

PENERAPAN KOMPRESI CITRA DIGITAL DENGAN METODE KUANTISASI WARNA MENGGUNAKAN ALGORITMA K-MEANS PADA WEBSITE PEDULI SEKITAR

Sara Famayla Florentin¹⁾, Muhammad Ainur Rony, S.Kom., M.T.I²⁾

¹⁾Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur

^{1,2)}Jl. Raya Ciledug, Petukangan Utara, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12260

E-mail : sarafamayla@gmail.com¹⁾, ainur.rony@gmail.com²⁾

Abstrak

*Peduli Sekitar memiliki permasalahan dimana server nya memiliki kapasitas penyimpanan yang terbatas. Sedangkan sekarang ini ukuran data multimedia seperti citra semakin besar ukurannya. Ukuran dari server Peduli Sekitar adalah 40GB dengan pengguna lembaga sosial untuk sekarang ini sebanyak 78. Sudah tersimpan 8.1MB data citra dari pengguna, dengan ukuran antara 7.8 MB hingga 4.3 MB. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah dengan melakukan pemampatan (kompresi). Kompresi yang akan digunakan adalah kompresi dengan metode kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means. Metode kuantisasi warna dengan algoritma k-means menggunakan jarak square euclidean untuk pengukuran jarak pada setiap data dengan Centroid, Centroid merupakan titik pusat yang merepresentasikan kelompok/kluster warna. Penulis mengimplementasikan kompresi pada pendaftaran Lembaga Sosial di website Peduli Sekitar. Dimana saat mendaftar, Lembaga Sosial harus mengunggah citra Lembaga Sosial itu sendiri. Nanti nya citra ini akan dipakai kembali oleh web admin peduli sekitar untuk penentuan apakah Lembaga Sosial yang mendaftar valid atau tidak, serta aplikasi mobile Peduli Sekitar Demawan dan Lembaga Sosial. Setelah dilakukan uji coba, dapat disimpulkan bahwa kompresi citra digital dengan metode kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means dapat menghasilkan rata-rata rasio kompresi citra sebesar 62,23 % dengan format citra *.jpg/*.jpeg dan 80,14% dengan format citra *.png.*

Kata kunci: Kompresi ,k-means, Kuantisasi, Citra

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi informasi, multimedia juga ikut berkembang. Multimedia dapat berupa text, citra, audio, dan video. Citra merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam penyajian data dan informasi visual. Pada umumnya dalam merepresentasikan citra membutuhkan tempat penyimpanan yang cukup besar.

Pada website Peduli Sekitar terdapat proses pendaftaran Lembaga Sosial, yang membutuhkan data citra dari Lembaga Sosial. Data tersebut akan disimpan pada server Peduli Sekitar. Kapasitas server Peduli Sekitar adalah 40 GB. Memiliki user Lembaga Sosial sebanyak 78, dengan paling kecil menyimpan citra dengan ukuran 7.8 KB dan, paling besar menyimpan 4.3 MB. Total citra yang sudah tersimpan pada server Peduli Sekitar adalah 81 MB. Data citra yang ada pada server Peduli Sekitar memiliki informasi. Namun pada suatu data terdapat bagian yang berulang – ulang untuk mewakili informasi yang sama. Hal ini membuat ruang untuk menyimpan data pada server menjadi kurang efisien. Salah satu solusi dari permasalahan ini adalah dengan melakukan pemampatan citra.

Dengan proses kompresi citra, ukuran data citra menjadi lebih kecil. Sehingga ruang untuk menyimpan data menjadi lebih efisien. Salah satu metode kompresi citra adalah menggunakan metode kuantisasi warna dengan algoritma k-means.

Berdasarkan Urian diatas penulis dapat merumuskan masalah yang akan dibahas dalam

penelitian ini, yaitu bagaimana cara mengkompresi citra dengan metode kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means? Dan seberapa besar rasio kompresi yang dapat dihasilkan metode kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means?. Jika permasalahan sudah diselesaikan maka akan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yaitu dapat menghemat tempat penyimpanan pada server Peduli Sekitar. Dengan cara mengkompresi citra digital menggunakan metode kuantisasi warna dengan algoritma k-means pada citra yang di upload oleh lembaga sosial saat mendaftar di website Peduli Sekitar. Sehingga citra yang di upload menjadi lebih kecil ukurannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pengertian Citra Digital

Citra digital merupakan citra yang diolah oleh komputer, sebuah citra digital berisi nilai – nilai real maupun kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu. Pengolahan yang dapat dilakukan terhadap citra digital antara lain adalah menampilkan bentuk gambar, melakukan perubahan terhadap gambar (*image editing*), dan percetakan citra digital keatas media berupa kertas.

Citra digital terdiri dari pixel-pixel berukuran kecil yang membentuk suatu gambar yang dapat dilihat oleh mata manusia. Setiap pixel mewakili tidak hanya 1 titik dalam sebuah citra melainkan sebuah bagian berupa kotak yang merupakan bagian terkecil (sel). Semakin tinggi resolusi citra maka akan semakin tinggi pula tingkat detail dari citra tersebut.

Sebuah citra *digital* dalam sebuah komputer dinyatakan dalam bentuk matriks 2D, dimana elemen matriks disebut pixel dan nilai dari setiap elemen matriksnya menyatakan intensitas atau warna. Gambar 2.1 merupakan bentuk matrik dari suatu citra digital. Bila matriks ini mewakili sebuah citra *graylevel*, maka nilai elemen matriks (pixel) menyatakan tingkat keabuan citra. Namun, bila matriks ini mewakili sebuah citra berwarna, maka nilai elemen matriks menyatakan warna.

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

Gambar 1. Representasi Matrik Citra Digital

2.2. Jenis - Jenis Citra Digital

Berdasarkan nilai pixelnya citra *digital* dapat dibedakan menjadi :

a. Citra Biner

Citra yang terdiri dari 2 macam warna saja hitam dan putih, atau biasa disebut dengan citra monokrom. Hanya dibutuhkan 1 bit untuk mewakili nilai setiap pixel dari citra ini.

b. Citra *Grayscale*

Hanya memiliki 1 nilai kanal pada setiap pixelnya. *Red, Green, Blue* memiliki tingkat intensitas yang sama. Warna yang dimiliki citra ini adalah hitam, keabuan, dan putih.

c. Citra Warna

RGB adalah suatu model warna yang terdiri dari merah, hijau, dan biru, digabungkan dalam membentuk suatu susunan warna yang luas [1]. Setiap pixel dari citra warna hanya diwakili oleh 8 bit dengan jumlah warna maksimum yang dapat digunakan adalah 256 warna

2.3. Kompresi Data Citra

Kompresi Citra adalah kompresi data yang dilakukan terhadap citra digital dengan tujuan untuk mengurangi redundansi dari data yang terdapat dalam citra sehingga dapat disimpan atau ditransmisikan secara efisien. Hal ini nantinya akan berpengaruh pada waktu pengiriman citra yang menjadi lebih singkat. Secara umum kompresi dapat dibagi menjadi dua berdasarkan kandungan informasi pada citra hasil yaitu kompresi *lossless* dan kompresi *lossy*.

Pada kompresi *lossless* informasi yang terkandung pada citra hasil sama dengan informasi pada citra asli. Citra hasil proses kompresi dapat dikembalikan secara sempurna menjadi citra asli, tidak terjadi kehilangan informasi, tidak terjadi kesalahan informasi. Oleh karena itu metode ini disebut juga *error free compression*. Sedangkan kompresi *lossy* dalam prosesnya mengijinkan terjadinya kehilangan sebagian data tertentu dari sebuah citra, sehingga dapat menghasilkan rasio kompresi yang tinggi. Apabila citra yang sudah dikompresi direkonstruksi kembali maka hasilnya

tidak sama dengan citra aslinya, tetapi informasi tidak sampai berubah atau hilang.

Ada beberapa pendekatan citra yang dapat digunakan untuk melakukan kompresi antara lain:

a. Pendekatan Statistik

Kompresi citra berdasarkan pada derajat keabuan(*gray level*) dari pixel – pixel dalam keseluruhan citra.

b. Pendekatan Ruang

Kompresi citra yang memiliki kelompok-kelompok pixel berderajat keabuan yang sama.

c. Pendekatan Kuantisasi

Kompresi citra dengan mereduksi jumlah derajat keabuan yang ada pada citra

d. Pendekatan Fraktal

Kompresi citra berdasarkan *fractal generating function*

e. Pendekatan Transformasi Wavelet

2.4. Rasio Kompresi Citra

Rasio Kompresi Citra adalah ukuran persentase citra yang telah berhasil dimampatkan . Secara matematis rasio pemampatan citra dituliskan sebagai berikut.

$$Rasio\ kompresi = 100\% - \left(\frac{ukuran\ citra\ hasil\ kompresi}{ukuran\ citra\ semula} \right) \times 100\% \tag{2.1}$$

Misalkan rasio kompresi adalah 50% , ini berarti 50% dari citra semula telah berhasil dimampatkan [2].

2.5. Kuantisasi Warna

Metode kuantisasi bekerja dengan mengurangi jumlah intensitas warna, sehingga jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan citra berkurang. Oleh karena jumlah bit berkurang maka ukuran file menjadi lebih kecil. Dengan berkurangnya intensitas warna, ada informasi yang hilang dari citra awal. Hal ini menyebabkan metode ini termasuk dalam kompresi *lossy*, sehingga citra yang sudah dikompresi sulit didekompresi kembali.

Proses kuantisasi warna secara garis besar dibagi menjadi dua fase utama [3]:

a. Desain Palet: adalah fase untuk memilih sekumpulan warna citra yang dianggap mampu mewakili citra asli

b. Pemetaan pixel: adalah fase untuk menandai setiap pixel sesuai dengan palet. Setiap pixel pada citra asli, dipetakan ke warna terdekat dalam palet.

Metode kuantisasi warna secara umum dapat dibedakan menjadi 2 kategori yaitu Metode bebas yang menggunakan palet yang telah ditentukan, bukan diambil dari suatu citra tertentu. Metode tidak bebas, palet ditentukan berdasarkan distribusi warna citra. Metode tidak bebas dikategorikan menjadi dua yakni *preclustering* (tak seragam) dan *postclustering* (seragam). Metode *preclustering* didasarkan pada analisis statistic distribusi warna citra. Metode ini diinialisasikan dengan menentukan klaster tunggal yang mengandung semua pixel citra. Metode *postclustering* diinialisasi dengan menentukan klaster tunggal N , dimana tiap klaster mengandung satu pixel citra. Yang termasuk anggota *postclustering*

antara lain : k-means, minmax, competitive learning, fuzzy c-means, BIRCH, dan self-organized map.

2.6. Algoritma K-Means

Algoritma k-means merupakan salah satu metode Data Mining yang bersifat tanpa arahan (*unsupervised*). K-means berusaha mempartisi data yang ada kedalam kluster/kelompok, sehingga data yang memiliki karakteristik sama dikelompokkan ke dalam satu kluster yang sama dan data yang memiliki karakteristik berbeda di kelompokkan ke dalam kelompok yang lain.

Secara garis besar tahapan algoritma k-means adalah :

- a. Menentukan jumlah kluster, jumlah kluster adalah jumlah kelompok data yang akan dibuat atau dihasilkan
- b. Membangkitkan *Centroid* awal. *Centroid* awal di peroleh secara acak, dan jumlah *Centroid* sebanyak kluster yang dibuat. *Centroid* awal merupakan titik pusat kluster pertama atau awal pusat kluster.
- c. Menghitung jarak data ke masing masing *Centroid*

Perhitungan jarak yang digunakan adalah *square euclidean*. Pada perhitungan jarak ini kesamaan jumlah kuadrat perbedaan tanpa akar kuadrat. Formulasnya sebagai berikut [4] :

$$d_{ij}^2 = \sum_{m=1}^p (X_{im} - X_{jm})^2 \tag{2.71}$$

- d. Kelompokkan data ke masing-masing *Centroid* berdasarkan jarak terdekat.
- e. Bangkitkan *Centroid* baru dengan menghitung rata-rata semua data dalam masing masing kluster. Formulasnya sebagai berikut [5]:

$$C = \frac{\sum m}{n} \tag{2.72}$$

- f. Ulangi langkah c, d, e hingga kondisi konvergen tercapai. Kondisi konvergen adalah ketika kelompok baru sama dengan kelompok sebelumnya.

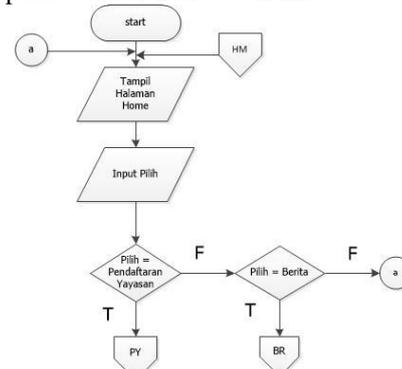
2.7. Analisis dan Penyelesaian Masalah

Pada website Peduli Sekitar terdapat proses pendaftaran Lembaga Sosial, yang membutuhkan data citra dari Lembaga Sosial. Data tersebut akan disimpan pada *server* Peduli Sekitar. Kapasitas sever Peduli Sekitar adalah 40 GB. Memiliki user Lembaga Sosial sebanyak 78, dengan paling kecil menyimpan citra dengan ukuran 7.8 KB dan, paling besar menyimpan 4.3 MB. Total citra yang sudah tersimpan pada *server* Peduli Sekitar adalah 81 MB. Data citra yang ada pada *server* Peduli Sekitar memiliki informasi. Namun pada suatu data terdapat bagian yang berulang – ulang untuk mewakili informasi yang sama. Hal ini membuat kinerja dan ruang untuk menyimpan data pada *server* menjadi kurang efisien.

Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan adanya proses kompresi pada saat lembaga sosial mendaftar pada website Peduli Sekitar. Metode kompresi yang digunakan adalah Metode Kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means pada citra. Sehingga saat data citra di simpan ke *server* Peduli Sekitar, ukuran citra sudah lebih kecil.

2.8. Flowchart dan Algoritma Program

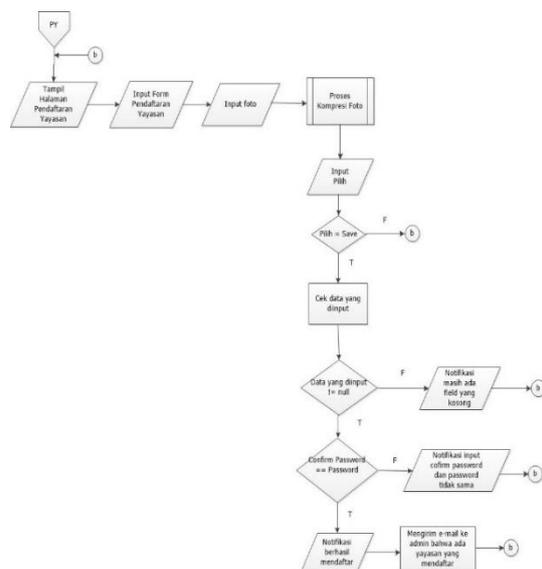
Berikut ini adalah *Flowchart* Halaman *Home*. *Flowchart* ini ditampilkan pertama setelah alamat website Peduli Sekitar dipanggil. *Flowchart* bisa dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2 : Flowchart Halaman Home

Flowchart pada Gambar 2 menjelaskan alur proses halaman *Home*. Algoritma proses halaman Home dari *flowchart* di atas :

1. Start
2. Tampil Halaman Home
3. Input Pilih
4. If Pilih = Pendaftaran Yayasan then
5. Tampilkan Halaman Pendaftaran Yayasan
6. Else If Pilih = Berita then
7. Tampilkan Halaman Berita
8. Else
9. Kembali Ke Halaman Home
10. End If
11. End

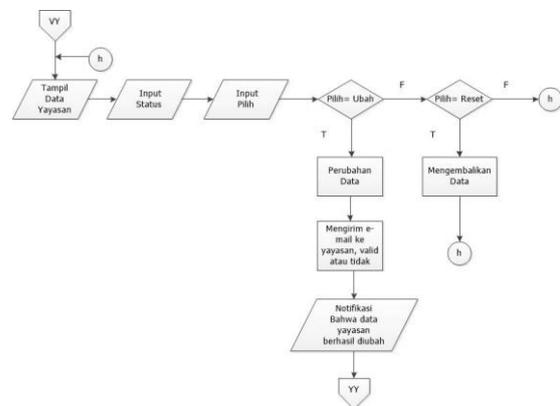


Gambar 3 : Flowchart Halaman Pendaftaran Yayasan

Flowchart pada Gambar 3 merupakan alur proses Pada halaman Pendaftaran Yayasan. Pada halaman ini terdapat proses kompresi citra. Berikut ini algoritma proses halaman pendaftaran yayasan:

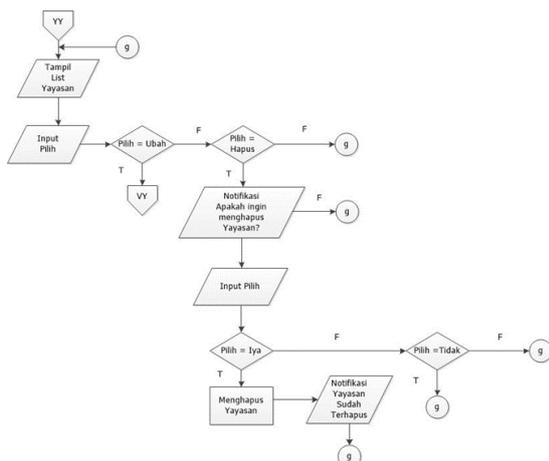
1. Tampil Halaman Pendaftaran Yayasan
2. Input Form Pendaftaran Yayasan
3. Input Foto
4. Proses Kompresi
5. Input Pilih
6. If Pilih = Simpan then
7. Cek data yang diinput
8. If Data yang diinput != null then
9. If Confirm_Password == Password then
10. Proses Simpan
11. Tampil Notifikasi “Berhasil Mendaftar”
12. Kembali ke Halaman Pendaftaran Yayasan
13. Else
14. Tampil Notifikasi “Confirm Password dan Password Tidak Sama”
15. Kembali ke Halaman Pendaftaran Yayasan
16. End If
17. Else
18. Tampil Notifikasi “Masih ada field yang kosong”
19. Kembali ke Halaman Pendaftaran Yayasan
20. End If
21. Else
22. Kembali ke Halaman Pendaftaran Yayasan
23. End if

4. Tampil Data Yayasan
5. Else If Pilih = Hapus then
6. Tampil Notifikasi “Apakah Ingin Menghapus Yayasan?”
7. Input Pilih
8. If Pilih = Iya then
9. Menghapus Yayasan
10. Tampil Notifikasi “Yayasan Sudah Terhapus”
11. Kembali Ke List Yayasan
12. Else if Pilih = Tidak then
13. Kembali Ke List Yayasan
14. Else
15. Kembali Ke List Yayasan
16. End if
17. Else
18. Kembali Ke List Yayasan
19. End If



Gambar 5 : Flowchart Halaman Validasi Yayasan

Flowchart pada Gambar 5 merupakan alur proses Pada halaman Validasi Yayasan. Pada halaman ini bisa dilihat detail informasi dari Yayasan, termasuk citra yang sudah dikompresi pada halaman pendaftaran Yayasan. Berikut ini algoritma proses halaman Validasi Yayasan:



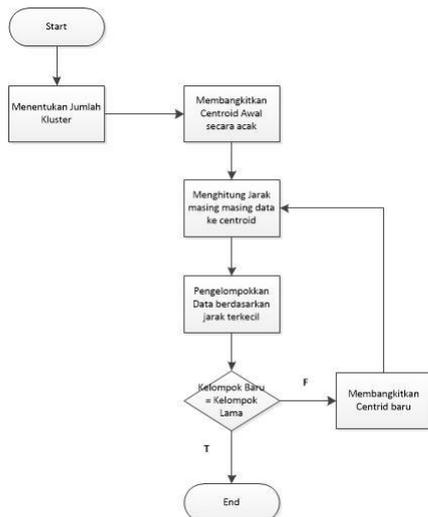
Gambar 4 : Flowchart Halaman Yayasan

Flowchart pada Gambar 4 merupakan alur proses Pada halaman Yayasan. Pada halaman ini terdapat daftar yayasan yang sudah mendaftar. Berikut ini algoritma proses halaman yayasan:

1. Tampil List Yayasan
2. Input Pilih
3. If Pilih = Ubah then

1. Tampil Data Yayasan
2. Input Status
3. Input Pilih
4. If Pilih = Ubah then
5. Perubahan Data
6. Mengirim E-mail Ke Yayasan, Valid atau Tidak
7. Tampil Notifikasi “Data Yayasan Berhasil Diubah”
8. Kembali Ke List Yayasan
9. Else If Pilih = Reset then
10. Mengembalikan Data
11. Kembali Ke Data Yayasan
12. Else
13. Kembali Ke Data Yayasan
14. End if

Flowchart pada Gambar 6 merupakan alur proses Pada halaman Validasi Yayasan. Pada halaman ini bisa dilihat detail informasi dari Yayasan, termasuk citra yang sudah dikompresi pada halaman pendaftaran Yayasan.



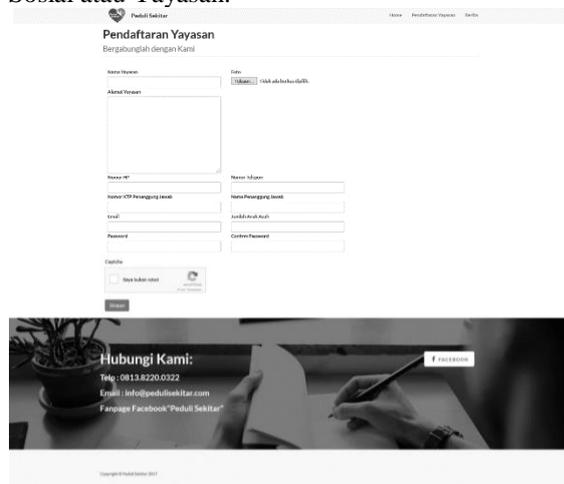
Gambar 6 : Flowchart Algoritma K-Means Berikut ini algoritma proses halaman Validasi Yayasan:

1. Start
2. Menentukan Jumlah Kluster
3. Membangkitkan *Centroid* awal secara acak
4. Menghitung jarak masing-masing data ke *Centroid*
5. Pengelompokan Data berdasarkan jarak terkecil
6. *If* kelompok baru == kelompok lama *then*
7. Selesai
8. *Else*
9. Membangkitkan *Centroid* baru
10. Kembali ke baris 4
11. *End If*
12. *End*

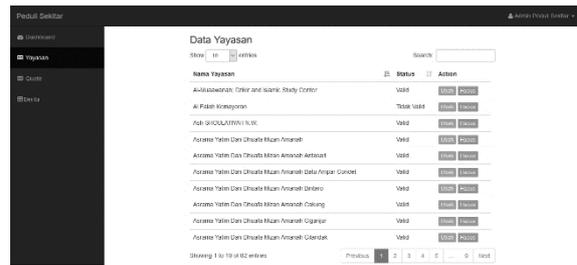
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tampilan Layar

Berikut ini adalah tampilan layar halaman Pendaftara Yayasan. Pada halaman ini terdapat proses kompresi dai citra yang diupload oleh Lembaga Sosial atau Yayasan.

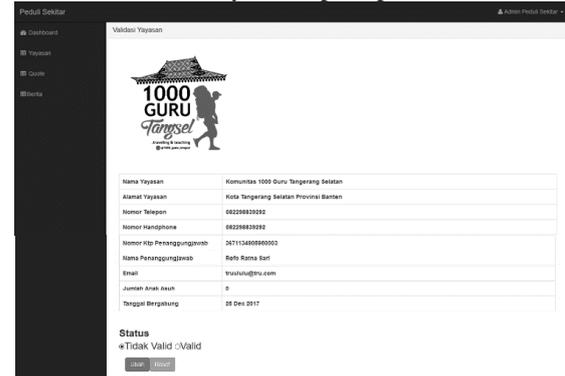


Gambar 7 : Tampilan Layar Halaman Pendaftaran Yayasan



Gambar 8 : Tampilan Layar Halaman Yayasan

Pada Gambar 8 terdapat list Yayasan / Lembaga Sosial yang sudah mendaftar pada Gambar 7. Ketika memilih tombol ubah maka akan mengarahkan ke halaman Validasi Yayasan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 : Tampilan Layar Halaman Validasi Yayasan

Pada Gambar 9 terdapat detil informasi mengenai Yayasan. Dapat ditentukan apakah Yayasan atau Lembaga Sosial ini valid atau tidak.

3.2. Pengujian Program

Program akan diuji pada citra dengan format *.jpg/*.jpeg dan *.png, masing masing format akan diuji coba menggunakan kluster dengan jumlah 5 dan 10.

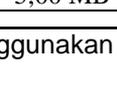
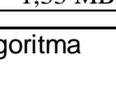
Tabel 1 : Hasil Uji Coba Citra Dengan Format Citra *.jpg/*.jpeg

For mat Citra	K	Citra Awal	Citra Hasil	Rasio Kompr esi
*.jpg/ *.jpe g	10			40,35%
				71,35%
				60,31%
				84,77%

5			-23,68%
	3,59 MB	4,44 MB	
			77,18%
	4,47 MB	1,02 MB	
			61,82%
	5,71 MB	2,18 MB	
			70,67%
	6,00 MB	1,76 MB	
			48,05%
	7,70 MB	4,00 MB	
			32,73%
	9,38 MB	6,31 MB	
			47,90%
	10,0 MB	5,21 MB	
			69,83%
11,5 MB	3,47 MB		
		75,44%	
228 KB	56,0 KB		
		81,25%	
768 KB	144 KB		
		77,95%	
1,24 MB	280 KB		
		94,53%	
2 MB	112 KB		
		19,78%	
3,59 MB	2,88 MB		
		86,37%	
4,47 MB	624 KB		

			73,56%
	5,71 MB	1,51 MB	
			82,50%
	6,00 MB	1,05 MB	
			64,16%
	7,70 MB	2,76 MB	
			54,48%
9,38 MB	4,27 MB		
		62,90%	
10,0 MB	3,71 MB		
		79,39%	
11,5 MB	2,37 MB		
Rata-Rata Rasio Kompresi			62,23%

Tabel 2: Hasil Uji Coba Citra Dengan Format Citra *.png

Form at Citra	K	Citra Awal	Citra Akhir	Rasio Komp resi
*.png	10			13,33%
		60,0 KB	52,0 KB	
				77,60%
		500 KB	112 KB	
				76,69%
		1,24 MB	296 KB	
				77,21%
		2,04 MB	476 KB	
				87,68%
		2,98 MB	376 KB	
		84,57%		
4,00 MB	632 KB			
		73,40%		
5,00 MB	1,33 MB			

5			81,83%
	6,11 MB	1,11 MB	
			79,55%
	7,04 MB	1,44 MB	
			86,96%
	8,28 MB	1,80 MB	
			92,12%
	9,67 MB	780 KB	
			89,70%
	10,1 MB	1,04 MB	
			33,33%
	60,0 KB	40,0 KB	
			83,20%
	500 KB	84,0 KB	
			83,30%
1,24 MB	212 KB		
		84,87%	
2,04 MB	316 KB		
		92,14%	
2,98 MB	240 KB		
		91,02%	
4,00 MB	368 KB		
		81,33%	
5,00 MB	956 KB		
		89,39%	
6,11 MB	664 KB		
		89,01%	
7,04 MB	792 KB		
		85,39%	
8,28 MB	1,21 MB		

		95,39%
9,67 MB	456 KB	
		94,35%
10,1 MB	584 KB	
Rata - Rata Rasio Kompresi		80,14%

3.3. Kelebihan

Ada beberapa kelebihan yang dapat dijadikan catatan, diantaranya adalah:

- Algoritma k-means yang digunakan di website Peduli Sekitar mudah untuk di implementasikan
- Waktu yang dibutuhkan untuk memampatkan citra di website Peduli Sekitar relatif cepat

3.4. Kekurangan

Ada beberapa kendala jika aplikasi ini dijalankan, diantaranya adalah:

- Gambar hasil kompresi dapat menjadi kurang bagus tampilannya.
- Dengan memberikan K yang tetap , jika ada gambar yang tidak cocok dengan K nya maka gambar yang dihasilkan akan bertambah besar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, dapat diambil beberapa kesimpulan:

- Hasil rata-rata rasio kompresi citra dengan metode kuantisasi warna menggunakan algoritma k-means adalah 62,23 % dengan format citra *.jpg/*.jpeg dan 80,14% dengan format citra *.png.
- Dilihat dari hasil rata-rata rasio kompresi nya citra dengan format *.png lebih banyak bagian citra nya yang terkompresi dibandingkan dengan citra dengan format *.jpg/*.jpeg.
- Semakin kecil jumlah kluster maka semakin besar rasio kompresi yang dihasilkan.
- Dengan memberikan K yang tetap , jika ada gambar yang tidak cocok dengan K nya maka gambar yang dihasilkan akan bertambah besar, sehingga rasio kompresi nya menjadi minus.

5. DAFTAR PUSTAKA

- I. W. A. Wijaya and A. Kusumadewi, "Penerapan Algoritma K-Means Pada Kompresi Adaptif Citra Medis," 2015.
- J. Bakara, "Implementasi Algoritma LZW dan Kuantisasi Dalam Kompresi Citra Digital," 2017.
- Irwanto, Y. Purwanto and R. Soelaiman, "Optimasi Kinerja Algoritma Klaterisasi K-Means untuk Kuantisasi Warna Citra," 2012.
- R. L. Maylana, "Beberapa Metode Pautan Pada Analisis Kelompok Menggunakan Jarak Euclidean dan Square Euclidean," 2014.

- [5] F. Nasari and C. J. M. Sianturi, "Penerapan Algoritma K-Means Clustering Untuk Pengelompokan Penyebaran Diare Di Kabupaten Langkat," 2016.