu, *Visual Pattern Recognition by Moment Invariants*, Proceeding of the IRE Transactions on Information Theory, Vol (8) 2, 1962, 179-187.
- [23] R. Mukundan & K.R. Ramakrishnan, *Moment Functions in Image Analysis: Theory and Applications*. Singapura: World Scientific, 1998.
- [24] J.F. Hair, W.C. Black, J.B. Babin, R.E. Anderson & R.L. Tatham, *Multivariate Data Analysis*, Edisi ke-6, Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [25] R.W. Swiniarski & A. Skowron, *Rough Set Methods in Feature Selection and Recognition*, Pattern Recognition, Vol (24) (2002), 833-849.

- [26] M. A. Hall, *Correlation based Feature Selection for Machine Learning*, PhD thesis, Department of Computer Science, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 1999.
- [27] M. Wulder, *Multivariate Statistics: Multicollinearity and Singularity*, (2006).
http://www.pfc.cfs.nrcan.gc.ca/profiles/wulder/mvstats/multicol_e.html [4 April 2008]
- [28] J. A. Schwab, *Data Analysis and Computers II: Strategy for Complete Discriminant Analysis*, (2005).
http://www.utexas.edu/courses/schwab/sw388r7/SolvingProblems/DiscriminantAnalysis_CompleteProblems.ppt [23 April 2008]
- [29] C.-H. Teh & R.T. Chin, *On Image Analysis by the Methods of Moments*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol (10) 5, 1998, 496-513.
- [30] Nor Azura Md Ghani, Liong Choong-Yeun & Abdul Aziz Jemain, *Penyaringan dan Pemilihan Fitur Statistik Asas Untuk Pengecaman Spesimen Forensik Balistik*, Sains Malaysian, Vol(38) 2, 2009, 249-260.