

Analisa Teknik Adaptive Histogram Equalization dan Contrast Stretching untuk Perbaikan Kualitas Citra

Budi Hartono dan Veronica Lusiana

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Stikubank Semarang

email: pakbudi@yahoo.com, verolusiana@yahoo.com

Abstrak

Citra dengan kualitas yang lebih baik akan memudahkan proses pengolahan selanjutnya. Penelitian ini akan melakukan analisa kinerja dua buah teknik yaitu ekualisasi histogram adaptif (*Adaptive Histogram Equalization*, AHE) dan perenggangan kontras (*Contrast Stretching*, CS). Kedua teknik ini dapat meningkatkan kualitas atau memperjelas objek pada citra. Teknik CS merupakan proses perbaikan citra melalui operasi titik sedangkan AHE melalui operasi spasial. Pada teknik AHE akan menggunakan 3 ukuran blok (sub-image) yaitu 2x2, 8x8, dan 16x16 piksel.

Citra uji dalam format JPEG dengan ukuran bervariasi sebanyak 12 buah memiliki kualitas tampilan yang berbeda-beda. Citra uji memiliki sebuah atau beberapa objek yang tampak jelas atau tidak begitu jelas. Variasi tingkat keredupan, kecerahan, tekstur pada latar belakang dan tekstur pada objek dapat digunakan sebagai parameter pengujian perbaikan kualitas citra.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan dalam memilih metode perbaikan kualitas citra untuk praproses pengolahan citra. Hasil ekualisasi histogram adaptif belum dapat dikatakan lebih baik dari perenggangan kontras, atau sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kondisi atau komposisi citra asli. Pada ekualisasi histogram adaptif, ukuran blok (sub-image) 2x2 dapat digunakan untuk proses perbaikan kualitas citra dan semakin besar ukuran blok (> 8x8 piksel) mengakibatkan objek menjadi semakin terdistorsi.

Kata kunci: perbaikan kualitas citra, ekualisasi histogram adaptif, perenggangan kontras.

PENDAHULUAN

Citra dengan kualitas yang lebih baik akan memudahkan proses pengolahan selanjutnya. Citra ini akan memiliki komposisi data yang lebih baik atau dapat juga secara pengamatan visual tampak menjadi lebih baik. Berdasarkan cara kerja terhadap citra yang akan ditingkatkan kualitasnya, maka perbaikan citra dapat dilakukan dengan empat cara yaitu operasi titik (*point operation*), operasi spasial (*spatial operation*), operasi geometri (*geometric operation*), dan operasi aritmetika (*arithmetic operation*) (Putra, 2010). Setiap cara tersebut di atas memiliki beberapa macam teknik.

Proses perbaikan citra pada operasi titik diperoleh dari mengubah nilai intensitas piksel dengan mempertimbangkan kondisi histogram citra. Pada operasi spasial, citra hasil perbaikan

diperoleh menggunakan operasi filter (*filtering*). Nilai piksel baru dihitung dengan mempertimbangkan juga nilai piksel di sekitarnya. Untuk operasi geometri lebih menekankan pada perbaikan atau perubahan posisi objek dan ukuran citra. Operasi aritmetika merupakan proses perbaikan citra dengan memanfaatkan operator aritmetika dan logika, antara lain: penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, logika *not*, *and*, *or*, dan *xor*.

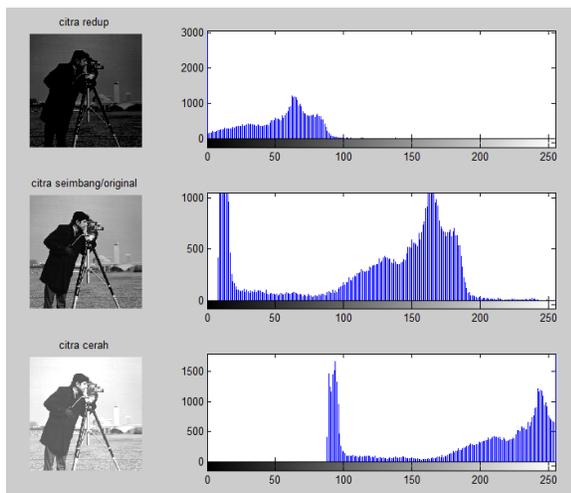
Penelitian ini akan melakukan analisis kinerja dari dua buah teknik yaitu ekualisasi histogram adaptif (*Adaptive Histogram Equalization*, AHE) dan perenggangan kontras (*Contrast Stretching*, CS). Kedua teknik ini dapat meningkatkan kualitas tampilan atau memperjelas objek yang ada di dalam citra. Teknik CS merupakan proses perbaikan citra

melalui operasi titik sedangkan AHE melalui operasi spasial. Pada teknik AHE akan menggunakan 3 ukuran blok (*sub-image*) yang berbeda yaitu 2X2, 8X8, dan 16X16 piksel.

Citra uji yang digunakan untuk penelitian ini adalah citra dalam format JPEG dengan ukuran bervariasi sebanyak 12 buah. Pada citra uji memiliki sebuah atau beberapa objek yang tampak jelas atau tidak begitu jelas. Melalui citra uji ini ingin diketahui kinerja perbaikan citra menggunakan teknik AHE dan CS.

Histogram Citra

Histogram citra digunakan untuk menampilkan frekuensi munculnya nilai intensitas sebuah piksel, yang digambarkan dalam bentuk grafik dua dimensi. Melalui grafik ini dapat dibaca pada sumbu-x adalah jangkauan intensitas piksel sedangkan frekuensi kemunculan dibaca pada sumbu-y. Pada jangkauan intensitas dipengaruhi oleh kedalaman warna yang dimiliki oleh citra. Contoh untuk citra 4 bit maka jangkauan intensitas akan bernilai 0 sampai dengan 15 sedangkan citra 8 bit memiliki jangkauan intensitas 0 sampai dengan 255.



Gambar 1. Citra redup, seimbang, terlalu cerah

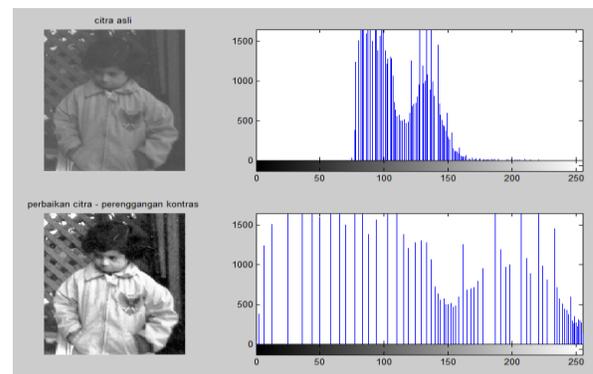
Kondisi citra secara visual seperti citra yang redup, seimbang, atau terlalu cerah akan menghasilkan bentuk histogram seperti pada Gambar 1. Pemrosesan histogram (*histogram processing*) sering digunakan untuk memperbaiki kualitas citra melalui domain

spasial. Proses pengamatan dilakukan dengan cara membandingkan perubahan bentuk histogram lama dengan bentuk histogram baru hasil proses perbaikan citra.

Perenggangan Kontras

Kontras pada sebuah citra adalah berhubungan dengan distribusi intensitas piksel yaitu proses untuk memperluas jangkauan intensitas (Gonzales, 2008). Perenggangan kontras (*contrast stretching, CS*) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kualitas citra melalui operasi titik. Nilai intensitas baru pada koordinat (x,y) yaitu *baru(x,y)* diperoleh dari hasil perenggangan kontras menggunakan Rumus 1 (Munir, 2004). Di sini jangkauan intensitas adalah 0 sampai dengan 255. Dengan *lama(x,y)* adalah intensitas piksel yang diproses, *r_{min}* adalah nilai intensitas paling rendah, dan *r_{max}* adalah nilai intensitas paling tinggi yang dimiliki citra.

$$baru(x,y) = \frac{lama(x,y) - r_{min}}{r_{max} - r_{min}} \times 255 \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 2. Citra sebelum dan setelah perenggangan kontras

Citra dengan kontras rendah yaitu citra yang memiliki distribusi intensitas sempit. Pada histogram akan terlihat memiliki sebuah puncak utama dengan sebagian besar nilai intensitas piksel mengelompok rapat di sekitarnya. Jika dilihat dari sumbu-x histogram maka puncak utama ini bisa cenderung di sebelah kiri, tengah, atau kanan. Secara umum kondisi ini menyebabkan citra menjadi terlalu gelap, atau objek akan tampak tidak terlalu jelas, atau citra tampak terlalu terang. Sebaliknya, citra dengan kontras yang baik yaitu citra yang memiliki

distribusi intensitas lebar. Pada histogram tidak terlihat puncak yang dominan. Jika dilihat dari sumbu-x histogram maka nilai intensitas piksel relatif tersebar secara merata. Kondisi ini menyebabkan citra tampak lebih baik dan objek tampak lebih jelas.

Pada Gambar 2 adalah contoh citra sebelum dan setelah proses perenggangan kontras. Citra hasil perenggangan kontras memiliki tampilan visual lebih baik. Pada histogram setelah proses perenggangan kontras tampak masih mirip dengan histogram sebelum perenggangan kontras. Histogram hasil perenggangan kontras menjadi lebih renggang atau melebar, dan tidak memiliki puncak yang dominan.

Penelitian tentang teknik perenggangan kontras antara lain telah dilakukan oleh Abdul-Nasir dan kawan-kawan (2012) yaitu berkaitan dengan pengolahan citra mikroskopis parasit malaria pada sel darah merah. Penelitian ini menggunakan empat varian perenggangan kontras yaitu: *global*, *linear*, *modified global*, dan *modified linear contrast stretching* dengan 150 buah citra uji. Melalui modifikasi dan pengaturan perenggangan kontras dapat membantu proses identifikasi parasit malaria pada citra.

Ekualisasi Histogram

Teknik yang sering dipakai untuk pemrosesan histogram adalah ekualisasi histogram (*Histogram Equalization, HE*) yaitu untuk menghasilkan histogram yang seragam atau merata sehingga sering disebut juga dengan istilah perataan histogram (Gonzales, 2008). Teknik ini dapat dilakukan satu kali untuk seluruh luas citra (*global histogram equalization*) atau dengan beberapa kali yang diulang untuk setiap blok citra (*sub-image*). Rumus 2 digunakan untuk mengerjakan proses ekualisasi histogram.

$$h(v) = \text{round} \left(\frac{cdf(v) - cdf_{min}}{(M \times N) - cdf_{min}} \times (L - 1) \right) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

v: nilai piksel yang ingin dicari penggantinya.

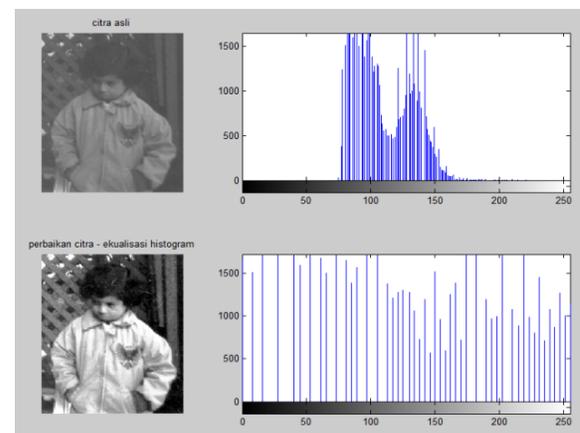
cdf(v): fungsi distribusi kumulatif untuk nilai v.

cdf_{min} : nilai minimum dari distribusi kumulatif.

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

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

Pada Gambar 3 adalah contoh citra sebelum dan setelah proses ekualisasi histogram. Tampak pada citra hasil ekualisasi histogram memiliki tampilan visual yang lebih baik. Pada histogram, setelah proses ekualisasi histogram terjadi proses distribusi ulang intensitas dan menjadi lebih tersebar merata. Intensitas 0 sampai dengan 255 hampir semuanya terwakili.



Gambar 3. Citra sebelum dan setelah ekualisasi histogram

Ekualisasi Histogram Adaptif

Teknik ekualisasi histogram adaptif (*Adaptive Histogram Equalization, AHE*) pada prinsipnya sama dengan ekualisasi histogram. Nama lain dari AHE adalah *local histogram processing* (Gonzales, 2008), yaitu mengerjakan proses ekualisasi histogram sebanyak beberapa kali masing-masing untuk setiap blok citra (*sub-image*). Ukuran blok citra telah ditentukan sesuai kondisi citra atau kebutuhan penelitian yaitu antara lain 2x2, 4x4, 8x8, 16x16 piksel, atau ukuran yang lain.

Teknik AHE dan variasinya ini dikenalkan oleh Pizer dan kawan-kawan (1987). Mereka meneliti dan menerapkan teknik AHE pada citra alami (*natural images*) dan citra medis (*medical imaging*). Di sini objek dapat terlihat lebih baik karena proses perbaikan kontras. Selain itu,

diteliti juga kebutuhan waktu komputasinya. Penelitian lain oleh Stark (2000) yang meneliti penggunaan teknik AHE berdasarkan perenggangan kontras. Modifikasi dilakukan juga pada variasi perenggangan kontras selain ukuran blok citra. Variasi ini berpengaruh terhadap hasil perbaikan kualitas citra.

Penelitian lain yang pernah dilakukan oleh Yussof dan kawan-kawan (2013), mereka menggunakan teknik *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) untuk meningkatkan kualitas citra dengan objek bawah laut. Citra diperoleh dari lokasi pulau Redang dan pulau Bidong di Terengganu Malaysia. Kondisi citra secara visual sangat dipengaruhi oleh kedalaman laut dan penyerapan cahaya dari sinar matahari oleh air laut. Dari hasil percobaan teknik CLAHE dapat meningkatkan kualitas citra sekaligus mengurangi gangguan (*noise*).

PROSES PENELITIAN

Proses penelitian dibagi menjadi empat tahap, yaitu:

1. Mempersiapkan 12 buah citra uji.
2. Menerapkan teknik AHE dengan ukuran blok 2x2, 8x8, dan 16x16 piksel terhadap citra uji.
3. Menerapkan teknik CS terhadap citra uji.
4. Menerapkan teknik *global histogram equalization* terhadap citra uji sebagai pembandingan dengan hasil dari langkah nomor 2 dan 3.
5. Mengamati dan menganalisa hasil proses pengujian.

Alat penelitian adalah satu set komputer Laptop dengan spesifikasi prosesor Intel Core i3-2350M – 2.30 GHz, RAM 2 GB, dan Sistem operasi Microsoft Windows 7 Home. Proses komputasi menggunakan Matlab 7.1. Bahan penelitian berupa 12 buah file citra digital. Pada Tabel 1 berisi rangkuman atribut atau keterangan citra. Seluruh citra percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1. Keterangan citra percobaan

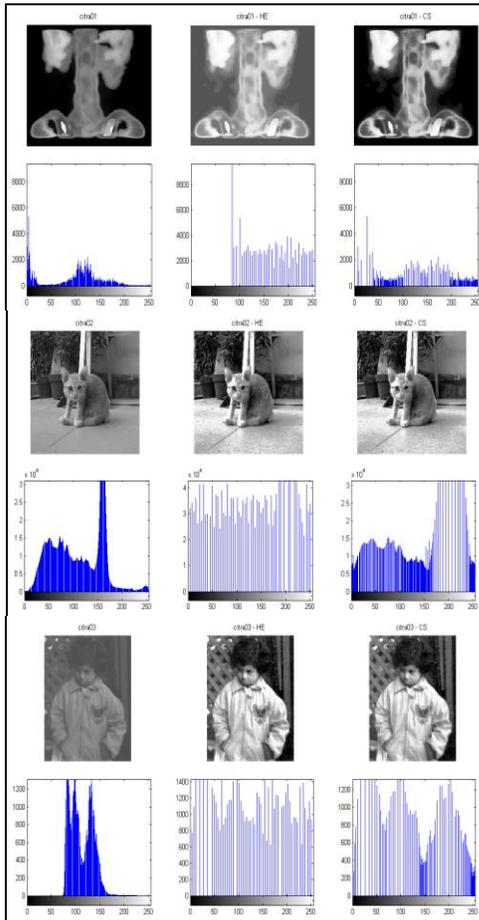
Keterangan citra percobaan				
no	nama citra	ukuran (piksel)	kelompok	keterangan
1	citra01.jpg	480x360	1	obyek tunggal, cerah
2	citra02.jpg	1500x1400	1	obyek tunggal, cerah
3	citra03.jpg	240x280	1	obyek tunggal, redup
4	citra04.jpg	1800x1400	1	obyek tunggal, redup
5	citra05.jpg	1200x800	1	obyek tunggal, cerah
6	citra06.jpg	1600x1500	1	obyek tunggal, redup dan cerah
7	citra07.jpg	280x400	1	obyek tunggal, redup dan cerah
8	citra08.jpg	450x360	1	obyek tunggal, redup dan cerah
9	citra09.jpg	300x240	2	obyek banyak, redup
10	citra10.jpg	800x600	2	obyek banyak, redup
11	citra11.jpg	2100x1400	2	obyek banyak, cerah
12	citra12.jpg	1600x2000	2	obyek banyak, redup dan cerah



Gambar 4. Citra percobaan
HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra uji dalam format JPEG memiliki ukuran yang bervariasi dengan tingkat kedalaman abu-abu 8 bit. Di sini proses perbaikan kualitas citra secara umum adalah untuk lebih memperjelas tampilan objek.

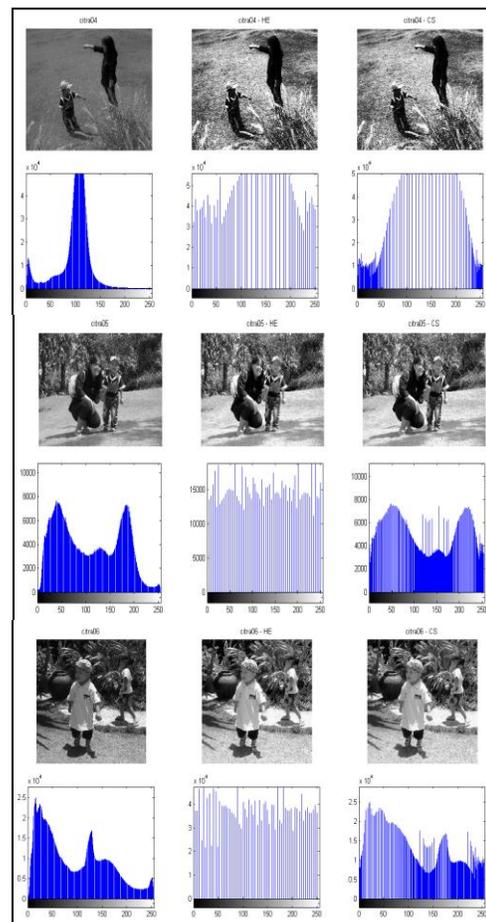
Komposisi, ukuran dan jumlah objek yang terdapat dalam setiap citra uji adalah relatif. Citra dengan objek tunggal adalah citra02, citra03 dan citra07. Citra dengan beberapa buah objek tunggal adalah citra01, citra04, citra05, citra06, dan citra08. Citra dengan objek banyak adalah citra09, citra10, citra11 dan citra12.



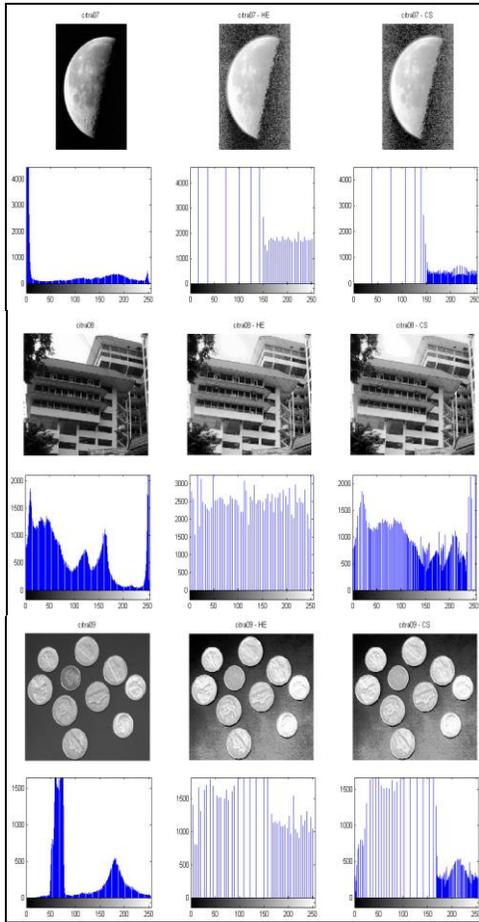
Gambar 5. Hasil ekualisasi histogram (HE) dan perenggangan kontras (CS) (1)

Masing-masing citra memiliki variasi tingkat keredupan dan kecerahan, dengan batas-batas objek ada yang tampak jelas maupun tidak begitu jelas. Citra yang kaya dengan tekstur pada bagian latar belakang yaitu citra04, citra05 dan citra06, sementara itu objek yang kaya dengan tekstur terdapat pada citra02, citra07, citra10, citra11 dan citra12. Variasi tingkat keredupan, kecerahan, tekstur pada latar belakang dan pada objek dapat digunakan sebagai parameter pengujian perbaikan kualitas citra.

Tahap pertama seluruh citra percobaan diuji menggunakan dua buah metode perbaikan kualitas citra yaitu ekualisasi histogram (*global histogram equalization*, HE) dan perenggangan kontras (*Contrast Stretching*, CS) Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Metode ekualisasi histogram cukup populer untuk proses perbaikan citra. Hasil proses ekualisasi histogram akan menjadi pembandingan dengan hasil dari metode perbaikan yang lainnya. Tahap kedua seluruh citra percobaan diuji menggunakan metode perbaikan kualitas citra ekualisasi histogram adaptif (*Adaptive Histogram Equalization*, AHE) dengan ukuran blok (*sub-image*) 2x2, 8x8, dan 16x16 piksel. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil ekualisasi histogram (HE) dan perenggangan kontras (CS) (2)



Gambar 7. Hasil ekualisasi histogram (HE) dan perengangan kontras (CS) (3)

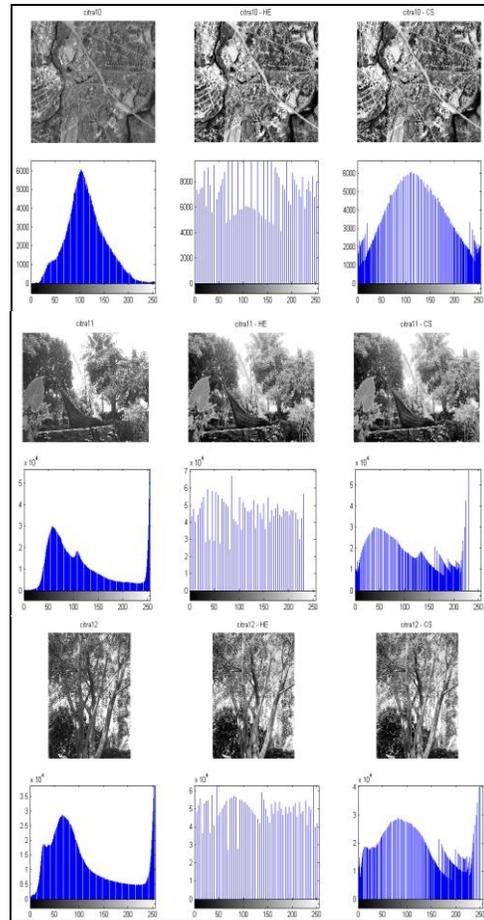
Tabel 2. Hasil pengamatan parameter redup, cerah, tekstur latar belakang dan tekstur objek

Hasil pengamatan parameter redup, cerah, tekstur latar belakang dan tekstur obyek

no.	nama citra	redup (-) / cerah (+)						tekstur pada latar belakang						tekstur pada objek					
		HE		CS		AHE		HE		CS		AHE		HE		CS		AHE	
		2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8	2x2	8x8
1	citra01	+++	+	+	+	+	+++	++						+++	+	+	+	+	+
2	citra02	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+	+	+	+	++	+++
3	citra03	+++	+++	+	+	+	++	++	+	+	+	++	++	+	+	+	++	++	++
4	citra04	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	++	++	++
5	citra05	+	+	++	++	++	+	+	++	+++	+++	++	+	+	+	++	++	++	++
6	citra06	+	+	++	++	++	+	+	++	+++	+++	+	+	+	++	++	++	++	++
7	citra07	+++	+++				+	++	++							+	++	+++	+++
8	citra08	+	+	+	+	+				+	+							+	+
9	citra09	++	++	+	+	+	+	+						+	+	++	++	+++	+++
10	citra10	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++
11	citra11	+	+	+	+	+								+	+	+	++	+++	+++
12	citra12	+	+	+	+	+								+	+	+	++	+++	+++

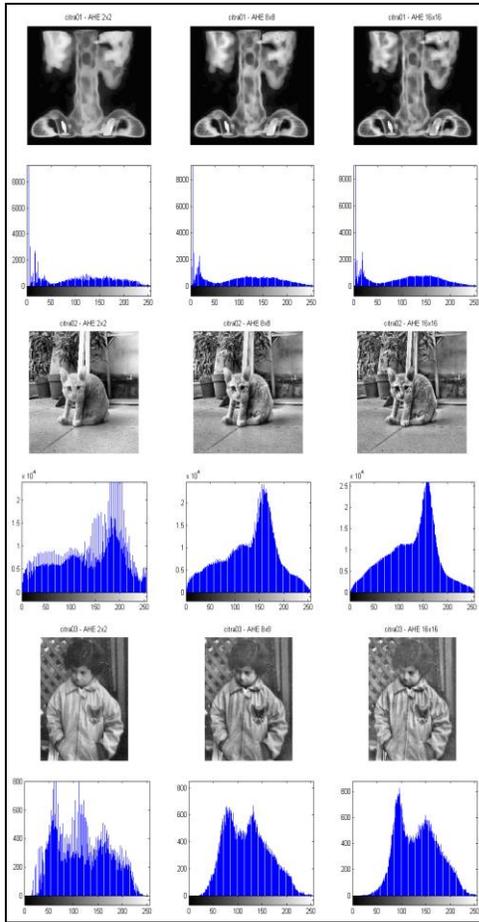
Secara umum seluruh hasil perbaikan kualitas citra (teknik HE, CS, AHE2x2, AHE8x8 dan AHE16x16) tidak membuat citra menjadi lebih redup tetapi sebaliknya hampir seluruh citra menjadi lebih cerah. Seperti dapat diamati pada Tabel 2. tanda +, ++, +++ melambangkan

tingkat kecerahan citra yang semakin bertambah jika dibandingkan dengan citra aslinya. Di sini kondisi citra yang semakin cerah menyebabkan objek menjadi tampak lebih baik.

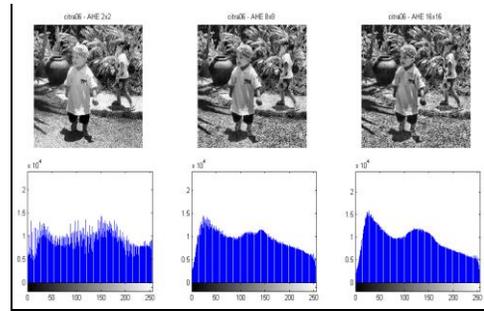
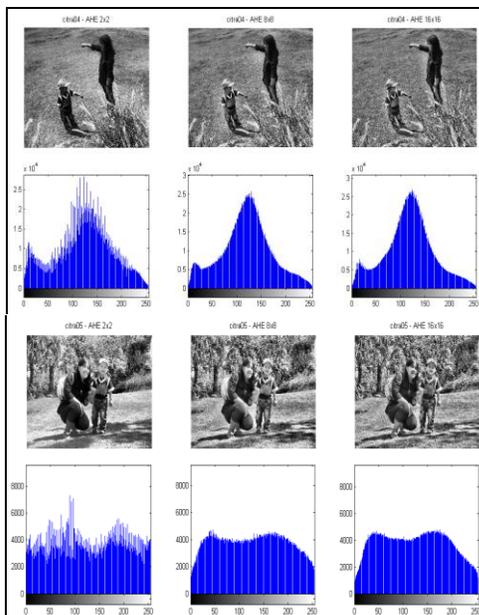


Gambar 8. Hasil ekualisasi histogram (HE) dan perengangan kontras (CS) (4)

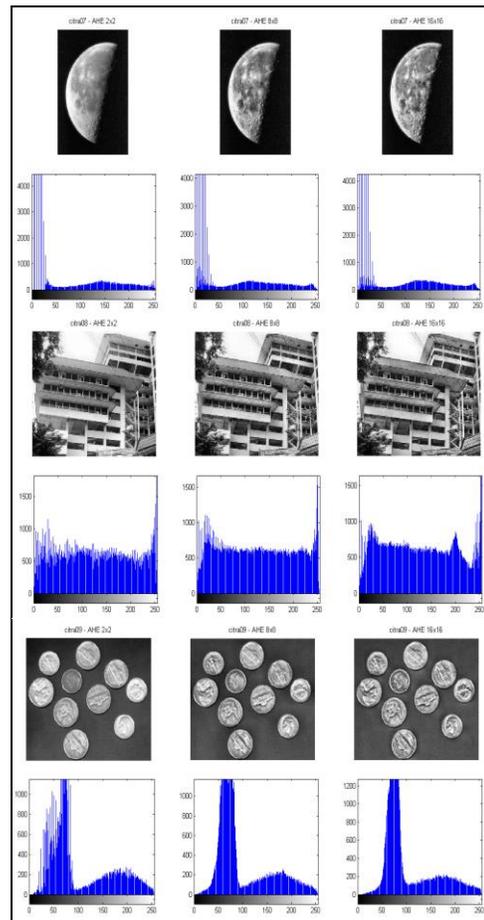
Hasil pengamatan tekstur pada latar belakang, teknik HE dan CS memberikan hasil lebih kuat daripada teknik AHEnxn untuk citra01, citra03, citra07 dan citra09, hal sebaliknya terjadi pada citra02, citra05, citra06 dan citra08. Teknik HE, CS, AHEnxn, pada citra04 dan citra10 menghasilkan penguatan tekstur pada latar belakang yang sama kuat, sedangkan pada citra11 dan citra12 tidak terjadi penguatan tekstur pada latar belakang. Sementara itu untuk hasil pengamatan tekstur pada objek, teknik HE dan CS memberikan hasil lebih kuat daripada teknik AHEnxn untuk citra01, citra03, citra10, hal sebaliknya terjadi pada seluruh citra yang lain.



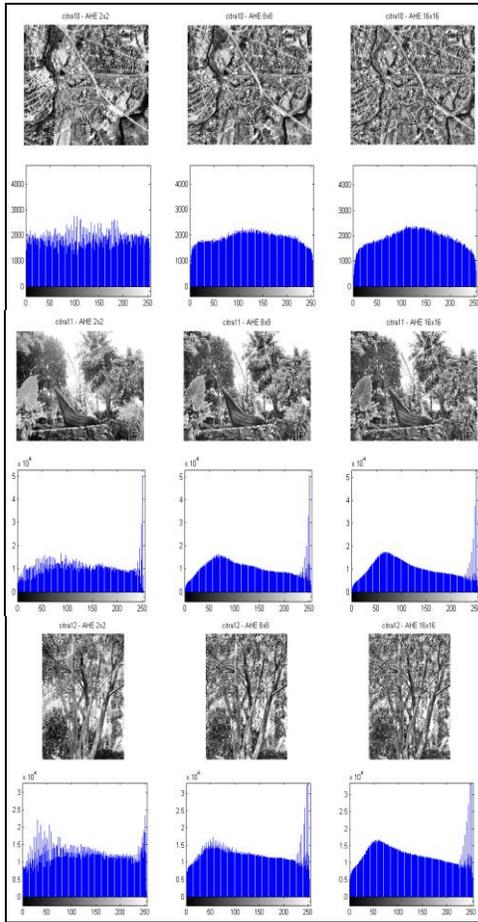
Gambar 9. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) 2x2, 8x8, 16x16 piksel (1)



Gambar 10. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) 2x2, 8x8, 16x16 piksel (2)

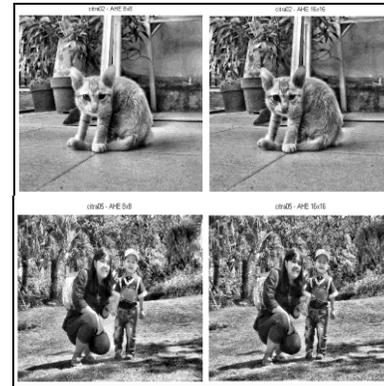


Gambar 11. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) 2x2, 8x8, 16x16 piksel (3)

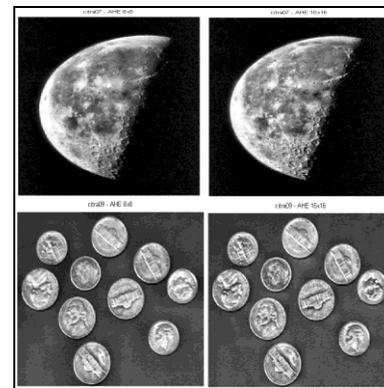


Gambar 12. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) 2x2, 8x8, 16x16 piksel (4)

Melalui pengamatan secara visual pada Gambar 5 dan Gambar 6, teknik HE dan CS menghasilkan perbaikan kualitas citra yang sama baiknya, kecuali pada citra01 dimana teknik CS tampak lebih baik dari HE. Pada pengamatan histogram, histogram CS tampak menjadi lebih lebar dengan pola yang mirip seperti histogram citra asli, di sini jangkauan intensitas abu-abu 0 sampai dengan 255 menjadi lebih terwakili. Untuk histogram HE tampak lebih merata melalui distribusi ulang dari histogram citra asli. Pola histogram HE tidak sama dengan histogram citra asli.



Gambar 13. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) yang terdistorsi



Gambar 14. Hasil ekualisasi histogram adaptif (AHE) yang baik

Pada citra01 dan citra10 yang diasumsikan sebagai citra hasil rekam medis dan penginderaan jauh, seluruh proses perbaikan kualitas citra menghasilkan tampilan objek yang saling melengkapi. Teknik HE, CS, AHE2x2, AHE8x8 dan AHE16x16, menghasilkan detail tekstur pada posisi-posisi yang berbeda. Pada contoh ini cukup sulit untuk menentukan hasil dari teknik mana yang lebih baik. Pengolahan citra lebih lanjut atau untuk keperluan proses interpretasi citra yang setipe dengan citra01 citra10, akan dipengaruhi oleh pertimbangan dari pakar di bidang yang bersangkutan.

Teknik AHE2x2, AHE8x8 dan AHE16x16 menghasilkan perbaikan kualitas citra yang berbeda. Semakin besar ukuran blok (*sub-image*) menyebabkan tampilan citra menjadi semakin buruk karena terdistorsi, hal ini tampak lebih jelas pada ukuran blok 16x16. Untuk seluruh citra uji, ukuran blok 2x2 menghasilkan perbaikan kualitas citra yang baik. Pada citra02,

citra03, citra04, citra05, citra06, citra11 dan citra12, dapat diamati hasil dari teknik AHE8x8 dan AHE16x16 menjadi semakin terdistorsi. Pada Gambar 7 dapat dilihat contoh citra02 dan citra05 yang tampak terdistorsi. Perkecualian terjadi pada citra07, citra08 dan citra 09, dimana AHE8x8 dan AHE16x16 masih memberikan hasil yang baik. Pada Gambar 8 dapat dilihat contoh citra07 dan citra09 yang terlihat baik. Jika diamati melalui histogram AHE2x2, AHE8x8 dan AHE16x16 sekilas tampak mirip satu sama lain terutama untuk AHE8x8 dan AHE16x16.

KESIMPULAN

Kesimpulan dan saran penelitian ini adalah:

1. Hasil perbaikan kualitas citra dipengaruhi oleh kondisi awal citra (citra asli) dan metode yang digunakan. Melalui pengujian terhadap 12 buah citra uji maka seluruh hasil ekualisasi histogram adaptif belum dapat dikatakan lebih baik dari perenggangan kontras, atau sebaliknya.
2. Pada ekualisasi histogram adaptif (AHE), ukuran blok (*sub-image*) 2x2 dapat digunakan untuk proses perbaikan kualitas citra.
3. Pada ekualisasi histogram adaptif (AHE), semakin besar ukuran blok yang digunakan (>8x8 piksel) mengakibatkan objek menjadi semakin terdistorsi.
4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan dalam memilih metode perbaikan kualitas citra untuk pra-proses pengolahan citra.
5. Pengembangan lebih lanjut hasil penelitian ini dapat diterapkan pada program aplikasi yang didalamnya terdapat proses pengenalan objek.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Nasir, A.S., Mashor, M.Y., Mohamed, Z. (2012). Modified Global and Modified Linear Contrast Stretching Algorithms: New Colour Contrast Enhancement Techniques for Microscopic Analysis of Malaria Slide Images. *Journal Computational and Mathematical Methods in Medicine*. Volume 2012, Article ID 637360.
- Ahmad, U. (2005). *Pengolahan Citra Digital & Teknik Pemrogramannya*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Gonzalez, R. C., Woods, R.E. (2008). *Digital Image Processing third edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Munir, R. (2004). *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Murni, A. (1992). *Pengantar Pengolahan Citra*. Jakarta: Penerbit Elex Media Komputindo.
- Petrou, M., Petrou, C. (2010). *Image Processing: The Fundamentals*. Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, United Kingdom.
- Pizer, S. M., Amburn, P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., Romeny, B. H., Zimmerman, J. B., Zuiderveld, K. (1987). Adaptive Histogram Equalization and Its Variations. *Journal Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 39, 355-368, Academic Press Inc.
- Prasetyo, E. (2011). *Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Putra, D. (2010). *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Solomon, C., Breckon, T. (2011). *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab*. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, United Kingdom.
- Stark, J. A. (2000). Adaptive Image Contrast Enhancement Using Generalizations of Histogram Equalization. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No. 5, May 2000.
- Sutoyo, T., Mulyanto, E., Suhartono, V., Nurhayati, O. D., Wijanarto. (2009). *Teori Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Yussof, W. N. J. W., Hitam, M. S., Awalludin, E. A., Bachok, Z. (2013). Performing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Technique on Combined Color Models for Underwater Image Enhancement. *International Journal of Interactive Digital Media*, Vol.1, April 2013.