

Pengaruh Peningkatan Kualitas Citra Menggunakan Modifikasi Kontras Pada Kompresi Data RLE

Veronica Lusiana^{1,*}, Imam Husni Al Amin², Felix Andreas Sutanto³

Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Industri, Universitas Stikubank, Semarang, Indonesia

Email: ^{1,*}vero@edu.unisbank.ac.id, ²imam@edu.unisbank.ac.id, ³felix@edu.unisbank.ac.id

Email Penulis Korespondensi: vero@edu.unisbank.ac.id

Submitted: 08/06/2022; Accepted: 30/06/2022; Published: 30/06/2022

Abstrak—Kompresi data diperlukan sehingga kebutuhan untuk media penyimpanan dan waktu transfer data menjadi lebih efisien. Penelitian ini melakukan kompresi data citra menggunakan metode run-length encoding (RLE). Data uji adalah citra asli (gray scale) dan citra hasil peningkatan kualitas citra (image enhancement) menggunakan modifikasi kontras. Modifikasi kontras menggunakan metode peregangan kontras (contrast stretching). Melalui percobaan ingin mengetahui sejauh mana metode RLE bekerja kurang efektif untuk citra dengan intensitas warna yang kompleks. Citra hasil modifikasi kontras memiliki intensitas warna lebih kompleks atau nilai piksel yang lebih bervariasi. Diperoleh jumlah pasangan (p, q) RLE pada citra hasil modifikasi kontras lebih sedikit dibandingkan dengan citra aslinya, dengan rasio pasangan (p, q) RLE berkisar 0.64% sampai dengan 1.59%. Meskipun citra ini memiliki nilai piksel yang lebih bervariasi dibandingkan citra aslinya, tetapi dapat menghasilkan rasio kompresi jumlah pasangan (p,q) RLE.

Kata Kunci: Image Enhancement; Contrast Stretching; Run-Length Encoding; Kompresi Data

Abstract—Data compression is needed so that the need for storage media and data transfer time becomes more efficient. This study compressed image data using the Run-Length Encoding (RLE) method. The test data is the original image (gray scale) and the image results of improving image quality (image enhancement) using contrast modification. Modification of contrast using contrast stretching methods. Through experiments wanting to know the extent to which the RLE method works less effectively for images with complex color intensity. The image of contrast modification results has a more complex color intensity or more varied pixel value. Obtained the number of pairs (p, q) RLE in the image of contrast modification results is less than the original image, with the pair ratio (p, q) RLE ranges from 0.64% to 1.59%. Although this image has a more varied pixel value than its original image, it can produce a compression ratio of the number of pairs (p, q) RLE.

Keywords: Image Enhancement; Contrast Stretching; Run-Length Encoding; Data Compression

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan media penyimpan data dan frekuensi perpindahan data atau transfer data antar perangkat digital semakin tinggi. Data dapat berupa teks, suara, citra, video, dan multimedia. Agar dapat mengurangi waktu proses transfer data dan menghemat ruang pada media penyimpan maka dapat dilakukan dengan cara mengkompresi data. Data hasil proses kompresi menjadi berukuran lebih kecil dari data aslinya [1]. Kompresi data dibutuhkan untuk efisiensi kebutuhan media penyimpan dan waktu transfer data agar lebih singkat.

Citra yang dihasilkan oleh kamera digital menjadi semakin besar dimensi dan kebutuhan untuk menyimpan filenya. Proses awal atau pra-proses yang biasa dilakukan adalah peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) untuk mengkondisikan citra menjadi lebih baik [2][3]. Penelitian ini akan melakukan peningkatan kualitas citra menggunakan modifikasi kontras, dilanjutkan dengan mengamati hasil kompresi pada data citra tersebut. Kompresi menggunakan metode *run-length encoding* (RLE) [4]. Peningkatan kualitas citra menggunakan metode peregangan kontras (*contrast stretching*).

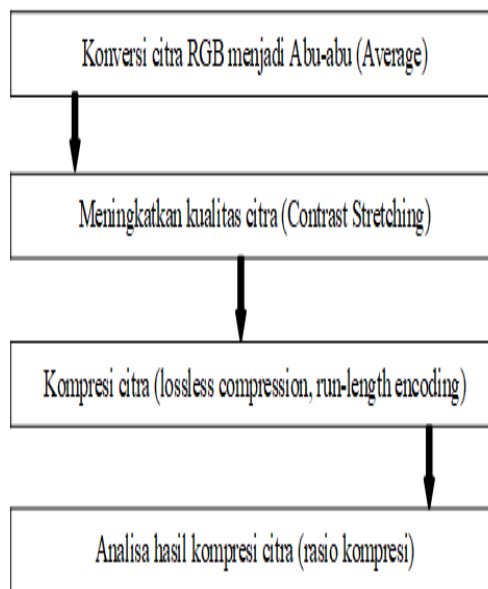
Berikut ini adalah berapa hasil penelitian mengenai *lossless compression*, penerapan metode RLE, peningkatan kualitas citra, dan metode peregangan kontras. Penelitian mengenai modifikasi atau peningkatan kontras [5][6][7]. Penelitian mengenai penerapan RLE [8][9], penerapan algoritma kompresi *lossless compression* [10][11][12], dan algoritma kompresi *lossy compression* [13]. Penerapan metode *contrast limited adaptive histogram equalization* dapat meningkatkan kualitas kontras citra yang cenderung gelap pada citra paru-paru. Metode ini mampu menampilkan detail obyek pada citra secara lebih baik sehingga lebih mudah diamati [5]. Teknik *brightness adjustment* dapat dilakukan untuk memperbaiki kontras citra. Teknik ini diterapkan pada sistem monitoring pantai. Penerapan teknik ini mampu meningkatkan akurasi ekstraksi garis pantai [6].

Penerapan metode RLE untuk mengkompresi atau memampatkan file audio. Masukan dalam sistem ini adalah file audio MP3. Terdapat tahap kompresi dan dekompresi [8]. Tahap kompresi bertujuan untuk memampatkan file MP3, sedangkan tahap dekompresi bertujuan untuk mengembalikan file hasil kompresi ke bentuk aslinya. Kompresi data metode RLE pada citra RGB (*Red, Green, Blue*) dan citra abu-abu (*gray scale*) oleh Lu'luilmaknun dan Salsabila. Metode ini cocok digunakan untuk karakter yang berulang, efektif mengkompresi citra yang memiliki banyak perulangan warna atau berurutan sama pada piksel-pikselya. Sebaliknya, metode RLE kurang efektif untuk citra dengan intensitas warna yang kompleks [9]. Secara khusus, penelitian ini ingin mengetahui rasio kompresi metode RLE terhadap citra asli dan citra hasil modifikasi kontras yang memiliki intensitas warna lebih kompleks atau nilai piksel lebih bervariasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan konversi citra RGB menjadi abu-abu. Dilanjutkan dengan modifikasi kontras untuk meningkatkan kualitas citra menggunakan metode *contrast stretching*. Berikutnya adalah kompresi citra menggunakan metode *run-length encoding* (RLE). Proses terakhir adalah analisa hasil kompresi citra. Tahapan penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahap Penelitian

Mengubah citra berwarna RGB (*Red, Green, Blue*) menjadi citra abu-abu (*gray scale*) dapat dilakukan dengan cara memperoleh nilai piksel abu-abu pengganti untuk seluruh luasan citra RGB. Setiap nilai piksel abu-abu diperoleh dari rata-rata (*average*) jumlah nilai intensitas warna merah, hijau, dan biru yang menyusun citra RGB di posisi piksel yang sama. Dilanjutkan dengan modifikasi kontras untuk meningkatkan kualitas citra abu-abu yang telah diperoleh menggunakan metode peregangan kontras (*contrast stretching*). Kontras pada sebuah citra adalah berhubungan dengan distribusi intensitas piksel.

Kompresi data dilakukan pada citra hasil modifikasi kontras dan citra asli menggunakan metode RLE. Proses analisa hasil kompresi terhadap kedua jenis citra tersebut fokus pada rasio kompresi pasangan (p,q) RLE. Rasio kompresi dapat dihitung dengan cara, rasio kompresi = $100\% - (\text{ukuran citra hasil kompresi} / \text{ukuran citra semula} \times 100\%)$. Semakin sedikit jumlah pasangan (p, q) RLE yang dihasilkan maka ukuran data hasil kompresi semakin kecil sehingga menghasilkan rasio kompresi yang semakin besar.

2.2 Kompresi Menggunakan Metode Run-Length Encoding (RLE)

Data hasil proses kompresi dibagi menjadi dua kategori yaitu data dapat dikembalikan menjadi bentuk data asli (*lossless compression*) atau sebaliknya yaitu tidak dapat dikembalikan menjadi bentuk data aslinya (*lossy compression*). Citra hasil kompresi jenis *lossless compression* dapat dikembalikan ke bentuk citra aslinya melalui proses dekompresi [14]. Contoh metode kompresi jenis ini antara lain Huffman, RLE (*run-length encoding*), dan LZW (*Lempel-Ziv-Welch*). Metode ini cocok diterapkan pada citra dimana isi atau informasi didalamnya tidak boleh hilang atau berkurang kualitasnya akibat proses kompresi. Pada *lossy compression*, data citra hasil kompresi tidak dapat dikembalikan ke bentuk citra aslinya, disini terdapat penurunan kualitas atau sebagian informasi yang hilang. Penurunan kualitas berarti citra hasil kompresi akan berkurang detail obyeknya, namun masih bisa dinikmati oleh indra penglihatan kita. Contoh metode kompresi jenis ini antara lain JPEG, MPEG, nilai rata-rata sub-daerah citra [15], dan metode kuantisasi [16].

Kompresi menggunakan metode RLE dapat dilakukan terhadap kelompok data yang memiliki nilai sama atau mengandung duplikasi data. Metode ini melakukan kompresi data citra yang memiliki nilai piksel berderajat keabuan sama dengan posisi berdekatan, berkelompok, atau dalam satu baris. Duplikasi pada data citra adalah:

- a. Suatu piksel dengan piksel tetangganya jika memiliki intensitas sama.
- b. Citra dengan banyak bagian (*region*) yg memiliki nilai intensitas sama.

Diawali dengan membuat rangkaian pasangan nilai (p, q) untuk setiap baris pada data citra. Dengan p adalah jumlah piksel berurutan (*run-length*) yang memiliki derajat keabuan q atau nilai warna piksel q. Sebagai ilustrasi metode RLE, terdapat sebuah citra asli yaitu Citra R1 memiliki dimensi 10x10 piksel dengan 8 derajat keabuan. Komposisi Citra R1 seperti pada Gambar 1, memiliki nilai warna piksel antara 0 sampai dengan 7.

4	4	4	4	3	3	3	3	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
0	0	0	0	0	2	2	2	2	2
3	3	4	4	3	2	2	2	1	1
2	2	6	0	0	0	0	1	1	0
3	3	3	5	5	7	7	7	7	6
3	3	3	2	2	2	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Gambar 1. Komposisi Citra R1

Berikut ini adalah proses RLE pada Citra R1, yaitu mencatat pasangan nilai (p, q) untuk seluruh baris citra.

Baris 1 (4, 4), (4, 3), (2, 2)

Baris 2 (10, 1)

Baris 3 (3, 0), (4, 1), (3, 2)

Baris 4 (5, 0), (5, 2)

Baris 5 (2, 3), (2, 4), (1, 3), (3, 2), (2, 1)

Baris 6 (2, 2), (1, 6), (4, 0), (2, 1), (1, 0)

Baris 7 (3, 3), (2, 5), (4, 7), (1, 6)

Baris 8 (3, 3), (3, 2), (4, 1)

Baris 9 (4, 1), (3, 0), (3, 2)

Baris 10 (8, 0), (2, 1)

Diperoleh total 31 pasang nilai (p, q).

Kebutuhan penyimpanan citra asli 10x10 piksel dengan 8 derajat keabuan (3 bit) adalah 100x3 bit = 300 bit. Citra asli 3 bit dapat menyimpan nilai intensitas derajat keabuan 0 sampai dengan 7.

Kebutuhan penyimpanan catatan kompresi RLE adalah (31 x 4 bit) + (31 x 3 bit) = 217 bit. Nilai 4 bit diperoleh dari cacah piksel berurutan yang tertinggi yaitu 10, hasil pembacaan citra baris ke 2. Nilai 10 (desimal) disimpan dalam bentuk biner membutuhkan ruang penyimpanan sebesar 4 bit. Rasio hasil kompresi yaitu:

$$100\% - (217/300 \times 100\%) = 27,67\%.$$

Kebutuhan menyimpan catatan kompresi RLE adalah lebih kecil 27,67% dibandingkan dengan citra aslinya.

2.3 Peningkatan Kualitas Citra Menggunakan Contrast Stretching

Peregangan kontras (*contrast stretching*) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki atau peningkatan kualitas citra melalui operasi titik [17]. Di sini jangkauan intensitas adalah 0 sampai dengan 255. Citra dengan kontras rendah yaitu citra yang memiliki distribusi intensitas sempit, sebagian besar nilai intensitas piksel cenderung tidak menyebar. Secara umum kondisi ini menyebabkan obyek tidak terlalu jelas, citra terlalu gelap atau sebaliknya terlalu terang. Citra dengan kontras yang baik yaitu citra yang memiliki distribusi intensitas lebar [7]. Metode yang sering dipakai

untuk peregangan kontras adalah ekualisasi histogram (*Histogram Equalization*) yaitu untuk menghasilkan histogram yang lebih merata [18], seperti dapat dilihat pada persamaan (1).

$$h(v) = \text{round} \left(\frac{cdf(v) - cdf_{min}}{(M \cdot N) - cdf_{min}} \cdot (L - 1) \right)$$

(1)

Keterangan:

v : nilai piksel yang ingin dicari penggantinya.

cdf(v) : fungsi distributif kumulatif untuk nilai v.

cdfmin : nilai minimum dari distribusi kumulatif.

MxN : piksel penyusun citra, dengan M jumlah kolom dan N jumlah baris.

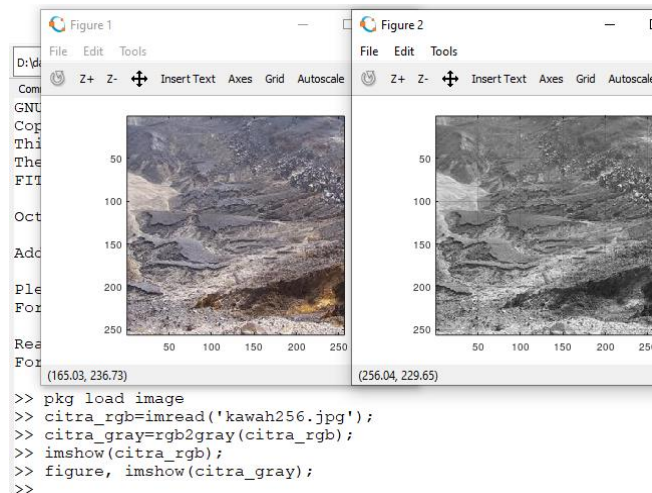
L : cacah abu-abu yang dapat digunakan, pada citra abu-abu 8 bit maka L = 256.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan enam buah file citra uji dengan tiga macam dimensi yaitu 90x90, 256x256, dan 512x512 piksel. Ukuran file bervariasi yaitu kurang dari 10 KB sampai dengan lebih dari 200KB, seperti dicatat pada Tabel 1. Citra abu-abu diperoleh dengan cara mengubah citra RGB menggunakan fungsi *rgb2gray()* dari paket pustaka GNU Octave [19]. Pada Gambar 3 dapat dilihat contoh dan hasil penggunaan fungsi *rgb2gray()*.

Tabel 1. File citra uji

No.	Nama File	Dimensi (piksel)	Ukuran (bytes)
1	beras.bmp	90X90	9.358
2	kctanah.bmp	90X90	9.358
3	kedelai.bmp	90X90	9.358
4	cameraman.tif	256X256	65.240
5	candi.bmp	256X256	66.614
6	taman.bmp	512X512	263.222

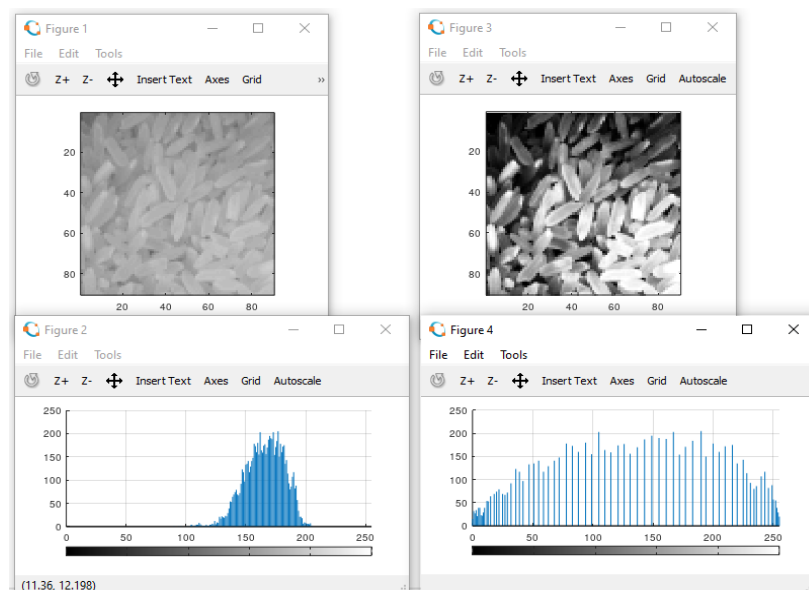


Gambar 3. Mengubah Citra RGB Menjadi Citra Abu-Abu

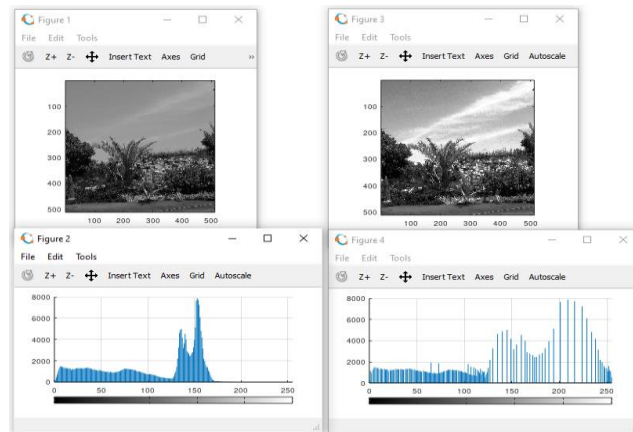
3.1 Hasil Modifikasi Kontras

Hasil modifikasi kontras menggunakan peregangan kontras dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Figure 1 dan figure 2 adalah citra asli beserta histogramnya, figure 3 dan figure 4 adalah citra hasil modifikasi kontras beserta histogramnya. Pada histogram citra hasil modifikasi kontras, nilai intensitas piksel relatif menyebar lebih merata dan frekuensi kemunculan nilai piksel menjadi lebih seimbang, dibandingkan dengan histogram citra asli.

Seperti dapat diamati pada Gambar 4 dan Gambar 5. Secara umum citra hasil modifikasi kontras terlihat lebih baik dengan obyek yang tampak lebih jelas. Pada figure 3, obyek beras terlihat lebih jelas, tekstur langit dan dinding batu tampak lebih cerah. Pada figure 4, nilai piksel yang muncul menjadi lebih bervariasi atau merata seperti terlihat di sumbu-x histogram. Jangkauan nilai piksel adalah 0 sampai dengan 255. Jangkauan histogram citra asli beras relatif sempit yaitu sebagian besar nilai piksel mengelompok dinilai piksel 140 sampai dengan 190. Jangkauan histogram citra asli taman relatif sempit yaitu sebagian besar nilai piksel mengelompok dinilai piksel 10 sampai dengan 160.



Gambar 4. Modifikasi Kontras Citra Beras.Bmp



Gambar 5. Modifikasi kontras citra taman.bmp

3.2 Implementasi proses RLE

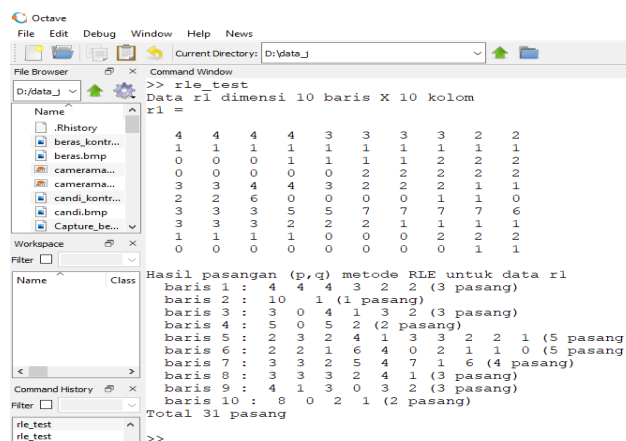
Pada Gambar 6 adalah baris perintah (*source code*) `rle_test` untuk citra `r1`. Proses RLE menggunakan pustaka fungsi Octave. Hasil pasangan (p, q) RLE citra `r1` dapat dilihat pada Gambar 7. Dimensi citra `r1` yaitu 10 baris X 10 kolom. Sepuluh baris citra `r1` menghasilkan total 31 pasangan (p, q) RLE.

```

1 function rle_test
2 %pkg load communications
3 %pkg load statistics
4 r1 = [4 4 4 4 3 3 3 3 2 2;
5       1 1 1 1 1 1 1 1 1 1;
6       0 0 0 1 1 1 1 2 2 2;
7       0 0 0 0 0 2 2 2 2 2;
8       3 3 4 4 3 2 2 2 1 1;
9       2 2 6 0 0 0 0 1 1 0;
10      3 3 3 5 5 7 7 7 7 6;
11      3 3 3 2 2 2 1 1 1 1;
12      1 1 1 1 0 0 0 2 2 2;
13      0 0 0 0 0 0 0 1 1];
14 [b_r1 k_r1]=size(r1);
15 display(['Data r1 dimensi 10 baris X 10 kolom']);
16 r1
17 display('Hasil pasangan (p,q) metode RLE untuk data r1');
18
19 pasangan=0;
20 for b=1:b_r1
21     pq=rleenco(r1(b,:)); s_pq=num2str(pq);
22     z=runlength(r1(b,:)); [size_b size_k]=size(z(1,:));
23     pasangan = pasangan + size_k;
24     display([' baris ', num2str(b), ' : ', s_pq, ' (', num2str(size_k), ' pasang)']);
25 end
26 display(['Total ', num2str(pasangan), ' pasang']); display([' ']);
    
```

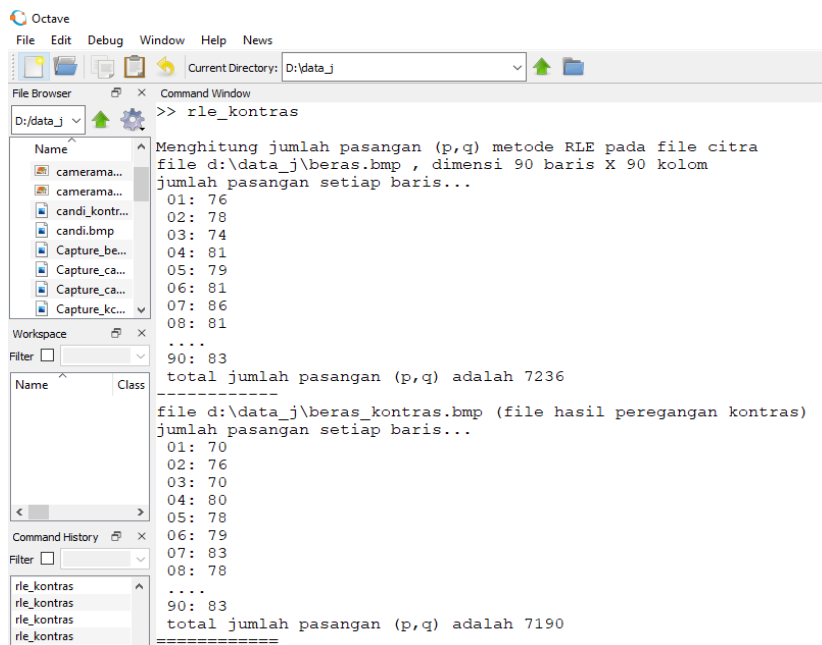
Gambar 6. Baris perintah (source code) `rle_test` untuk citra `r1`

Pada Gambar 8 adalah proses RLE untuk memperoleh pasangan (p, q) citra uji `beras.bmp` dan `beras_kontras.bmp`. Dimensi kedua citra ini adalah 90 baris X 90 kolom. Citra asli `beras.bmp` menghasilkan 7.236 pasang, sedangkan citra hasil modifikasi kontras `beras_kontras.bmp` menghasilkan 7.190 pasang. Hasil lengkap total pasangan (p, q) RLE dicatat pada Tabel 2. Jumlah pasangan (p, q) RLE untuk delapan baris pertama dan baris terakhir data citra dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Hasil pasangan (p, q) RLE untuk citra `r1`

Hasil uji dicatat pada Tabel 2. Jumlah pasangan (p,q) RLE citra hasil modifikasi kontras lebih kecil dibandingkan dengan citra aslinya, seperti dicatat pada kolom ketiga. Apabila dihitung rasio (p, q) maka berkisar 0.64% sampai dengan 1.59%. Citra hasil modifikasi kontras menggunakan peregangkan kontras memiliki variasi nilai piksel yang lebih banyak, histogram yang tampak lebih lebar seperti pada figure 4 dari Gambar 4 dan Gambar 5. Melalui hasil percobaan diperoleh rasio kompresi pasangan (p,q) RLE dengan rasio yang relatif kecil. Meskipun citra hasil modifikasi kontras memiliki variasi nilai piksel yang lebih banyak dibandingkan citra aslinya.



Gambar 8. Hasil pasangan (p, q) RLE untuk citra uji beras dan beras_kontras

Tabel 2. File citra dan jumlah pasangan (p, q) RLE

No.	File citra asli dan citra hasil peregangkan kontras	Jumlah pasangan (p, q) RLE	Rasio (p, q)
1	beras.bmp	7.236	0.64%
	beras_kontras.bmp	7.190	
2	kctanah.bmp	7.632	1.21%
	kctanah_kontras.bmp	7.540	
3	kedelai.bmp	7.636	0.79%
	kedelai_kontras.bmp	7.576	
4	cameraman.tif	55.392	1.59%
	cameraman_kontras.tif	54.510	
5	candi.bmp	63.145	1.11%
	candi_kontras.bmp	62.442	
6	taman.bmp	201.119	0.90%
	taman_kontras.bmp	199.314	

4. KESIMPULAN

Proses modifikasi kontras menggunakan peregangkan kontras dapat meningkatkan kualitas citra. Citra hasil modifikasi kontras memiliki tampilan visual yang lebih baik dengan obyek tampak lebih jelas. Pada grafik histogram citra hasil modifikasi kontras, terjadi proses distribusi ulang intensitas piksel sehingga nilai piksel lebih tersebar merata. Demikian halnya dengan frekuensi kemunculan piksel menjadi lebih seimbang. Nilai piksel pada citra hasil modifikasi kontras menjadi lebih bervariasi, namun masih dapat menghasilkan rasio kompresi jumlah pasangan (p,q) RLE yaitu antara 0.64% sampai dengan 1.59%.

REFERENCES

[1] Y.Q. Shi, H. Sun, Image and Video Compression for Multimedia Engineering, Fundamentals, Algorithms, and Standards Third Ed., CRC Press, 2019.

[2] A. Kadir dan A. Susanto, Teori Dan Aplikasi Pengolahan Citra, Yogyakarta: Penertbit Andi, 2013.

[3] V. Lusiana, B. Hartono, "Praproses Citra Menggunakan Kompresi Citra, Perbaikan Kontras, dan Kuantisasi Piksel," Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasi Komputer (SINTAK) 2017 Fakultas Teknologi Informasi Universitas Stikubank, Hal. 212-216, 2017.



- [4] K. Sayood, *Introduction to Data Compression Fifth Ed.*, Morgan Kaufmann, 2018.
- [5] F.H. Lubis, M. Syahrizal, K. Tampubolon, S. Sinurat, "Peningkatan Kontras Menggunakan Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Pada Citra Paru-Paru Yang Kecanduan Rokok," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, Vol. 8, No. 1, Hal. 15–19, 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.30865/jurikom.v7i5.2284>.
- [6] I.M.R.P. Yasa, I.M.O. Widyantara, N.M.A.E.D. Wirastuti, "Perbaikan Kontras Citra Menggunakan Teknik Brightness Adjustment untuk Sistem Ekstraksi Garis Pantai," *E-Journal SPEKTRUM*, Vol. 4, No. 2, Hal. 42-47, 2017, DOI: <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2017.v04.i02.p06>.
- [7] B. Hartono, V. Lusiana, "Analisa Teknik Adaptive Histogram Equalization dan Contrast Stretching untuk Perbaikan Kualitas Citra," *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, Vol. 19, No. 1, Hal. 1-10, 2014, DOI: <https://doi.org/10.35315/dinamik.v19i1.4083>.
- [8] D.W.M. Simamora, G. Ginting, Y. Hasan, "Implementasi Algoritma Run Length Encoding Pada Kompresi File Mp3," *Jurnal Riset Komputer (JURIKOM)*, Vol. 3, No. 4, Hal. 5-9, 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.30865/jurikom.v3i4.330>
- [9] U. Lu'luilmaknun, N.H. Salsabila, "Penggunaan Metode Run-Length Encoding Untuk Kompresi Data," *Prosiding Seminar Matematika dan Pendidikan Matematika UNY 2017*, Hal. PT273 - PT280, 2017.
- [10] D.A. Depika dan S.D. Nasution, "Penerapan Algoritma Punctured Elias Codes Dalam Kompresi Citra," *Jurnal Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, Vol. 2, No. 2, Hal. 176-187, 2020, DOI: <https://doi.org/10.47065/bits.v2i2.301>.
- [11] K. Geofandy, E.A. Nathaniel, H. Agung, "Kompresi File Menggunakan Konversi Biner Hexadecimal dan Algoritma Huffman Encoding," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, Vol. 5, No. 3, Hal. 36-46, 2019, DOI: <https://doi.org/10.33197/jitter.vol5.iss3.2019.295>.
- [12] T.R. Silviani, A. Arfiana, "Teknik Kompresi Citra Menggunakan Metode Huffman," *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNY 2016*, Hal. MA93-MA100, 2016.
- [13] S.I. Murpratiwi, I.M.O. Widyantara, "Pemilihan Algoritma Kompresi Optimal Untuk Citra Digital Bitmap," *Jurnal Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 17, No. 1, Hal. 94 - 101, 2018, DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2018.v17i01.P13>.
- [14] S.D. Nasution, "Data Compression Using Stout Codes," *The IJICS (International Journal of Informatics and Computer Science)*, Vol. 3, No. 1, P. 28-33, 2019, DOI: <http://dx.doi.org/10.30865/ijics.v3i1.1362>.
- [15] B. Hartono, V. Lusiana, I.H. Al Amin, "Mengubah Dimensi Citra dengan Modifikasi Nilai pada sub-Daerah Citra," *Proceeding SENDIU 2020 Universitas Stikubank*, Hal. 167-172, 2020.
- [16] C.F. Sianturi, "Perancangan Perangkat Lunak Kompresi Citra RGB (Red, Green, Blue) dengan Menggunakan Metode Kuantisasi," *Jurnal Pelita Informatika*, Vol. 6, No. 2, Hal. 210-212, 2017.
- [17] P. Chyan, "Metode Modifikasi Histogram Untuk Peningkatan Kontras dan Kecerahan Citra," *JSAI (Journal Scientific and Applied Informatics)*, Vol. 1, No. 3, Hal. 76-80, 2018, DOI: <https://doi.org/10.36085/jsai.v1i3.64>.
- [18] R.C. Gonzalez dan R.E. Woods, *Digital image processing*, 3rd ed, Prentice Hall, 2008.
- [19] J.W. Eaton, D. Bateman, S. Hauberg, R. Wehbring, *the Octave (version 5.1.0) documentation fifth edition*, GNU Octave, 2019.