

METODE PENINGKATAN KUALITAS CITRA MEDIS: LITERATURE REVIEW

Khasnur Hidjah¹⁾, Agus Harjoko²⁾, Anny Kartika Sari²⁾

¹⁾ Teknik Informatika STMIK BUMIGORA Mataram

²⁾ Ilmu Komputer dan Elektronika Fak. MIPA UNIVERSITAS GADJAH MADA Yogyakarta
Jln. Sekip Utara, Bulaksumur, Sinduadi, Mlati, Yogyakarta 55281

Email : khasnur.h@gmail.com¹⁾, aharjoko@ugm.ac.id²⁾, a_kartikasari@ugm.ac.id³⁾

Abstrak

Citra medis biasanya memiliki kontras rendah karena diperoleh dari hasil X-ray. Padahal, penggunaan citra medis semakin banyak dilakukan, terutama dalam hal pengembangan sistem cerdas yang dapat membantu melakukan diagnosis penyakit. Usaha peningkatan kualitas citra medis dilakukan oleh para peneliti antara lain dengan cara pengembangan algoritme yang telah ada.

Artikel ini memberikan ulasan mengenai penelitian-penelitian terkini yang berkaitan dengan peningkatan kualitas citra medis. Ulasan tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran kepada para peneliti mengenai metode-metode terkini untuk meningkatkan kualitas citra. Hasil ulasan menunjukkan bahwa metode berbasis region dan metode hybrid memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan kontras citra dibandingkan dengan metode klasik. Akan tetapi, metode tersebut memiliki kelemahan dalam hal kompleksitas karena memerlukan waktu komputasi yang cukup panjang.

Kata kunci: kualitas citra, peningkatan kontras citra, image enhancement, citra medis, penajaman citra

1. Pendahuluan

Akhir-akhir ini penelitian terhadap analisis citra medis menjadi salah satu penelitian yang banyak diminati karena dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan sistem cerdas di bidang kedokteran, misalnya membantu mendiagnosis penyakit. Analisis citra meliputi proses *pre-processing*, *image enhancement*, penentuan *Region of Interest* (ROI), segmentasi, ekstraksi ciri, dan seleksi ciri. Artikel ini berfokus pada peningkatan kontras dan ketajaman citra (*image enhancement*).

Pengolahan berbagai citra medis sangat banyak membantu untuk memvisualisasikan dan mengekstrak lebih detail tentang citra [1]. Tujuan peningkatan kualitas citra selain untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan keperluan aplikasi juga memudahkan mendapatkan ciri-ciri citra dalam proses selanjutnya [3]. Sinyal diperkuat biasanya untuk meningkatkan ketajaman citra, namun peningkatan kualitas citra memberikan sinyal tentang: i) rincian dari gambar, ii) *noise*, dan iii) *under-shoot* dan *over-shoot* karena *smoothing* dari tepi [6]. Dalam hal ini, peningkatan *noise* jelas tidak diinginkan.

Mayoritas citra medis memiliki kualitas citra yang rendah, dengan tingkat kontras yang juga rendah, dan banyak *noise* [9]. Ini dikarenakan pengambilan citra umumnya menggunakan foto X-ray. Hal ini yang menjadi tantangan bagi para peneliti untuk dapat selalu mengembangkan algoritme yang berhubungan dengan peningkatan kontras dan ketajaman citra. Ulasan pada artikel ini diharapkan dapat memberikan motivasi dan informasi tentang isu-isu yang dapat dikembangkan berkaitan dengan peningkatan kualitas citra. Kontribusi dari penelitian ini terutama pada klasifikasi metode dalam peningkatan kontras dan ketajaman citra khususnya citra medis untuk keperluan mendiagnosis penyakit.

Kontras adalah atribut persepsi dasar dari suatu gambar [18]. Sulit untuk melihat rincian dalam gambar kontras rendah [10]. Adaptif histogram ekualisasi [11-12] sering digunakan untuk peningkatan kontras. Peningkatan kontras citra merupakan bagian yang penting untuk sistem pemeriksaan citra medis, agar lebih jelas secara visual dan dapat digunakan untuk menjelaskan hasil diagnosis yang kadang-kadang subyektif dan tidak konsisten [3] jika gambar yang diperoleh mengalami ketajaman dan kontras yang rendah.

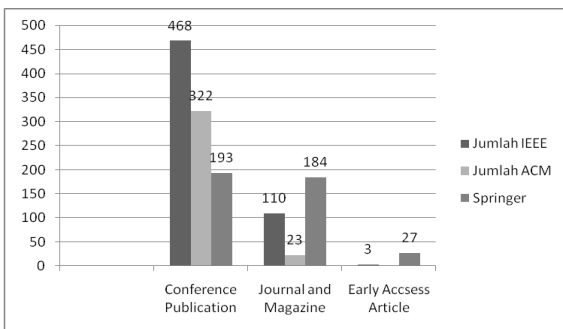
Metode *image enhancement* yang sudah ada untuk menganalisis citra medis berdasarkan manipulasi kontras, yaitu [2, 3, 8]: *contrast adjustment*, *linear stretching*, *unsharp masking*, *histogram equalization*, *adaptive histogram equalization*, *contrast limited adaptive histogram equalization* dan *adaptive region growing*. Metode-metode tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas citra, mulai dari mengatur tingkat kontras, menghilangkan *noise*, dan mengatur tingkat pencahayaan.

Metode peningkatan kontras secara klasik didasarkan pada teknik domain spasial atau domain transformasi [2]. Prosedur berbeda digunakan dalam metode domain spasial dan metode domain transformasi. Metode domain spasial secara langsung diterapkan pada piksel citra sedangkan domain transformasi memodifikasi frekuensi citra. Beberapa metode klasik yang populer adalah *Histogram Equalization*, *Histogram Spesifikasi* [4] dan *Adaptive Neighborhood Histogram Equalization*.

Untuk memudahkan pembahasan, maka paper ini disusun dalam 3 bab sebagai berikut. Bab Pendahuluan memuat latar belakang dan prosedur. Bab Pembahasan menyajikan hasil klasifikasi pada metode peningkatan kualitas citra, kemudian pembahasan mengenai kelebihan dan kelemahan dari beberapa metode, serta *trend* penelitian dalam *image enhancement*. Bab terakhir adalah Kesimpulan, yang berisi komentar dan arah untuk penelitian di masa depan.

Prosedur

Tinjauan literatur ini mengambil beberapa artikel yang bersumber dari berbagai jurnal dan prosiding yang diperoleh melalui ACM digital library, IEEEExplore Digital Library, dan beberapa artikel dari jurnal lainnya yang diakses melalui SpringerLink dan Scopus. Bentuk publikasi lain seperti buku, surat kabar, disertasi doktor, poster, dan lain-lain tidak digunakan. Artikel yang diambil adalah artikel yang berhubungan dengan topik *image enhancement*, kemudian dipilih lagi artikel yang ditulis dalam waktu 5 tahun terakhir dan artikel yang khusus membahas citra medis. Pengunduhan paper dilakukan secara manual. Jumlah dan sumber paper atau jurnal yang digunakan terlihat pada Gambar 1.



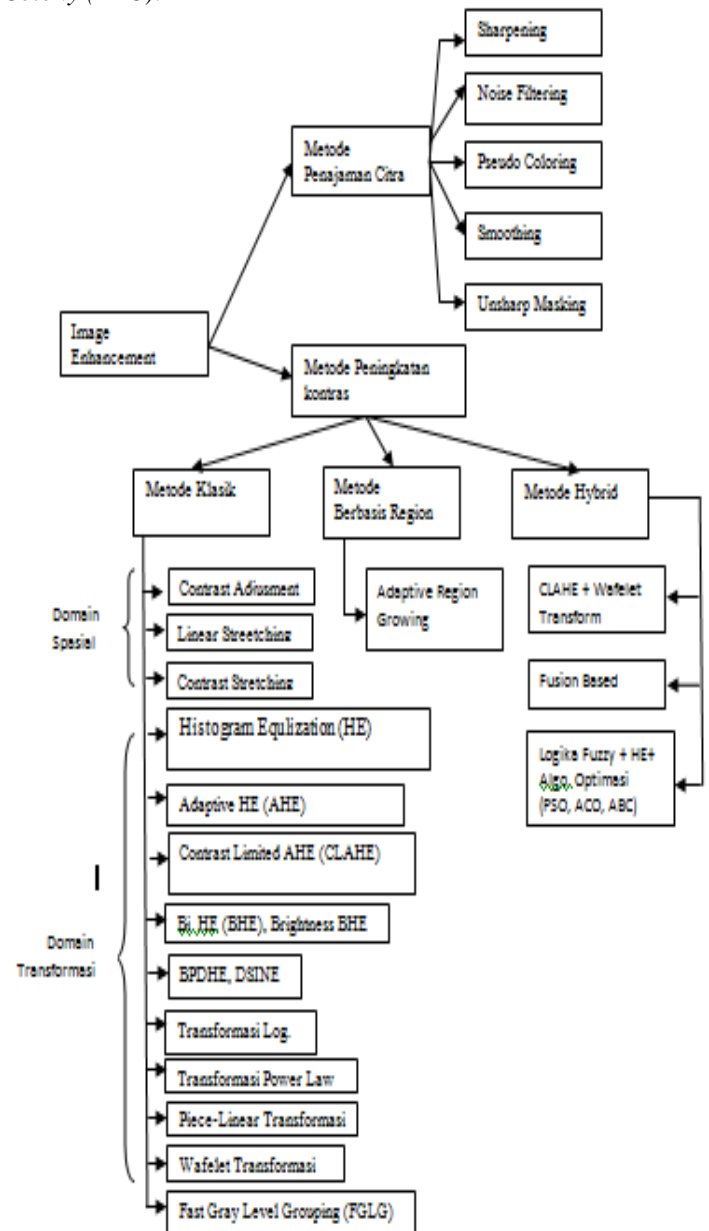
Gambar 1. Sumber artikel yang digunakan

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil *review* terhadap penelitian yang berkaitan dengan *image enhancement*, dapat dilakukan klasifikasi seperti terlihat pada Gambar 2. Pada dasarnya, metode *image enhancement* dapat dibagi dalam 2 kategori, yaitu:

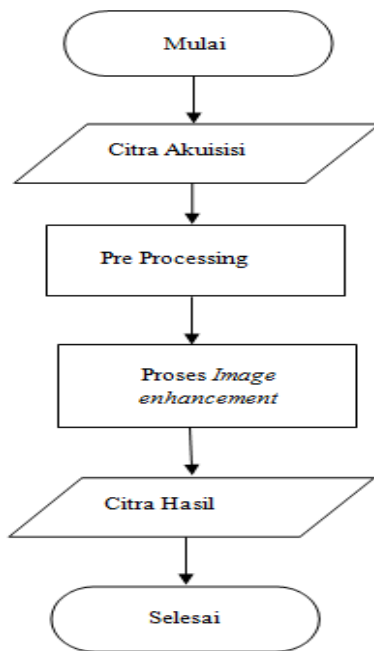
1. Metode untuk penajaman citra, antara lain [15]: *Sharpening*, *Noise Filtering*, *Pseudo Coloring*, *Smoothing* [5], *unsharp masking* [6].
2. Metode untuk peningkatan kontras citra yang dapat dibagi lagi menjadi 3 kategori, yaitu metode klasik, metode berdasarkan *region*, dan metode *hybrid*. Metode klasik ada yang berbasis domain spasial, seperti *Contrast Adjustment*, *Contrast Stretching*, *Linear Stretching*. Metode klasik dapat pula berbasis domain transformasi, yang meliputi antara lain: *Wavelet Transform*, transformasi logaritma, transformasi *power-law*, *piecewise-Linear transformation* [16] *Histogram Equalization (HE)* dan *Histogram Specification* yang meliputi *Adaptive Histogram Equalization (AHE)*, *Contrast Limited*

Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), *Sharp Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (SCLAHE)*, *Bi Histogram Equalization (BHE)*, *Brightness Bi Histogram Equalization (BBHE)*, *Dual Sub Image Histogram Equalization (DSIHE)* [24]. Dalam domain transformasi, terdapat metode yang baru yaitu *Fast Grey Level Grouping*. Sedangkan contoh metode berdasarkan region adalah *Adaptive Region Growing Approach*. Metode *hybrid* menggabungkan beberapa metode. Contoh metode *hybrid* adalah *CLAHE+Wavelet Transformation*, *Fusion Based*, *fuzzy+HE+ algoritme Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Ant Colony Optimization (ACO)* dan *Artificial Bee Colony (ABC)*.



Gambar 2. Klasifikasi metode image enhancement

Secara umum tahapan proses dalam *image enhancement* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir proses *image enhancement* secara umum

Proses *image enhancement* dimulai dengan akuisisi citra kemudian dilakukan *pre-processing* sesuai dengan kondisi dan tujuan dari aplikasi yang akan dibuat. Selanjutnya adalah proses peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) itu sendiri, yang juga harus disesuaikan dengan kondisi citra inputan dengan menentukan area yang akan ditingkatkan kualitasnya dengan beberapa metode yang telah ada. Sebagai hasil akhir akan didapatkan citra hasil *enhancement*.

Selanjutnya akan dijelaskan secara ringkas metode-metode untuk peningkatan kontras citra. Berikut adalah penjelasan mengenai beberapa metode untuk peningkatan kontras citra:

1. Contrast Adjustment

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana [3,7,8,19] yang dilakukan dengan proses *scaling* semua piksel gambar oleh suatu konstanta k .

$$g(m,n) = f(m,n) * k \quad (1)$$

dalam hal ini, $f(m,n)$ adalah citra input, $g(m,n)$ adalah citra output, dan k adalah koefisien kontras.

2. Linear Stretch

Metode ini juga merupakan teknik sederhana yang dilakukan dengan cara meningkatkan kontras gambar [3,7,8,19]. Dalam teknik ini, intensitas meningkat seragam untuk semua nilai-nilai piksel.

3. Contrast Stretching

Metode peregangan kontras ini digunakan untuk mendapatkan gambar baru dengan kontras yang lebih baik dari pada gambar asli [3,7,8,19]. *Contrast stretching* meningkatkan kualitas citra dengan

peregangan rentang nilai intensitas untuk meningkatkan kontras dalam foto.

4. Unsharp Masking

Metode ini merupakan metode yang sangat umum untuk peningkatan kontras citra digital [26-27]. Polesel [26] menyajikan metode baru untuk *masking unsharp*, metode ini mempekerjakan sebuah filter adaptif untuk mengontrol kontribusi pada jalur penajaman, seperti peningkatan kontras yang terjadi pada area yang tinggi dan tidak ada penajaman pada area yang sudah halus [3,8,19].

5. Histogram Equalization (HE)

Metode ini menyebarkan tingkat keabuan sebuah gambar sehingga merata di seluruh citra. Metode ini mengatur kembali nilai kecerahan piksel berdasarkan histogram gambar, sehingga mengakibatkan peningkatan kontras secara keseluruhan. *Histogram equalization* mengatur nilai-nilai intensitas piksel pada gambar masukan sehingga nilai intensitas gambar keluaran terdistribusi secara uniform. Hal ini akan meningkatkan kontras dengan mendapatkan histogram seragam [3,7,8,19]. Teknik ini dapat digunakan pada seluruh gambar atau hanya pada bagian dari suatu gambar.

6. Adaptive Histogram Equalization (AHE)

Metode ini menggunakan ekualisasi histogram lokal yang menganggap jendela lokal untuk setiap piksel individu dan menghitung nilai intensitas baru berdasarkan histogram lokal yang didefinisikan dalam jendela lokal. Karakteristik adaptif dapat memberikan hasil yang lebih baik, tetapi perhitungannya cukup sulit, meskipun ada beberapa teknik cepat untuk memperbarui histogram lokal. Selain itu, *adaptive histogram equalization* adalah operator lokal seragam dalam arti bahwa semua piksel dalam jendela lokal berkontribusi sama pada penentuan nilai baru dari piksel pusat yang sedang diperhitungkan [3,7,8,19].

7. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

CLAHE merupakan metode adaptif peningkatan kontras, yang didasarkan pada AHE. CLAHE merupakan penyempurnaan dari AHE, di mana perhitungan tambahan dimodifikasi dengan memberlakukan tingkat klip, terutama ke daerah homogen. Karakteristik dari daerah homogen adalah puncak tertinggi histogram pada suatu *region size*, di mana daerah lainnya memiliki intensitas piksel yang sama. Penyempurnaan tersebut mencegah *noise over enhancement* dan mengurangi efek *edge shadowing* dari AHE. Ukuran wilayah kontekstual piksel dan tingkat klip histogram adalah parameter CLAHE.

8. Fast Gray Level Grouping

Metode ini merupakan metode domain transformasi yang baru dikembangkan [9],[16-17],[23]. Metode ini

dikembangkan untuk mengatasi kelemahan metode klasik dalam peningkatan kontras citra. yang tidak hanya menghasilkan hasil yang lebih baik, namun juga secara umum bisa diimplementasikan ke dalam berbagai citra yang berbeda-beda secara otomatis. Teknik dasar dari metode tersebut adalah mengelompokkan komponen histogram dari citra yang mempunyai tingkat kekontrasan rendah menjadi beberapa grup yang tepat sesuai dengan kriteria tertentu, lalu mendistribusikan tingkat keabuan ke dalam grup komponen histogram tersebut sehingga setiap grup menempati segmen keabuan dengan ukuran yang sama dengan grup yang lain, dan akhirnya melakukan *ungroup* dari grup yang telah dikelompokkan sebelumnya [17].

9. Adaptive Region Growing Approach

Metode ini merupakan metode berbasis *region* [8]. Metode peningkatan kontras ini memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa metode klasik. *Region Growing* adalah daerah yang didasarkan pada metode segmentasi citra. Sebuah citra dapat disegmentasi menjadi beberapa daerah berdasarkan beberapa kriteria. *Region growing approach* umumnya menggunakan sebuah *seed pixel* untuk memulai dan kemudian memproses dengan mengevaluasi piksel tetangganya satu per satu [7]. Proses adaptif dilakukan untuk menentukan *seed pixel* secara otomatis di dalam gambar. Jika piksel tersebut memenuhi suatu kriteria, maka akan dijadikan *region*. Proses ini dilakukan sampai tidak ada lagi piksel yang bisa ditambahkan [13], sehingga dapat dipastikan sebuah *seed point* selalu berada dalam *region* [14].

10. Metode-metode Hybrid

Contoh metode *hybrid* yang telah digunakan untuk peningkatan kontras adalah **Adaptive Fuzzy + HE + Algo PSO, ACO dan ABC** [2, 6, 8, 9, 25]. Metode ini menerapkan logika fuzzy dalam menemukan nilai parameter keabuan dari gambar. Dalam metode ini digunakan dua parameter, yaitu: M dan K, di mana M adalah intensitas rata-rata dan K adalah parameter kontras intensifikasi yang dioptimasi dengan algoritme *Particle Swarm Optimization* (PSO) [22], *Ant Colony Optimization* (ACO) [20] dan *Artificial Bee Colony* (ABC) [21]. Hanya parameter V yang diregangkan di bawah pengendalian M dan K. Nilai pengendalian parameter M dapat dihitung dari nilai rata-rata histogram. Nilai untuk K dapat dihitung atas dasar peregangan yang diperlukan. Dari analisis eksperimental, nilai K adalah tetap, yaitu 128, yang memberikan hasil yang lebih baik untuk gambar berwarna dengan nilai kontras dan kecerahan yang rendah.

Kelebihan dan Kelemahan Setiap Metode

Berdasarkan hasil ulasan artikel, dapat dipaparkan beberapa kelebihan dan kekurangan dari metode-metode yang ada dalam tiap aplikasinya, sebagai berikut.

Beberapa **metode klasik** memiliki kelebihan dalam hal kemudahan dalam implementasi, karena metode tersebut sederhana dan hasilnya pun memuaskan. Hal ini terutama terjadi pada *Histogram Equalization*, sehingga metode ini sering digunakan dalam peningkatan kontras. Namun, metode ini memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat beradaptasi dengan karakteristik yang berbeda-beda dari gambar. Kelemahan yang lain adalah bahwa penggunaannya dapat mengurangi detail obyek pada gambar karena mengubah kontras lokal, dan kecerahan gambar dapat berubah setelah pemerataan histogram karena sifat kontinyu dari teknik ini [3,7-8,19]. Oleh karena itu, metode ini terus dimodifikasi untuk mengurangi kelemahan-kelemahan yang terjadi. Sebagai contoh, metode lokal adaptif seperti *Adaptive Histogram Equalization* dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* mengembangkan metode *histogram equalization* dengan hasil peningkatan dan penajaman pada citra. CLAHE juga berhasil mengurangi kelemahan yang terjadi pada AHE, yaitu munculnya *noise over enhancement* dan efek *edge shadowing*. Namun perhitungan yang digunakan pada metode CLAHE cukup sulit.

Metode berbasis *Histogram Equalization* yang cukup baru dikembangkan dan sangat cocok untuk citra medis adalah metode *Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization*, *Sharp Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*, dan *Brightness Bi Histogram Equalization*. Metode-metode ini memiliki kelebihan yang sama dengan *Adaptive Region Growing* dan tetap mampu mempertahankan sisi halus dari citra.

Untuk **metode berbasis region** yaitu *Adaptive Region Growing*, kelebihannya adalah dalam peningkatan kontras citra dengan menghasilkan kualitas kontras yang lebih baik terutama pada citra dental dibanding dengan beberapa metode klasik lainnya yaitu *Contrast Adjustment*, *Linear Stretching*, *Histogram Equalization (Histeq)*, *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)* [2-3], [8]. Hal ini disebabkan metode ini bekerja berdasarkan region yang disesuaikan dengan karakteristik citra dan tujuan aplikasinya [8]. Maka dari itu, hasil dari sistem ini akan dapat mempermudah analisis citra pada tahap berikutnya. Namun, waktu komputasi yang dibutuhkan untuk sistem ini lebih lama dibandingkan metode yang lain [8].

Metode **hybrid** pada umumnya memiliki kelebihan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode klasik karena metode tersebut dikombinasikan untuk menutupi kelemahan-kelemahan yang terjadi pada metode klasik atau metode lainnya. Metode *hybrid* yang telah disebutkan sebagian besar berdasarkan *Histogram Equalization* yang merupakan metode klasik yang memiliki hasil yang cukup baik dibandingkan dengan

metode klasik lainnya, yang menjadikannya metode yang paling banyak dipakai sebagai basis dalam metode *hybrid*. Sebagai contoh, *Fuzzy Enhancement + HE+Algoritme Optimization* menggunakan *Histogram Equalization* sebagai basis. Metode ini memiliki kelebihan, yaitu sangat efektif dan efisien dalam peningkatan kontras khususnya pada citra berwarna, terutama karena adanya hasil kombinasi optimization dengan PSO [2,6,8-9]. Metode *hybrid* biasanya juga dapat memberikan solusi yang lebih baik untuk masalah yang terkait dengan semua jenis gambar medis dan akan sangat berguna untuk diagnostik klinis [21]. Akan tetapi, metode *hybrid* memiliki kelemahan karena sangat kompleks dan rumit dalam implementasi.

Trend Penelitian dan Saran untuk Pengembangan Penelitian.

Berikut adalah isu-isu yang dapat dikembangkan di masa yang akan datang dalam hal *image enhancement*.

Pada **metode klasik**, yang dapat terus dikembangkan adalah metode *Histogram Equalization*. Sebagai contoh, pada metode *Fast Gray Level Grouping* (FGLG) diperlukan suatu cara atau metode untuk mendapatkan nilai bin yang tepat untuk berbagai citra masukan [9] karena metode ini dapat diimplementasikan ke berbagai citra yang mempunyai tingkat kekontrasan berbeda-beda secara otomatis [9,17].

Pada **metode berbasis Region**, *Adaptive Region Growing* dapat terus ditingkatkan dengan memperhatikan bahwa penentuan *seed* dalam citra sangat penting. Berdasarkan kenyataan ini, dapat dikembangkan suatu algoritme untuk penentuan *seed point* atau untuk menggunakan *multiple seed point*. Selain itu, waktu komputasi dalam metode *Adaptive Region Growing* masih cukup panjang dibandingkan dengan beberapa metode klasik dalam *image enhancement*. Oleh karena itu, dapat dikembangkan untuk mengatasi waktu komputasi yang cukup panjang tersebut. Penelitian pada citra medis khususnya *dental radiograph* yang menggunakan *Adaptive Region Growing* sebaiknya juga dapat dipadukan dengan teknik *denoising* dalam algoritme untuk mengatasi citra yang memiliki *noise* yang tinggi sehingga ketajaman dan kontras pada gambar menjadi lebih baik.

Menggabungkan beberapa metode (*hybrid*) berbasiskan metode klasik masih menjadi hal yang menarik untuk diteliti. Sebagai contoh, metode *hybrid* berdasarkan *Histogram Equalization*, baik untuk adaptif global maupun lokal, saat ini dikembangkan menggunakan teknik iteratif dinamis. Beberapa di antaranya adalah *Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization* (BPDHE), *Sharp Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (SCLAHE), *Bi Histogram Equalization* (BHE), *Brightness Bi Histogram Equalization* (BBHE), *Dual Sub Image Histogram Equalization* (DSIHE). Metode-metode tersebut telah diuji dalam penghapusan

spekel noise dan artefak pada saat segmentasi untuk disain yang fleksibel, lebih kompak, berdaya rendah, dan memiliki kecepatan tinggi serta dapat mengurangi biaya dan waktu [24].

Para peneliti menyebutkan bahwa penelitian di masa yang akan datang akan berfokus pada penelitian lebih lanjut dari sifat *gray scale* (tingkat keabuan) dari gambar yang nantinya akan dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi **kelainan pada medical image**.

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil klasifikasi, metode *image enhancement* dapat dikelompokkan ke dalam 2 kategori, yaitu metode untuk penajaman citra dan metode untuk peningkatan kontras citra. Pada metode peningkatan kontras citra secara umum tiap metode memiliki kemampuan untuk peningkatan kontras, baik itu metode klasik, metode berbasis *region* maupun metode *hybrid*. Metode berbasis *region* dan metode *hybrid* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam peningkatan kontras dibanding metode klasik, namun memiliki kelemahan dalam kompleksitas yang cukup rumit dan waktu komputasi yang cukup panjang.

Pengembangan dari metode-metode yang sudah ada, baik metode klasik maupun metode berbasis *region*, masih menjadi hal yang menarik untuk diteliti di masa yang akan datang. Penggabungan beberapa metode untuk menghasilkan metode yang baru yang memiliki keunggulan dari sisi hasil juga patut menjadi perhatian para peneliti. Selain itu, pemanfaatan metode-metode tersebut khususnya pada citra medis masih merupakan topik penelitian yang akan terus berkembang di masa yang akan datang.

Daftar Pustaka

- [1] N. Kanwal, A. Girdhar, and S. Gupta, "Region based adaptive contrast enhancement of medical X-ray images," *5th Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng. iCBBE 2011*, 2011.
- [2] T. Kaur and R. K. Sidhu, "Optimized Adaptive Fuzzy based Image Enhancement Techniques," vol. 9, no. 1, pp. 11–20, 2016.
- [3] B. Ganesan, "Hybrid Contrast Enhancement Approach for Medical Image," no. Nectict, pp. 9–12, 2013.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 2nd ed. (2002).
- [5] S. Deepa, B. Aruna Devi, "A survey on artificial intelligence approaches for medical image classification", *Indian Journal of Science and Technology*, 2011
- [6] G. Deng, "A generalized unsharp masking algorithm", *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011
- [7] N. Bhalla, N. Kanwal, A. Girdhar and P. K. Mann, "An Approach for Contrast Enhancement of Color Images with the help of Adaptive Region Growing Approach," *International Journal of the Computer*, vol. 19, no. 3, p. 28033, September-Desember 2011.
- [8] A.H. Hustanto, B. Hidayat, Suhardjo, "Peningkatan Kualitas Radiograf Periapikal pada Deteksi Pulpitus Menggunakan *Adaptive Region Growing Approach*", Seminar Nasional Universitas PGRI Yogyakarta, 2015
- [9] N. Dusturia, B.Hidayat, Suhardjo, "Peningkatan Kualitas Citra Radiograf Periapikal Menggunakan Metode Fast Gray-Level Grouping", *Semnasteknomedia 2016*, ISSN : 2302-3805, 6-7 Februari 2016

- [10] S. Pizer, E. Amburn, J. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. Romeny, J. Zimmerman, and K.Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variations," *Comput. Vis. Graph. Image Process* Vol. 39, no. 3, pp. 355–368, Sep. 1987
- [11] J. Stark, "Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, no. 5, pp. 889–896, May 2000
- [12] Hassan, N. Y. and Akamatsu, N., "Contrast Enhancement technique of dark blurred Imagel, *International Journal of Computer Science and Network Security (IICSNS)*, Vol. 6, No. 2, 2006.
- [13] N. Mesanovic, M. Grgic, M. Males, E. Skejic and M. Smajlovic, "Automatic CT Segmentation of The Lungs with Region Growing Algorithm," [Online]. Available: http://www.vcl.fer.hr/papers_pdf/Automat%20CT%20Image%20Segmentation%20of%20the%20Lungs%20with%20Region%20Growing%20Algorithm.pdf. [Accessed 1 November 2016].
- [14] R. Pohle and K. D. Toennies, "Segmentation of Medical Image Using Adaptive Region Growing," [Online]. Available: <http://www.csee.usf.edu/~manohar/Papers/Segmentation/Segmentation%20of%20Medical%20Images%20using%20Adaptive%20region%20growing.pdf>. [Accessed 5 November 2016].
- [15] S. Deepa, B. A. Devi, "A survey on artificial intelligence approaches for medical image classification", *Indian Journal of Science and Technology, Volume 4, 2011*
- [16] R. Lakshmanan, M. S. Nair, M. Wilscy, R. Tatavarti, "Automatic contrast enhancement using Selective Grey-Level Grouping", *Int. J. Signal and Imaging Systems Engineering*, Vol. 3, No. 2, 2010
- [17] Z.Y. Chen, B. R. Abidi, D. L. Page, dan M. A. Abidi. "Gray-Level Grouping (GLG): An Automatic Method For Optimized Image Contrast Enhancement PartI: The Basic Method." *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 8, August, pp.2290–2302, 2006a.
- [18] E. Peli, "Contrast in complex images," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 7, no. 10, pp. 2032–2040, 1990
- [19] A.B. Kaswar, S. Mamase, S.B. Musa, A.M. Hadi, A. Yuniarty, A.Z. Arifin, "Parameter Sigmoid Transform Contrast Enhancement For Dental Radiograph Classification And Numbering System" *Journal of Computer Science and Information, Volume 8, Issue 2, June 2015, 2015*
- [20] D. Gaertner and K. L. Clark, "On Optimal Parameters for Ant Colony Optimization Algorithms", "Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence", vol. 1, (2005), pp. 83-89.
- [21] D. Teodorovic, P. Lucic, G. Markovic and M. Dellorco, "Bee colony optimization: principles and applications", 8th IEEE Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, (2006), pp. 151-156.
- [22] S. S. Agaian, B. Silver and K. A. Panetta, "Transform coefficient histogram-based image enhancement algorithms using contrast entropy", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 16, no. 3, (2007), pp. 741-758.
- [23] ZhiYu Chen, Besma R. Abidi, David L. Page, dan Mongi A. Abidi. "Gray-Level Grouping (GLG): An Automatic Method For Optimized Image Contrast Enhancement—PartI: The Basic Method." *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 8, August, pp.2290–2302, 2006a
- [24] M. F. Khan, E. Khan and Z. A. Abbasi, "Multi segment histogram equalization for brightness preserving contrast enhancement", *Advances in Computer Science, Engineering & Applications*, Springer, (2010), pp. 193-202.
- [25] G. Raju and M. S. Nair, "A fast and efficient color image enhancement method based on fuzzy-logic and histogram", *International Elsevier Journal of Electronics and Communications*, vol. 68, no. 3, (2014), pp. 237–243
- [26] Polesel, A. Ramponi, G. Mathews, V.J. Tele Media Int. Ltd., Frankfurt, "Image Enhancement via adaptive unsharp masking", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, Issue. 3, 2002, pp. 505-510
- [27] G. Ramponi, "A cubic unsharp masking technique for contrast enhancement," *Signal Process.* pp. 211–222, 1998

Biodata Penulis

Khasnur Hidjah, memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom), Jurusan Teknik Informatika STMIK BUMIGORA Mataram, lulus tahun 2003. Memperoleh gelar Master of Computer Science (M.Cs.) Program Pasca Sarjana Ilmu Komputer Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2010. Saat ini menjadi Dosen di STMIK BUMIGORA Mataram.

Agus Harjoko, memperoleh gelar Sarjana Elektronika dan Instrumentasi (Drs), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gajah Mada Yogyakarta, lulus tahun 1986. Memperoleh gelar Master of Science (M.Sc.), Faculty of Computer Science, University of New Brunswick, Canada, lulus tahun 1990, Memperoleh gelar Phylsophi of Doctor (Ph.D) Faculty of Computer Science, University of New Brunswick, Canada, lulus tahun 1996, Saat ini menjadi Dosen di Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Anny Kartika Sari, memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.), Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Gajah Mada Yogyakarta pada tahun 2000. Yang bersangkutan mendapatkan gelar Master of Science (M.Sc.) di bidang Telematika dari University of Twente, Belanda, pada tahun 2002. Kemudian, pada tahun 2014, memperoleh gelar Doctor of Philosophy (Ph.D) di bidang Ilmu Komputer dari La Trobe University, Australia. Saat ini yang bersangkutan merupakan Dosen di Departement Ilmu Komputer dan Elektronika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta.