

Perbandingan Pewarnaan Citra Grayscale Menggunakan Metode K-Means Clustering dan Agglomerative Hierarchical Clustering

Muhammad Safrizal¹ dan Agus Harjoko²

^{1,2}Universitas Gadjah Mada; address, telp/fax of institution/affiliation

³Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: *¹muhammad.safrizal@ugm.ac.id, ²aharjoko@ugm.ac.id

Abstrak

Proses pewarnaan dengan mengolah citra grayscale menjadi citra berwarna dilakukan secara manual dengan menggunakan perangkat lunak yang berfungsi untuk menggambar. Pekerjaan seperti ini sangat mahal dan membutuhkan waktu yang banyak. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra grayscale agar hasil yang diperoleh mempunyai kualitas relatif lebih baik dari citra awal, mengimplementasikan teknik-teknik untuk memperbaiki kualitas citra dengan membuat citra yang tidak berwarna (citra grayscale) menjadi citra berwarna, membangun sebuah sistem yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas citra grayscale, dan membandingkan metode k-means clustering dan metode agglomerative hierarchical clustering dalam pewarnaan citra grayscale. Diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan keilmuan dan implementasi sistem pengolahan citra untuk peningkatan kualitas citra grayscale menjadi citra berwarna yang lebih kompleks.

Pixel dari citra berwarna dikonversi ke YIQ color space, sedangkan citra grayscale akan dihitung adalah nilai gray value. Nilai luminance (Y) dan nilai gray dari citra dikelompokkan berdasarkan kedekatan dari masing-masing pixel. Pemetaan warna dilakukan dengan mentransfer nilai chroma (I, Q) untuk ditambahkan pada nilai gray tiap pixel citra grayscale dengan melihat terlebih dahulu similaritas antara tiap pusat cluster citra berwarna dan pusat cluster citra grayscale.

Hasil yang diperoleh dalam pewarnaan citra grayscale bergantung pada jumlah cluster yang diberikan, pemilihan kategori citra warna acuan dan pengaruh citra warna acuan pada kategori yang sama. Pengujian pewarnaan berdasarkan analisa subjektif dan analisa objektif yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerapan pewarnaan citra grayscale menggunakan metode k-means clustering lebih baik dibandingkan dengan penerapan metode agglomerative hierarchical clustering.

Kata kunci: Pewarnaan citra grayscale, K-Means, Agglomerative hierarchical

1. Pendahuluan

Penggunaan citra di era multimedia semakin berkembang terutama dalam memperbaiki kualitas citra, misalnya dengan mewarnai citra *grayscale* menjadi citra berwarna. Tujuannya adalah agar memperoleh kualitas citra yang relatif lebih baik dari citra awal (citra *grayscale*) dan meningkatkan fitur agar lebih mudah untuk diinterpretasikan oleh mata manusia dengan menonjolkan ciri citra tertentu untuk kepentingan analisis atau informasi sesuai dengan tujuan pengolahan citra (Russ, 2011). Salah satu penelitian yang telah dilakukan dalam penerapan pewarnaan citra yaitu bidang kedokteran untuk analisis penyakit pada payudara seperti yang dilakukan oleh Charan dan Sinha (2010) dalam penelitiannya melakukan proses segmentasi *pixel* dari citra x-ray untuk mendapatkan pola atau region dari *pixel-pixel*. Kemudian dilakukan pewarnaan terhadap *pixel-pixel* yang tersegmentasi untuk kepentingan analisis.

Cara umum yang biasa diterapkan dalam mewarnai citra adalah menggunakan beberapa perangkat lunak design grafis. Sistem dioperasikan secara manual dengan memfungsikan

ide, akal, mata, tangan, alat gambar tangan, dan komputer ketika menginginkan sebuah konsep untuk merealisasikan bentuk visual citra warna yang diinginkan. Pendekatan ini menjadi lemah ketika digunakan oleh individu yang memiliki keterbatasan kemampuan dan pengetahuan dalam menggunakan perangkat-perangkat design grafis yang tersedia sehingga kurang efektif dan efisien.

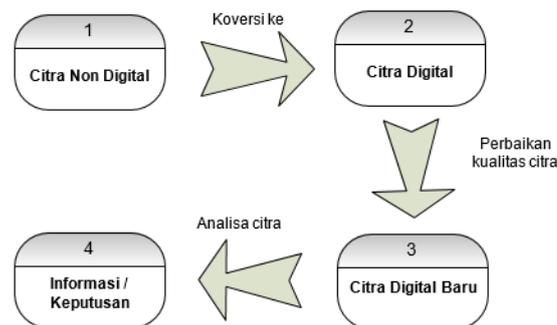
Pendekatan yang bisa ditempuh sekaligus menjadi ide untuk mewarnai citra *grayscale* adalah dengan mengekstraksi fitur warna dari citra berwarna. Akan tetapi, untuk mendapatkan warna yang cocok untuk diinterpretasikan pada citra *grayscale* secara benar membutuhkan fitur warna dari citra berwarna yang tepat sesuai dengan deskripsi citra *grayscale*. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan metode *clustering*. Metode ini digunakan untuk mengelompokkan *pixel* citra berdasarkan kedekatan nilai *pixel*. Tujuannya untuk mempermudah proses pemetaan warna terhadap kelompok-kelompok *pixel* yang terbentuk dan mengekstraksi fitur warna yang dimiliki.

2. Metode Penelitian

Pengolahan citra atau *image processing* adalah suatu metode yang digunakan untuk memproses, menganalisa, memanipulasi suatu *image* sehingga mendapatkan suatu *image* baru lebih jelas dan lebih sederhana, dengan demikian akan memudahkan pengamat citra untuk melakukan analisis Suhendra (2008). Dasar pemrosesan suatu obyek dengan menggunakan *image processing* diambil dari kemampuan indera penglihatan manusia yang selanjutnya dihubungkan dengan kemampuan otak manusia (Suhendra, 2008). Pengolahan citra digital sering dikaitkan dengan pemrosesan gambar dua dimensi oleh *computer digital* atau pemrosesan digital data dua dimensi (Putra, 2010). Umumnya, operasi-operasi pada pengolahan citra diterapkan pada citra bila:

1. Perbaikan atau memodifikasi citra perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas penampakan atau untuk menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung di dalam citra.
2. Elemen di dalam citra perlu dikelompokkan, dicocokkan, atau diukur.
3. Sebagian citra perlu digabung dengan bagian citra yang lain.

Mengolah citra merupakan kegiatan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin (komputer). Seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi pengolahan citra

Obyek nyata direpresentasikan ke bentuk digital sehingga menjadi citra digital, citra digital diolah dan keluarannya juga berupa citra tapi dengan kualitas lebih baik daripada citra masukan, misal citra warna kurang tajam, kabur (*blurring*), mengandung *noise* (misal bintikbintik putih), dan lain sebagainya sehingga perlu ada pemrosesan untuk memperbaiki

citra karena citra tersebut menjadi sulit diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan menjadi berkurang (Srini, 2009).

Proses pewarnaan citra *grayscale* dimulai dengan memilih citra *grayscale* dari direktori dan menentukan kategori citra berwarna yang digunakan sebagai acuan yang diperoleh dari referensi yang dimiliki sistem dan mengkonversikan ke bentuk *YIQ color space*. *YIQ* adalah model warna yang diusulkan oleh *National Television Systems Committee (NTSC)* dan digunakan pada televisi analog AS dengan menampilkan citra berwarna pada layar CRT (*Cathode Ray Tube*). Tujuannya adalah untuk efisiensi sistem transmisi citra berwarna dengan menggunakan jalur yang telah ada tanpa menambah lebar pita yang diperlukan dan membantu menjaga kompatibilitas dengan standar televisi monokrom [1]. Sistem *YIQ* dimaksud untuk mengambil keuntungan dari karakteristik respon manusia terhadap warna. Mata lebih sensitif terhadap perubahan pencahayaan dari perubahan warna atau saturasi dalam kisaran oranye - biru (*I*) dari kisaran ungu - hijau (*Q*) (Suhendra, 2008).

Koordinat *Y(luminance)* melambangkan intensitas, sedangkan *I (inphase)* dan *Q (quadrature)* melambangkan informasi warna (*hue* dan *saturation*). Hubungan sistem *Y, I, Q* dengan sistem *R, G, dan B* merupakan transformasi linear yang dirumuskan sebagai berikut (Putra, 2010).

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Citra *grayscale* diolah dengan mengambil nilai derajat keabuan (*gray level*) dari tiap-tiap *pixel*. *Pixel* citra (citra berwarna dan citra *grayscale*) dikelompokkan berdasarkan jumlah *cluster* yang telah ditentukan sebelumnya oleh pengguna dengan menghitung selisih *luminance pixel* dari keduanya terhadap titik pusat masing-masing citra. Pengelompokan ini bertujuan untuk membagi citra kedalam kelompok untuk melihat perbedaan intensitas *luminance* yang dimiliki oleh kedua citra tersebut.

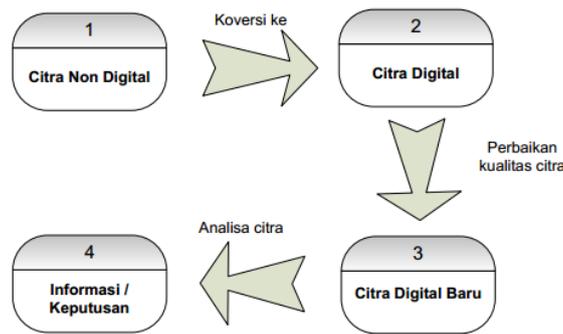
Tiap-tiap kelompok dari kedua citra (citra berwarna dan citra *grayscale*) yang telah terbentuk, dari kelompok *pixel* citra *grayscale* akan dipetakan kepada kelompok *pixel* citra berwarna dengan cara menghitung selisih terkecil nilai pusat *cluster* dari tiap-tiap kelompok *pixel* citra *grayscale* terhadap pusat *cluster* dari kelompok *pixel* citra berwarna, tujuannya adalah untuk melihat kemiripan dari kelompok *pixel* citra *grayscale* terhadap kelompok *pixel* citra berwarna. Kelompok *pixel* citra yang telah terpetakan disimpulkan bahwa diantara kedua kelompok *pixel* tersebut memiliki intensitas dan kandungan warna yang sama.

Kelompok dari *luminance pixel-pixel* pada kedua citra yang telah terpetakan menjadi panduan untuk proses pentrasferan nilai *pixel*. Adapun nilai yang ditransfer adalah nilai kromatik dari citra berwarna *I* dan *Q* akan ditambahkan kedalam susunan *pixel* citra *grayscale*. Sehingga *pixel* dari citra *grayscale* yang terbentuk mengandung nilai intensitas, dan nilai *chrome* dari warna.

Susunan baru dari citra *grayscale* akan dibentuk kedalam susunan *RGB color space* dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{bmatrix} R_n \\ G_n \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.621 \\ 1.000 & -0.273 & -0.647 \\ 1.000 & -1.104 & 1.701 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Gray \\ I \\ Q \end{bmatrix} \quad (2)$$

Hasil transformasi dari susunan citra *grayscale* baru yang memiliki nilai *RGB* akan digambarkan kembali untuk mendapatkan suatu citra. Hasil ini berupa citra *grayscale* yang telah memiliki warna. Ilustrasi proses pewarnaan citra *grayscale* diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pewarnaan citra *grayscale*

Citra *grayscale* hasil pewarnaan akan diuji kelayakan dari kualitas citra yang dihasilkan berdasarkan aspek subyektif dan obyektif. Kualitas citra merupakan karakteristik dari gambar yang mengukur degradasi citra dirasakan (biasanya, dibandingkan dengan citra ideal atau sempurna). Sistem pencitraan dapat memperkenalkan beberapa jumlah distorsi atau artefak di sinyal, sehingga penilaian kualitas merupakan masalah penting (Sheikh dan Bovik, 2005). Kriteria penilaian baikburuknya kualitas citra dilakukan secara obyektif dengan menggunakan suatu ukuran tertentu dan kriteria penilaian secara subyektif dengan berdasarkan pengamatan mata manusia (Gonzalez dan Woods, 2008).

Aspek subyektif berdasarkan atas karakteristik visual manusia yang mampu melakukan pendeteksian secara langsung. Baik buruknya citra hasil pengolahan ditentukan oleh pengamat sendiri tergantung dari persepsi visual pengamat. Penilaian ini diberikan oleh 30 koresponden supaya memiliki nilai yang valid. Sedangkan aspek obyektif berdasarkan pengukuran *error* pada citra yang diuji. Ada beberapa parameter pengukuran kesalahan atau *error* dalam pemrosesan citra. Dua parameter yang paling umum digunakan adalah *Mean Square Error (MSE)* dan *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)*. Walaupun tidak selalu berkorelasi dengan persepsi visual manusia, *MSE* merupakan ukuran yang baik untuk mengukur kesamaan 2 buah citra. *MSE* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur kesalahan dari perhitungan dengan cara menghitung rata-rata selisih kuadrat antara nilai nyata terhadap nilai hasil perhitungan (Gonzalez dan Woods, 2008). Rumus *MSE* dapat dituliskan:

$$MSE^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i,j) - g(i,j))^2 \quad (3)$$

dengan:

MSE = Nilai *Mean Square Error* dari citra

m = panjang citra (dalam *pixel*)

n = lebar citra (dalam *pixel*)

(i,j) = koordinat masing-masing *pixel*

PSNR adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. *PSNR* merupakan parameter standar untuk menilai kualitas suatu citra secara obyektif dengan membandingkan *noise* terhadap sinyal puncak. Semakin tinggi nilai *PSNR* maka hasil semakin baik. *PSNR* biasanya diukur dalam satuan *decibel* (Gonzalez dan Woods, 2008). Rumus *PSNR* adalah:

$$PSNR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4)$$

dengan:

MSE = Nilai *Mean Square Error* dari citra

PSNR = *Peak Signal to Noise Ratio*

3. Hasil Dan Pembahasan

Sistem pewarnaan citra *grayscale* dilakukan dengan dua tahap pengujian di antaranya adalah pengujian aspek subyektif dan pengujian aspek obyektif.

3.1 Pengujian Subyektif

Pengujian dilakukan secara subyektif yaitu kepada 30 koresponden yang bertindak sebagai pengguna sistem pewarnaan citra *grayscale* dengan penerapan metode *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering* dalam menentukan kualitas citra *grayscale* yang dihasilkan.

Hasil yang diperoleh dari koresponden menunjukkan bahwa tiap-tiap responden memiliki penilaian yang berbeda-beda ketika menentukan kualitas dari hasil pewarnaan citra. Penilaian yang diberikan responden terhadap keberhasilan dari sistem pewarnaan citra *grayscale* menggunakan metode *k-means clustering* berada pada kondisi “*Passable*”, artinya citra yang diamati memiliki kualitas yang cukup tinggi, dimana interferensi terasa agak mengganggu. Sedangkan penilaian diberikan responden terhadap keberhasilan dari sistem pewarnaan citra *grayscale* menggunakan metode *agglomerative hierarchical clustering* berada pada kondisi “*Marginal*” artinya citra yang diamati memiliki kualitas yang rendah, sehingga diinginkan dapat diperbaiki dan interferensi masih terasa cukup mengganggu. Perbandingan hasil pewarnaan citra *grayscale* dari pengujian subyektif diantara kedua metode dapat terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Penilaian koresponden pada penerapan metode *k-means clustering*

Responden	<i>Unuseable</i>	<i>Inferior</i>	<i>Marginal</i>	<i>Passable</i>	<i>Fine</i>	<i>Excellent</i>
1	-	-	-	*	-	-
2	-	-	-	*	-	-
3	-	-	-	*	-	-
4	-	-	-	*	-	-
5	-	-	-	-	*	-
6	-	-	-	*	-	-
7	-	-	-	-	-	*
8	-	-	-	*	-	-
9	-	-	-	*	-	-
10	-	-	-	*	-	-
11	-	-	-	*	-	*
12	-	-	-	-	*	-
13	-	-	-	*	-	-
14	-	-	-	-	*	-
15	-	-	-	*	-	-
16	-	-	-	*	-	-
17	-	-	-	-	-	*
18	-	-	-	-	-	*
19	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	*	-	-
21	-	-	-	*	-	-
22	-	-	-	*	-	-
23	-	-	-	-	*	-
24	-	-	-	*	-	-
25	-	-	-	-	*	-
26	-	-	-	*	-	-
27	-	-	-	*	-	-
28	-	-	-	*	-	-

29	-	-	-	*	-	-
30	-	-	-	-	-	*
Jumlah	0	0	0	20	5	5

Tabel 2. Penilaian koresponden pada penerapan metode *agglomerative hierarchical clustering*

Responden	<i>Unuseable</i>	<i>Inferior</i>	<i>Marginal</i>	<i>Passable</i>	<i>Fine</i>	<i>Excellent</i>
1	-	-	*	-	-	-
2	-	-	*	-	-	-
3	-	*	-	-	-	-
4	-	-	-	*	-	-
5	-	-	*	-	-	-
6	-	-	*	-	-	-
7	-	-	*	-	-	-
8	-	-	*	-	-	-
9	-	-	-	-	*	-
10	-	-	*	-	-	-
11	-	*	-	-	-	-
12	-	-	*	-	-	-
13	-	-	*	-	-	-
14	-	-	-	*	-	-
15	-	-	*	-	-	-
16	-	-	-	*	-	-
17	-	-	*	-	-	-
18	-	-	-	*	-	-
19	-	-	*	-	-	-
20	-	*	-	-	-	-
21	-	-	-	*	-	-
22	-	-	-	*	-	-
23	-	-	*	-	-	-
24	-	-	*	-	-	-
25	-	-	-	*	-	-
26	-	-	-	-	*	-
27	-	-	-	*	-	-
28	-	-	-	*	-	-
29	-	-	*	-	-	-
30	-	-	-	*	-	-
Jumlah	0	3	15	10	2	0

3.2 Pengujian Obyektif

Pengujian aspek obyektif dilakukan dengan 3 tahap pengujian, diantaranya:

1) Pengaruh jumlah cluster terhadap kualitas citra hasil.

Data masukan untuk pengujian kuantitatif terhadap pengaruh jumlah *cluster* diantaranya:

- a) Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai *cluster* yang berbeda-beda diantaranya: 5, 10, 15, dan 20.
- b) Pada tiap *cluster*, dilakukan sebanyak 5 kali pengujian.
- c) Citra acuan yang digunakan adalah citra yang tersimpan di dalam *database* pada kategori citra yang sama yang dipilih secara random.

Hasil pengujian dilihat dari pengaruh jumlah *cluster* dapat disimpulkan bahwa jumlah *cluster* akan menentukan kualitas dari citra *grayscale* hasil pewarnaan, dikarenakan fitur dari segmentasi *pixel* citra berwarna yang diekstraksi pada segmentasi *pixel* citra *grayscale*

berdasarkan kemiripan antara keduanya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bagian segmentasi *pixel* pada citra *grayscale* akan bersesuaian atau memiliki nilai warna yang sama pada segmentasi citra berwarna.

Perbedaan penggunaan metode penyelesaian antara *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering* terlihat sangat berbeda dalam mendapatkan jumlah *cluster* yang terbaik. Berdasarkan pengukuran *PSNR*, penggunaan metode *k-means clustering* mampu menghasilkan *PSNR* yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan metode *agglomerative hierarchical clustering*. Perbandingan hasil pewarnaan citra *grayscale* dari pengujian obyektif ditinjau dari pengaruh jumlah *cluster* terhadap kualitas citra diantara kedua metode dapat terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan jumlah *cluster* terhadap kualitas citra menggunakan metode *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering*

No	Kategori Citra	k-means		<i>agglomerative hierarchical</i>	
		Jumlah <i>cluster</i> terbaik	Rata-rata <i>PSNR</i>	Jumlah <i>cluster</i> terbaik	Rata-rata <i>PSNR</i>
1	Pemandangan	15	43.9845	10	35.3183
2	Tumbuhan	15	25.1023	15	27.4361
3	Hewan	20	23.0928	10	18.6632
4	Buah-buahan	10	40.2771	5	19.7512
5	Orang	10	47.2120	5	32.8123
6	Animasi	5	30.6529	5	20.7530
7	Kendaraan	15	35.2081	10	26.5386
8	Bangunan	10	32.3731	10	20.6741

2). Pengaruh pemilihan kategori citra terhadap kualitas citra hasil.

Data uji pengaruh pemilihan kategori citra acuan diantaranya :

- Kategori citra acuan yang digunakan adalah : pemandangan, animasi, orang, kendaraan, bangunan, hewan, buah-buahan, tumbuhan.
- Masing-masing kategori, akan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian
- Jumlah *cluster* yang digunakan untuk pengujian adalah 7 *cluster*
- Citra acuan yang digunakan adalah citra yang tersimpan di dalam *database* pada kategori citra yang sama yang dipilih secara random.

Hasil pengujian dilihat dari pengaruh pemilihan kategori citra acuan terhadap citra *grayscale* hasil pewarnaan dapat disimpulkan bahwa pemilihan kategori citra acuan mempengaruhi kualitas dari citra *grayscale* hasil pewarnaan. Hal ini dikarenakan nilai dari segmentasi *pixel* citra berwarna pada kategori citra acuan yang dipilih lebih sesuai dengan nilai segmentasi *pixel* citra *grayscale*, sehingga hasil implementasi dari proses pewarnaan akan lebih baik jika diterapkan pada kategori citra acuan yang lebih banyak mengandung kesesuaian warna citra acuan terhadap citra *grayscale* masukan.

Penggunaan metode penyelesaian antara *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering* terlihat sangat berbeda dalam mendapatkan kategori citra acuan terbaik. Berdasarkan pengukuran *PSNR*, penggunaan metode *k-means clustering* mampu menghasilkan *PSNR* yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan metode *agglomerative hierarchical clustering*. Selain itu juga terdapat perbedaan dari pemilihan kategori citra acuan yang terbaik, dengan metode *k-means clustering* terdapat pada kategori citra “Orang” dengan *PSNR* sebesar 48,2126, sedangkan metode *agglomerative hierarchical clustering* terdapat pada kategori citra “Pemandangan” dengan *PSNR* sebesar 35,7534. Perbandingan hasil pewarnaan citra *grayscale* dari pengujian obyektif ditinjau dari pengaruh pemilihan kategori citra acuan terhadap kualitas citra diantara kedua metode dapat terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan pemilihan kategori citra acuan terhadap kualitas citra menggunakan metode *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering*

No	Nama Kategori Citra Acuan	Rata-rata <i>PSNR</i>	
		<i>k-means</i>	<i>agglomerative hierarchical</i>
1	Pemandangan	30,4248	35.7534
2	Animasi	26,1224	23.5356
3	Orang	48,2126	29.1435
4	Kendaraan	22,6701	16,3416
5	Bangunan	34,1949	20,1246
6	Hewan	41,1985	30,5956
7	Buah-buahan	40,6747	29,3682
8	Tumbuhan	42,4877	30,3482

3. Pengaruh citra acuan terhadap kualitas citra hasil.

Data uji pengaruh pemilihan kategori citra acuan diantaranya :

- 1) Kategori citra acuan yang digunakan adalah : pemandangan, animasi, orang, kendaraan, bangunan, hewan, buah-buahan, tumbuhan.
- 2) Masing-masing kategori, akan dilakukan sebanyak 3 kali pengujian
- 3) Jumlah *cluster* yang digunakan untuk pengujian adalah 7 *cluster*
- 4) Citra acuan yang digunakan adalah citra yang tersimpan di dalam *database* pada kategori citra yang sama yang dipilih secara random.

Hasil pengujian dilihat bahwa masing-masing citra warna mempengaruhi kualitas citra *grayscale* hasil pewarnaan dalam kategori citra yang sama, dikarenakan faktor komposisi warna yang dimiliki oleh citra acuan akan sesuai atau tidak sesuai terhadap komposisi warna pada citra *grayscale* masukan berdasarkan nilai *PSNR* yang diberikan sebagai parameter ukuran. Penggunaan metode penyelesaian antara *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering* terlihat hasil yang berbeda-beda dari pengaruh citra acuan yang digunakan. Dari pengukuran *PSNR*, penggunaan metode *k-means clustering* mampu menghasilkan *PSNR* yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan metode *agglomerative hierarchical clustering*. Perbandingan hasil pewarnaan citra *grayscale* dari pengujian obyektif ditinjau dari pengaruh citra acuan terhadap kualitas citra diantara kedua metode dapat terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan pemilihan kategori citra acuan terhadap kualitas citra menggunakan metode *k-means clustering* dan *agglomerative hierarchical clustering*

No	Nama Kategori Citra Acuan	<i>k-means</i>		<i>agglomerative hierarchical</i>	
		Citra acuan terbaik	Rata-rata <i>PSNR</i>	Citra acuan terbaik	Rata-rata <i>PSNR</i>
1	Pemandangan	1	43.2499	1	42.5194
2	Animasi	6	46.2707	6	40.2039
3	Orang	3	42.9418	6	32.3859
4	Kendaraan	3	42.8634	4	24.2474
5	Bangunan	7	36.2032	4	41.0723
6	Hewan	4	45.4912	2	32.3859
7	Buah-buahan	4	40.2494	5	28.3953
8	Tumbuhan	3	40.5755	3	38.6848

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, maka diambil beberapa kesimpulan:

1. Kualitas citra *grayscale* hasil pewarnaan bergantung pada jumlah *cluster* yang diberikan dalam proses pengolahan citra, pemilihan kategori citra acuan yang ditentukan dan pengaruh dari masing-masing citra warna dalam kategori yang sama.
2. Pengujian pewarnaan berdasarkan analisa subjektif dan analisa objektif yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *k-means clustering* lebih baik dibandingkan dengan penerapan metode *agglomerative hierarchical clustering* dalam pewarnaan citra *grayscale*.

Beberapa hal yang dapat diungkapkan sebagai saran untuk perbaikan di masa yang akan datang mengenai pewarnaan citra *grayscale* diantaranya:

1. Menemukan beberapa algoritma lain yang bisa diterapkan untuk pewarnaan citra *grayscale* menjadi citra berwarna, sehingga dapat dilakukan perbandingan atau pengembangan sistem dan keilmuan dan memperoleh ketepatan hasil pewarnaan yang lebih baik.
2. Menambah beberapa jenis format citra umum yang dapat diproses dalam aplikasi.
3. Memperbesar ukuran *pixel* citra berwarna dan citra *grayscale* yang bisa diproses.

Daftar Pustaka

- Charan, BP., Sinha ,G.R., 2010, An Adaptive K-means Clustering Algorithm for Breast Image Segmentation, *Int. Journal of Computer Applications*, 10(4).
- Gonzalez, R.C., Woods, RE., 2008, *Digital Image Processing Third Edition*, Pearson Prentice Hall, London.
- Putra, D.,2010, *Pengolahan Citra Digital*, Andi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Russ, JC., 2011, *The Image Processing Handbook Sixth Edition*, CRC Press. United State.
- Sheikh, H.R., Bovik A.C., 2005, *Information Theoretic Approaces to Image Quality Assessment*. In: Bovik, A.C. *Handbook of Image and Video Processing*. Elsevier.
- Srini, 2009.,*Pengolahan Citra: Konsep Dasar*, <http://srini.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/4881/8+Olah+Citra-Konsep+Dasar.pdf>, diakses 9 Maret 2011
- Suhendra, A.,2008, *Catatan Kuliah Pengantar Pengolahan Citra*, <http://images.analyst71.multiply.com/attachment/0/Rz6-WgoKCiQAAFxBe81/Catatan%20Kuliah%20PC%202007.pdf>, diakses 9 Maret 2011