

# Peningkatan Kontras Citra Mamografi Digital dengan Menggunakan CLAHE dan *Contrast Stretching*

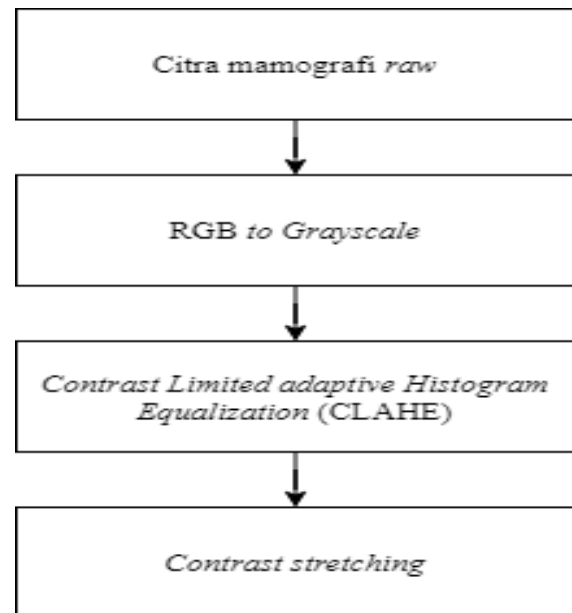
Windy Deftia Mertiana, Tri Arief Sardjono, dan Nada Fitriyatul Hikmah  
Departemen Teknik Biomedik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: sardjono@bme.its.ac.id

**Abstrak**—Kanker menjadi salah satu penyebab utama angka kematian terbesar di dunia dan kanker payudara menjadi jenis kanker dengan prevalensi paling tinggi dialami oleh perempuan. Pendeteksian dini menggunakan screening mamografi menjadi langkah efektif untuk mengetahui keberadaan kanker payudara walaupun benjolan dalam bentuk gumpalan sering kali muncul dengan tipikal kontras rendah dan seringkali buram. Oleh karena itu, dibutuhkan dokter dan radiologis untuk mendiagnosis kanker payudara melalui citra mamografi. Namun, tidak menutup kemungkinan terdapat ketidakakuratan proses diagnosis mengingat keterbatasan visual dan objektivitas dari manusia itu sendiri. Beberapa tahun terakhir penelitian mengenai pendeteksian kanker payudara melalui citra mamografi banyak dilakukan. Untuk itu, pada penelitian ini dikembangkan sebuah metode untuk meningkatkan kualitas citra mamografi dan membantu proses pendeteksian kanker payudara berbasis tekstur. Perbaikan kualitas citra berbasis *indirect contrast enhancement* dilakukan dengan menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* dan *contrast stretching* yang dilakukan secara *cascade*. Melalui pengujian yang dilakukan terhadap 120 citra, didapatkan rata-rata nilai MSE dan PSNR citra yang telah melalui proses peningkatan kontras dengan metode CLAHE sebesar 65,92 dan 29,95dB. Sedangkan nilai rata-rata MSE dan PSNR citra hasil *contrast stretching* sebesar 57,47 dan 30,62dB. Sehingga dapat dikatakan metode yang diusulkan akan sangat membantu proses segmentasi pada penelitian selanjutnya.

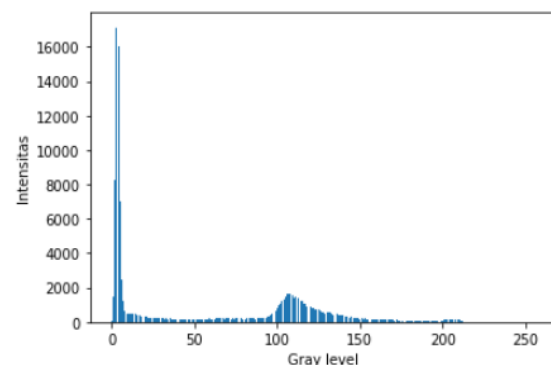
**Kata Kunci**—CLAHE, Contrast Stretching, Kanker Payudara, Mamografi.

## I. PENDAHULUAN

KANKER menjadi salah satu penyebab utama angka kematian terbesar di dunia. Berdasarkan data yang dimiliki WHO, setidaknya terdapat 9,6 juta kematian diseluruh dunia pada tahun 2018 yang disebabkan oleh kanker. Menurut data yang dikeluarkan oleh KEMENKES RI per 31 Januari 2019, pengidap kanker di Indonesia menduduki peringkat ke delapan di Asia Tenggara. Kanker payudara menjadi jenis kanker dengan prevalensi paling tinggi dialami oleh perempuan. Angka pengidap kanker payudara di Indonesia sebesar 42,1 per 100.000 penduduk dengan rata-rata kematian 17 per 100.000. Tingginya angka kematian akibat kanker payudara ini dapat ditekan denganantisipasi berupa pemeriksaan rutin serta edukasi mengenai kanker payudara. Pemeriksaan fisik, melalui metode Pemeriksaan Payudara Sendiri atau lebih dikenal dengan metode SADARI, menjadi langkah awal pendeteksian adanya kanker payudara. Kemudian untuk memastikan letak dan kebenaran adanya kanker payudara, diperlukan metode lebih lanjut yakni metode screening.

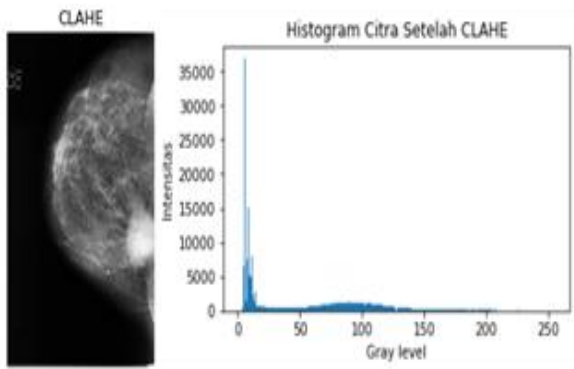


Gambar 1. Gambaran umum sistem

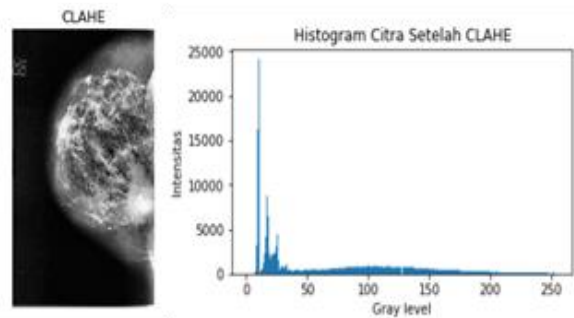


Gambar 1. Contoh histogram citra raw mamografi.

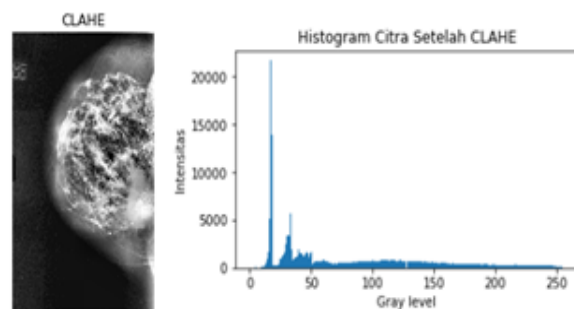
Pendeteksian dini menjadi langkah krusial untuk mencegah adanya kanker payudara [1][2][3][4][5][6]. Selama ini, pemeriksaan dengan modalitas mamografi atau screening mamografi menjadi pilihan utama dan dinilai paling efektif untuk mengetahui kemungkinan adanya jaringan kanker pada payudara [4][6][7]. Hal ini dikarenakan benjolan berupa gumpalan sering kali muncul pada citra mamografi walaupun dengan tipikal kontras rendah dan seringkali buram [3][6]. Mamografi juga dinilai murah dan memiliki sensitivitas yang tinggi pada benjolan dan mikrokalsifikasi [8][4][6]. Keberadaan modalitas mamografi yang mudah dijangkau juga menjadi aspek mengapa modalitas ini banyak digunakan [4][6]. Oleh karena itu, ketersediaan dokter dan radiologis yang mempunyai



Gambar 5. Hasil CLAHE dan histogram citra B\_3065\_1.RIGHT\_CC pada clip limit = 2.0.



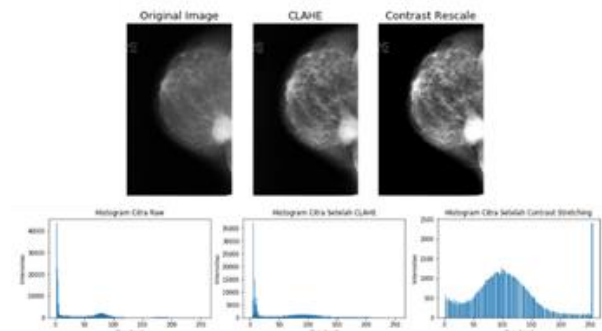
Gambar 6. Hasil CLAHE dan histogram citra B\_3065\_1.RIGHT\_CC pada clip limit = 7.0.



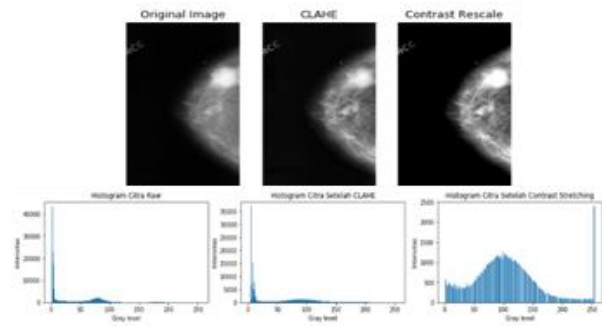
Gambar 7. Hasil CLAHE dan histogram citra B\_3065\_1.RIGHT\_CC pada clip limit = 15.0.

kapabilitas dalam bidang ini sangat dibutuhkan dalam hal mendiagnosis kanker payudara melalui citra mamografi. Namun, tidak menutup kemungkinan terdapat ketidakakuratan proses diagnosis [1][6] mengingat keterbatasan visual dan objektivitas dari manusia itu sendiri. Untuk itu, sistem berbasis komputer yang dapat membantu proses diagnosis sangat dikembangkan beberapa tahun terakhir [9].

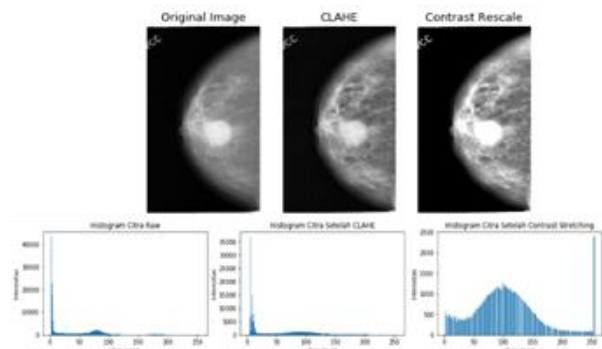
Pada penelitian ini diusulkan sebuah metode untuk meningkatkan kontras citra mamografi dan membantu proses pendeteksian kanker payudara berbasis tekstur. Perbaikan kualitas citra berbasis *indirect contrast enhancement* menjadi pilihan yang banyak dilakukan pada tahap pra-proses citra mamografi. Perbaikan kualitas citra dengan metode ini tidak mengubah struktur citra secara langsung, melainkan melalui manipulasi histogram. Pada proses ini digunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dan *contrast stretching* yang diterapkan secara *cascade*. Penggunaan metode ini akan sangat membantu dalam proses pendeteksian kanker payudara berbasis tekstur karena pada umumnya proses segmentasi berbasis tekstur sangat memperhatikan sebaran intensitas keabuan pada



Gambar 2. Perbandingan hasil perbaikan kontras citra serta histogram citra B\_3065\_1.RIGHT\_CC.



Gambar 3. Perbandingan hasil perbaikan kontras citra serta histogram citra C\_0022\_1.RIGHT\_CC.



Gambar 4. Perbandingan hasil perbaikan kontras citra serta histogram citra C\_0051\_1.RIGHT\_CC.

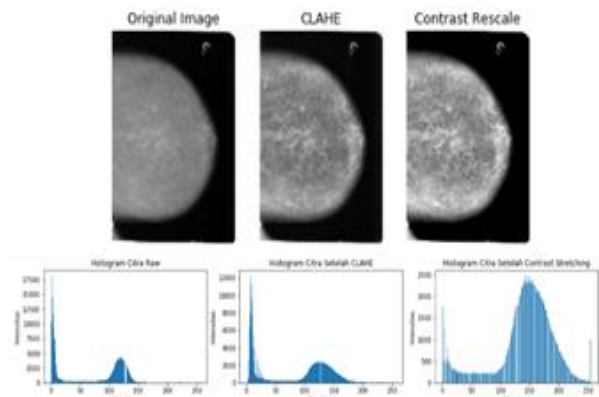
daerah lokal. Sehingga penggunaan metode ini diharapkan dapat memudahkan untuk memisahkan antara jaringan kanker dan jaringan normal pada citra mamografi dan membantu dokter dalam proses pembacaan citra.

## II. PERANCANGAN SISTEM

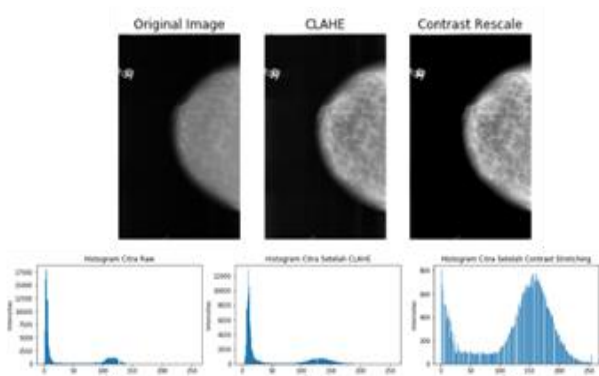
### A. Gambaran Umum Cara Kerja Sistem

Peningkatan kualitas citra yang dirancang memiliki dua proses utama yakni *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dan *contrast stretching* seperti pada Gambar 1. Hal ini dilakukan karena kontras pada citra mamografi tergolong rendah, seperti pada Gambar 2, sehingga seringkali terlihat *overlapping* antara jaringan kanker dan jaringan normal. Oleh karena itu, agar memudahkan dan meningkatkan efektifitas proses segmentasi diperlukan perbaikan kontras. Metode CLAHE dipilih karena dinilai menjadi metode yang baik jika diterapkan pada citra mamografi[10].

Pemrosesan citra dimulai dengan mengubah format citra mamografi yang semula memiliki format RGB menjadi grayscale sesuai dengan Persamaan 1.



Gambar 8. Perbandingan hasil perbaikan kontras citra serta histogram citra B\_3621\_1.LEFT\_CC.



Gambar 9. Perbandingan hasil perbaikan kontras citra serta histogram citra B\_3622\_1.RIGHT\_CC.

Tabel 1.  
Pengujian nilai *clip limit* metode CLAHE pada citra B\_3065\_1.RIGHT\_CC

No	Clip limit	MSE	PSNR (dB)
1	2.0	63,78	30,08
2	5.0	75,59	29,34
3	7.0	83,00	28,93
4	10.0	92,99	28,44
5	15.0	130,27	26,98

$$grayscale = (0,2126R) + (0,7152G) + (0,0722B) \quad (1)$$

Hal ini dilakukan karena pada dasarnya persamaan pemrosesan citra dilakukan dalam domain dua dimensi. Kemudian modifikasi histogram citra dilakukan dengan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Enhancement* (CLAHE) yang diikuti dengan *contrast stretching*.

**B. Data**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah citra *open source* dari *Digital Database for Screening Mamografi* (DDSM) [11] yang terdiri dari 120 citra dengan resolusi 50 mikron. Citra dipilih berdasarkan pasien yang memiliki komposisi jaringan payudara dengan kepadatan kategori 1, 2, dan 3 baik dengan kondisi normal maupun kanker.

**C. CLAHE**

Proses perbaikan kualitas citra yang pertama adalah metode CLAHE. Metode ini dilakukan dengan membagi citra

Tabel 2.  
Perbandingan nilai entropi histogram citra raw, entropi histogram hasil metode CLAHE, dan entropi histogram hasil *contrast stretching*

No	Nama File	Nilai Entropi		
		Citra Raw	CLAHE	Contrast Stretching
1	B_3065_1.RIGHT_CC	3,79	4,25	4,93
2	C_0022_1.RIGHT_CC	3,38	3,96	5,05
3	C_0051_1.RIGHT_CC	4,14	4,65	4,96
4	B_3621_1.LEFT_CC	3,45	4,01	4,85
5	B_3622_1.RIGHT_CC	3,50	4,05	4,86

Tabel 3.  
Perbandingan nilai rata-rata intensitas citra raw, rata-rata intensitas hasil metode CLAHE, dan rata-rata intensitas hasil *contrast stretching*

No	Nama File	Nilai Rata-Rata Intensitas		
		Citra Raw	CLAHE	Contrast Stretching
1	B_3065_1.RIGHT_CC	36,48	50,54	51,60
2	C_0022_1.RIGHT_CC	27,10	38,93	37,28
3	C_0051_1.RIGHT_CC	58,03	70,83	77,51
4	B_3621_1.LEFT_CC	68,61	80,20	90,33
5	B_3622_1.RIGHT_CC	35,69	47,52	46,97

menjadi beberapa bagian sub citra, berdasarkan ukuran *structuring element*, untuk selanjutnya dilakukan penentuan batas tertentu untuk memotong citra. *Clip limit* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 2.0 dengan ukuran *structuring element* untuk membagi citra sebesar 8x8. Pemotongan intensitas pada histogram citra dilakukan secara rekursif agar intensitas tersebar merata sedemikian sehingga intensitas tidak melebihi nilai *clip limit* yang ditentukan. Pada penelitian ini ukuran *structuring element* ditentukan sebagai variabel tetap sehingga pengujian hanya dilakukan terhadap nilai *clip limit*.

**D. Contrast Stretching**

*Contrast stretching* atau biasa disebut dengan normalisasi distribusi keabuan merupakan teknik peningkatan kualitas citra dengan merentangkan rentang intensitas pada nilai-nilai tertentu seperti pada Persamaan 2 dengan keterangan nilai a dan b sebagai batas bawah dan batas atas. Kemudian nilai intensitas piksel terendah dan tertinggi pada batas a-b bernilai c dan d.

$$P_{out} = (P_m - c) \left( \frac{b - a}{d - c} \right) + a \quad (2)$$

Tabel 4.

Perbandingan nilai standar deviasi histogram citra raw, standar deviasi histogram hasil metode CLAHE, dan standar deviasi histogram hasil *contrast stretching*

No	Nama File	Nilai Standar Deviasi Histogram		
		Citra Raw	CLAHE	Contrast Stretching
1	B_3065_1.RIGHT_CC	41,86	41,86	64,67
2	C_0022_1.RIGHT_CC	42,24	42,24	64,42
3	C_0051_1.RIGHT_CC	59,35	59,35	83,66
4	B_3621_1.LEFT_CC	56,50	56,50	79,39
5	B_3622_1.RIGHT_CC	47,85	47,85	72,18

Metode ini dilakukan untuk memperjelas keberadaan abnormalitas pada citra mamografi. Sehingga proses pendeteksian jaringan kanker payudara dengan metode segmentasi berbasis tekstur semakin mudah dilakukan. Penentuan batas atas dan batas bawah pada penelitian ini dilakukan secara trial and error sedemikian sehingga didapatkan citra dengan kontras yang cukup baik. Penggunaan trial and error diperkuat dengan pengujian terhadap perbandingan nilai MSE dan PSNR antara citra hasil CLAHE dan citra hasil *contrast stretching*.

E. Pengujian

Pengujian pada penelitian ini digunakan beberapa metode. Pada masing-masing tahap peningkatan kontras, dipaparkan histogram citra sebelum dan setelah dilakukan perbaikan kontras. Selain itu dilakukan perhitungan terhadap nilai statistik histogram citra seperti, entropi, standar deviasi, dan rata-rata intensitas keabuan. Histogram citra akan memperlihatkan persebaran nilai keabuan pada citra sehingga dapat digunakan untuk mengukur peningkatan kontras citra yang dilakukan. Nilai entropi didapatkan dari sebaran histogram citra yang perhitungannya dapat dilakukan dengan Persamaan 3 dimana  $P(i,j)$  merupakan jumlah intensitas  $i$  pada nilai grayscale ke  $j$ .

$$entropi = \sum_{i,j} P(i,j) \log P(i,j) \tag{3}$$

Semakin besar nilai entropi maka menunjukkan tingkat keabuan citra yang beragam. Selain entropi, kualitas kontras citra dapat dilihat menggunakan nilai standar deviasi. Standar deviasi dapat memberikan informasi rata-rata kontras citra. Semakin tinggi nilai standar deviasi maka kontras semakin tinggi. Perhitungan hasil perbaikan kontras juga dilakukan dengan menghitung nilai *Mean Square Error* (MSE) antara citra asli dengan citra yang telah ditingkatkan kontrasnya dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) sesuai dengan Persamaan 4 dan Persamaan 5 dimana  $S_{xy}$  menunjukkan piksel ke  $x,y$  pada citra dengan kontras yang telah ditingkatkan,  $C_{xy}$  menunjukkan piksel ke  $x,y$  pada citra *raw*. Sedangkan pada

Tabel 5.

Perbandingan nilai MSE serta PSNR pada citra hasil CLAHE dan citra hasil *contrast stretching*

No	Nama File	CLAHE		Contrast Stretching	
		MSE	PSNR (dB)	MSE	PSNR (dB)
1	B_3065_1.RIG HT_CC	63,78	30,08	56,43	30,61
2	C_0022_1.RIG HT_CC	58,10	30,48	39,85	32,12
3	C_0051_1.RIG HT_CC	73,07	29,49	63,98	30,06
4	B_3621_1.LEF T_CC	71,02	29,61	74,15	29,42
5	B_3622_1.RIG HT_CC	63,65	30,09	52,92	30,89

PSNR,  $\max C$  merupakan nilai piksel tertinggi pada citra yang ingin diuji. Jika nilai PSNR citra di atas 30dB maka kualitas citra dapat dikatakan baik.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - C_{xy})^2 \tag{4}$$

$$PSNR = 10 \log \frac{1 \max C^2}{MSE} \tag{5}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. RGB to Grayscale

Perubahan format citra dilakukan untuk mempermudah komputasi citra karena pada dasarnya persamaan pemrosesan citra bekerja dalam domain 2 dimensi (i,j). Pada proses RGB to grayscale, dimensi ketiga citra *raw* mamografi disimpan dalam kanal R, G, dan B. Kemudian nilai dari masing-masing baris kanal diproses menggunakan Persamaan 1. Keluaran dari proses ini merupakan citra grayscale 2 dimensi 64-bit dengan range intensitas dari 0-1. Untuk itu, perlu dilakukan normalisasi intensitas menjadi 0-255 dengan mengalikan tiap intensitas piksel dengan 255 sehingga format citra menjadi grayscale 8-bit. Hal ini dilakukan agar memperkecil memori yang dibutuhkan oleh citra mamografi *raw*.

B. CLAHE

Pengolahan citra dengan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dilakukan pada citra mamografi grayscale 8-bit. pada tahap ini *clip limit* yang digunakan sebesar 2.0 dengan *structuring element* 8x8. Parameter *clip limit* yang diambil ditetapkan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan. Nilai *clip limit* akan memengaruhi tingkat pemotongan pada histogram. Pemberian nilai *clip limit* yang terlampau besar dapat

membuat citra menjadi *over contrast* sehingga citra terlampaui terang. Pengujian MSE serta PSNR dilakukan untuk menentukan clip limit yang optimal pada tugas akhir ini, hasilnya pada clip limit 7.0 dan 15.0 nilai PSNR jatuh di bawah angka 30 dB. Hal ini mengindikasikan bahwa citra output memiliki tingkat kemiripan yang rendah dengan citra asli atau dengan kata lain distorsi pada citra asli terlihat jelas. Disamping itu, nilai MSE pada clip limit 2.0, 7.0 dan 15.0 meningkat yang mengindikasikan semakin besar clip limit maka error yang dihasilkan juga semakin besar. Tabel 1 menunjukkan perbandingan nilai PSNR citra *raw* dengan citra hasil peningkatan kontras dengan CLAHE pada *clip limit* berbeda. Sedangkan Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 menunjukkan citra serta histogram pengujian *clip limit* yang diterapkan pada citra mamografi B\_3065\_1.RIGHT\_CC.

### C. Contrast Stretching

Pada tahap ini dilakukan normalisasi histogram pada hasil citra CLAHE. Hal ini dilakukan agar pendeteksian kanker payudara dengan metode segmentasi berbasis tekstur semakin mudah dan efektif. Segmentasi berbasis tekstur memperhitungkan nilai keabuan pada tiap piksel citra. Untuk itu intensitas pada tiap-tiap tingkat keabuan di normalisasi sehingga distribusi keabuan merata. Metode *contrast stretching* menggunakan batas atas serta batas bawah dalam merentangkan rentang intensitas histogram pada nilai-nilai tertentu. Melalui nilai tersebut intensitas baru dikalkulasi berdasarkan rentang antar batas.

Batas atas dan batas bawah yang digunakan pada tugas akhir ini berturut-turut sebesar 20 dan 200. Nilai batas-batas ini ditentukan dengan cara *trial and error* dengan memperhitungkan sebaran histogram citra output. Selain itu dilakukan juga perhitungan statistik pada citra seperti entropi, rata-rata intensitas keabuan, dan standar deviasi. Perhitungan tersebut dinilai dapat menjadi acuan efektifitas peningkatan kontras citra. Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 berturut-turut menunjukkan perbandingan nilai-nilai statistik entropi, rata-rata intensitas keabuan, nilai standar deviasi, serta nilai MSE dan PSNR. Sedangkan untuk hasil peregangkan kontras pada citra mamografi B\_3065\_1.RIGHT\_CC, C\_0022\_1.RIGHT\_CC, C\_0051\_1.RIGHT\_CC, B\_3622\_1.LEFT\_CC, B\_3622\_1.RIGHT\_CC berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.

Pada pemrosesan dengan metode *contrast stretching* penentuan nilai batas atas dan batas bawah sangat berpengaruh pada citra output. Jika ditinjau dari hasil perhitungan entropi, rata-rata intensitas keabuan, dan standar deviasi nilai yang didapat cenderung meningkat dari citra raw, citra CLAHE dan citra *contrast stretching*. Selain itu, jika ditinjau dari histogram citra raw, citra CLAHE dan citra *contrast stretching* sebaran intensitas cenderung lebih besar. Sesuai dengan nilai entropi yang semakin meningkat, maka semakin besar nilai entropi suatu histogram maka intensitas keabuan citra semakin beragam. Hal ini didukung dengan nilai standar deviasi yang semakin besar. Semakin besar nilai standar deviasi maka sebaran data atau intensitas keabuan semakin luas. Sebaran intensitas citra yang semakin luas ini akan membantu dalam proses segmentasi berbasis tekstur.

### D. Pengujian Terhadap Keseluruhan Data Uji

Setelah dilakukan pengujian terhadap 120 data uji, maka didapatkan nilai rata-rata MSE dan nilai rata-rata PSNR citra hasil CLAHE sebesar 65,92 dan 29,95 dB. Sedangkan nilai rata-rata MSE dan nilai rata-rata PSNR citra hasil *contrast stretching* sebesar 57,47 dan 30,62 dB. Melalui hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa nilai MSE menurun dan PSNR meningkat. Turunnya nilai MSE menunjukkan bahwa *error* yang ada pada citra semakin kecil. Sedangkan meningkatnya nilai PSNR menunjukkan bahwa distorsi yang ada pada citra mamografi semakin berkurang. Nilai akhir PSNR yang diatas 30 dB mengindikasikan bahwa kualitas citra semakin baik.

## IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan sebuah metode untuk meningkatkan kontras citra mamografi menggunakan dua metode *histogram equalization* yang diimplementasikan secara *cascade*. Melalui proses pengujian yang telah dilakukan terhadap algoritma, dengan 120 citra uji, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan. Pertama metode CLAHE dapat meningkatkan kontras citra mamografi dengan pengaruh nilai *clip limit* yang digunakan. Semakin besar nilai clip limit maka kontras akan semakin tinggi. Namun, juga akan menyebabkan *over contrast* sehingga diperlukan nilai *clip limit* optimum. Kedua, metode *contrast stretching* terbukti dapat meratakan sebaran intensitas sehingga kontras citra mamografi semakin meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Guzman-Cabrera *et al.*, "Digital image processing technique for breast cancer detection," *Int. J. Thermophys.*, vol. 34, no. 8–9, pp. 1519–1531, 2013, doi: 10.1007/s10765-012-1328-4.
- [2] A. S. A. Bin Sama and S. M. S. Baneamoon, "Breast cancer classification enhancement based on entropy method," *Int. J. Eng. Appl. Comput. Sci.*, vol. 02, no. 08, pp. 267–271, 2017, doi: 10.24032/ijeacs/0208/06.
- [3] A. K. Singh and B. Gupta, "A novel approach for breast cancer detection and segmentation in a mammogram," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 54, pp. 676–682, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.06.079.
- [4] N. M. Basheer and M. H. Mohammed, "Segmentation of breast masses in digital mammograms using adaptive median filtering and texture analysis," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [5] M. A. Al-Masni *et al.*, "Detection and classification of the breast abnormalities in digital mammograms via regional convolutional neural network," in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, Sep. 2017, pp. 1230–1233, doi: 10.1109/EMBC.2017.8037053.
- [6] A. P. Singh and B. Singh, "Texture features extraction in mammograms using non-shannon entropies," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2010, vol. 68 LNEE, pp. 341–351, doi: 10.1007/978-90-481-9419-3\_26.
- [7] A. Mencattini, M. Salmeri, R. Lojacono, M. Frigerio, and F. Caselli, "Mammographic images enhancement and denoising using dyadic wavelet processing," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 7, pp. 1422–1430, 2008, doi: 10.1109/TIM.2007.915470.
- [8] M. J. Bottema, G. N. Lee, and S. Lu, "Automatic image feature extraction for diagnosis and prognosis of breast cancer, in Artificial intelligence techniques in breast cancer diagnosis and prognosis, series in machine perception and artificial intelligence," *World Sci. Publ. C*, vol. 39, pp. 17–54, Aug. 2000, doi: 10.1142/9789812792488\_0002.
- [9] D. Cascio *et al.*, "Mammogram segmentation by contour searching and mass lesions classification with neural network," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, no. 5, pp. 2827–2833, Oct. 2006, doi: 10.1109/TNS.2006.878003.
- [10] K. Akila, L. S. Jayashree, and A. Vasuki, "Mammographic image enhancement using indirect contrast enhancement techniques,"

*Procedia Comput. Sci.*, vol. 47, pp. 255–261, 2015, doi:  
10.1016/j.procs.2015.03.205.  
[11] M. Heath, K. Bowyer, D. Kopans, R. Moore, and W. P. Kegelmeyer,

“The digital database for screening mammography,” in *Proceedings of the Fifth International Workshop on Digital Mammography*, 2001, pp. 212–218.