

KUALITAS CITRA PADA DIRECT DIGITAL RADIOGRAPHY DAN COMPUTED RADIOGRAPHY

Sri Zelviani*

*) Dosen Pada Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar
E-mail : zelviani.sri@gmail.com

Abstract : *The measurement of image quality on Direct Digital Radiography (DR) and Computed Radiography (CR) had been conducted by using baby phantom as the object with abdomen (AP) examining area. The measurement of image quality was analyzed using ImageJ software i.e. histogram analysis and SNR (Signal to Noise Ratio) calculation. The results indicate that value of SNR analysis on CR is higher than DR for both measurement results. Gray level distribution of histogram analysis on DR wider than CR.*

Keywords: *Direct Digital Radiography, Computed Radiography, Radiation Dose, Image Quality, Signal to Noise Ratio*

PENDAHULUAN

Perkembangan radiografi diawali sejak penemuan sinar-X pada tahun 1895 oleh Wilhelm C. Rongent. Radiografi merupakan metode uji tak rusak (*Non-destructive Testing*, NDT) yang digunakan untuk menguji suatu spesimen. Radiografi menggunakan sinar pengion yaitu sinar-X untuk membentuk bayangan benda yang dikaji pada film. Penggunaan sinar-X dalam teknik radiografi dimungkinkan karena sinar-X mempunyai daya tembus yang besar, setelah menembus obyek intensitas sinar-X akan mengalami pelemahan. Besarnya pelemahan intensitas sinar-X setelah menembus obyek ditentukan oleh koefisien serapan obyek (μ) terhadap sinar-X.

Saat ini aplikasi teknologi radiasi sinar-X semakin berkembang di berbagai bidang, salah satu diantaranya adalah pemanfaatan sinar-X dalam bidang medis. Teknologi diagnostik medis yang digunakan oleh unit radiologi di rumah sakit modern saat ini sudah bergeser dari teknologi analog berbasis film menjadi teknologi digital (*filmless*). Dalam bidang radiodiagnostik, kualitas radiograf sangat berpengaruh dalam penentuan ketepatan diagnosa suatu penyakit. Namun demikian, sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), setiap pemanfaatan sumber radiasi selalu menghendaki adanya penerimaan dosis serendah mungkin terhadap pasien, pekerja radiasi maupun masyarakat. Menurut

Conference Radiation Control Program Director, Incoorporation USA, kontribusi terbesar dari total paparan radiasi terhadap manusia diperoleh dari pemeriksaan radiodiagnostik. Hal penting yang dilakukan dalam pemeriksaan radiologi adalah cara memperoleh radiograf yang berkualitas dengan paparan terkecil.

Sehubungan dengan pemanfaatan aplikasi teknologi dalam pemeriksaan radiologi serta pentingnya keselamatan pasien terhadap pengawasan keselamatan radiasi seperti yang telah diuraikan diatas, khususnya untuk para pasien pediatrik yang mempunyai peluang besar dalam pengulangan pemeriksaan medik, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas citra radiograf pada radiografi digital dengan sistem *direct digital radiography/direct radiography* (DDR/DR) dan *computed radiography* (CR) untuk pasien pediatrik di bagian instalasi radiologi RSUP. Dr. Sardjito Yogyakarta.

DASAR TEORI

A. Interaksi sinar-X dengan materi

Interaksi antara sinar-X dengan materi mengakibatkan terjadinya pemindahan energi dari radiasi kepada materi. Interaksi foton sinar-X dengan materi dapat menyebabkan terjadinya hamburan koheren, efek compton, efek fotolistrik, produksi pasangan dan *photodisintegration*. Untuk hamburan koheren, produksi pasangan, dan *photodisintegration* tidak dimanfaatkan pada diagnosis radiologi. Hamburan compton dan efek fotolistrik menyebabkan sinar-X yang mengenai bahan akan mengalami pengurangan energi dan intensitas. Apabila intensitas sinar-X yang datang pada bahan ($x = 0$) sebesar I_0 dan melewati suatu bahan setebal x dari bahan yang memiliki jumlah atom n tiap satuan luas maka intensitas sinar-X setelah melewati bahan setebal x yaitu I_x , jadi intensitas sinar-X itu fungsi ketebalan bahan yang dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$I_x = I(x) = I_0 e^{(-\mu x)} \quad (3.1)$$

dengan I_0 adalah intensitas sinar-X yang datang pada bahan, μ adalah koefisien atenuasi linear (koefisien serapan) sinar-X.

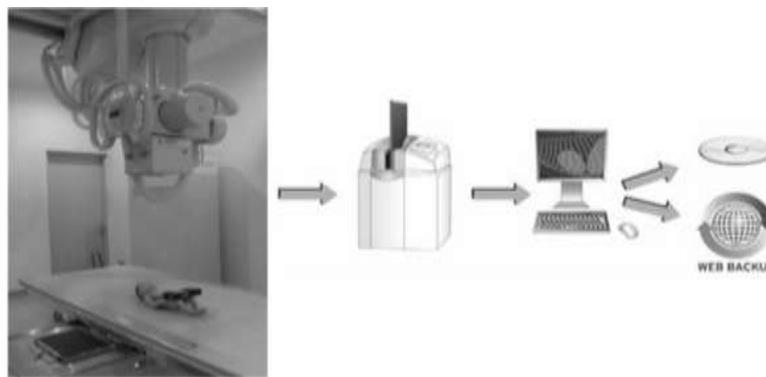
1. *Computed Radiography* (CR)

CR adalah proses digitasi gambar yang menggunakan *photostimulable plate* untuk akuisisi data gambar. Pada dasarnya CR sama dengan radiografi konvensional, hanya saja penerima gambar yang digunakan adalah *photostimulable phosphor plate* sebagai *imaging plate* (IP), yaitu sebagai pengganti kaset yang berisi *film-screen*.

IP merupakan lembaran yang dapat menangkap dan menyimpan bayangan laten. Setelah dieksposi dengan sinar-X, maka IP akan menghasilkan gambar

laten. IP yang telah dieksposi dimasukkan dalam slot pada *image plate reader device* yang merupakan alat pengolah dari gambaran laten menjadi data digital.

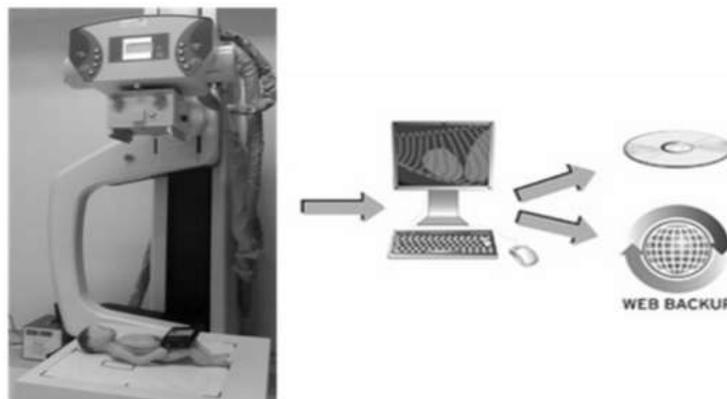
Gambaran laten pada IP dibaca menggunakan *laser scanner* dengan *helium-neon laser* (emisi cahaya merah dengan panjang gelombang 633 nM) sehingga kristal pada IP menghasilkan cahaya biru-violet (panjang gelombang 390-400 nM). Cahaya ini kemudian dideteksi oleh *photosensor* dan dikirim melalui *analog digital converter* ke komputer untuk diproses. Setelah gambar diperoleh, IP ditransfer ke bagian lain dari *image plate reader device* untuk menghapus sisa-sisa gambar dan IP dapat digunakan kembali. Skema alur kerja untuk sistem CR terdapat pada gambar berikut :



Gambar 1. Skema alur kerja sistem *Computed Radiography*

2. *Direct Digital Radiography (DDR)*

Sistem DDR atau yang sering juga disebut sebagai *Direct Radiography (DR)* merupakan sistem baru pada pesawat rontgen digital yang berkembang saat ini dimana *image* atau gambar hasil dari objek radiografi diubah kedalam format digital secara *real-time* dengan menggunakan sensor berupa *flat panel* atau *charge coupled devices (CCD)*, sehingga tidak diperlukan menggunakan *cassette reader* untuk mendapatkan gambar secara digital seperti pada sistem CR. Skema alur kerja sistem DR seperti pada gambar berikut :



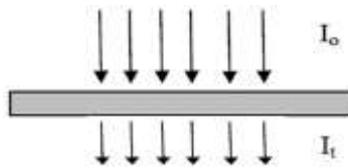
Gambar 2. Skema alur kerja sistem *Direct Digital Radiography*

B. Kualitas Radiograf/Citra

Kualitas radiograf adalah kemampuan radiograf dalam memberikan informasi yang jelas mengenai objek atau organ yang diperiksa. Kualitas radiograf ditentukan beberapa faktor yaitu: densitas, kontras, ketajaman, dan detail

1. Densitas Optik

Densitas merupakan derajat kehitaman dari suatu radiograf. Densitas optik adalah logaritma perbandingan dari 10 tingkatan dari nilai penyinaran yang dilewatkan pada film. Densitas tertinggi yang dapat dihasilkan adalah bernilai 4 dan densitas terendah bernilai kurang dari 0,2. Nilai densitas yang dapat dilihat langsung oleh mata manusia berkisar antara 0,25 – 2,5 yang dikenal dengan rentang densitas guna. Gambar berikut merupakan skema pembentukan dari nilai densitas :



Gambar 3. Skema pembentukan nilai densitas

Densitas dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut :

$$D = \log \left(\frac{I_0}{I_t} \right) \quad (3.2)$$

Keterangan ; D adalah densitas, I_0 adalah intensitas sinar-X sebelum menembus materi, I_t adalah intensitas sinar-X setelah menembus materi.

2. Kontras

Kontras (*contrast*) adalah perbedaan derajat kehitaman antara bagian yang membentuk radiograf. Perbedaan derajat kehitaman dirumuskan dengan :

$$C = D_2 - D_1 \quad (3.3)$$

Keterangan; C menyatakan kontras, D_2 menyatakan densitas pada daerah ke-2, dan D_1 menyatakan densitas pada daerah 1. Kontras dari sebuah citra merupakan perbedaan visual yang membuat suatu representasi obyek dapat dibedakan terhadap obyek lain dan terhadap *background*-nya. Kontras citra dapat diamati secara kuantitatif berdasarkan lebar variasi derajat keabuan (*gray level*) dalam citra yang ditunjukkan melalui histogram derajat keabuannya.

3. Ketajaman

Radiograf dikatakan memiliki ketajaman optimum apabila batas antara bayangan satu dengan bayangan lain dapat terlihat jelas. Ketidaktajaman suatu radiograf dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: faktor geometri, faktor sistem perekaman bayangan, efek paralak, karakteristik film dan faktor pergerakan.

4. Detail

Detail radiograf dapat menggambarkan ketajaman dengan struktur-struktur terkecil dari radiograf. Faktor-faktor yang berpengaruh pada detail adalah faktor geometri antara lain FFD (*Focus Film Distance*), FOD (*film Object Distance*) dan ukuran *focal spot*.

C. Parameter Analisis Kontras Citra Digital

1. Histogram citra

Histogram merupakan grafik yang menunjukkan frekuensi kemunculan setiap nilai gradasi warna. Bila digambarkan pada koordinat kartesian; sumbu-X (absis) menunjukkan tingkat warna dan sumbu-Y (ordinat) menunjukkan frekuensi kemunculan.

Histogram citra menunjukkan banyak hal tentang kecerahan dan kontras dari sebuah gambar. Puncak histogram menunjukkan intensitas *pixel* yang menonjol. Lebar dari puncak menunjukkan rentang kontras dari gambar. Citra yang mempunyai kontras terlalu terang atau terlalu gelap memiliki histogram yang sempit, histogramnya terlihat hanya menggunakan setengah dari daerah derajat keabuan. Citra yang baik memiliki histogram yang mengisi daerah derajat keabuan secara penuh dengan distribusi yang merata pada setiap derajat keabuan *pixel*.

2. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio didefinisikan sebagai rasio antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya derau (*noise*). definisi dari SNR disebut sebagai kebalikan dari koefisien variasi, yaitu; rasio berarti untuk standar deviasi dari suatu sinyal atau pengukuran, dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma} \quad (3.4)$$

dengan μ adalah sinyal rata-rata atau nilai yang diharapkan dan σ adalah standar deviasi kebisingan. SNR dari suatu gambar biasanya dihitung sebagai rasio dari rata-rata nilai piksel dengan standar deviasi dari nilai piksel yang diberikan disekitarnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dengan pendekatan eksperimental melalui pengukuran kualitas citra radiograf pada sistem DR dan CR di instalasi radiologi RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta. Pada penelitian ini besaran *exposure* yang digunakan untuk pemeriksaan radiografi pada pasien pediatrik, dengan

variasi eksposi (5 variasi eksposi), dengan nilai kV dan mAs adalah seperti pada tabel 1 dibawah ini :

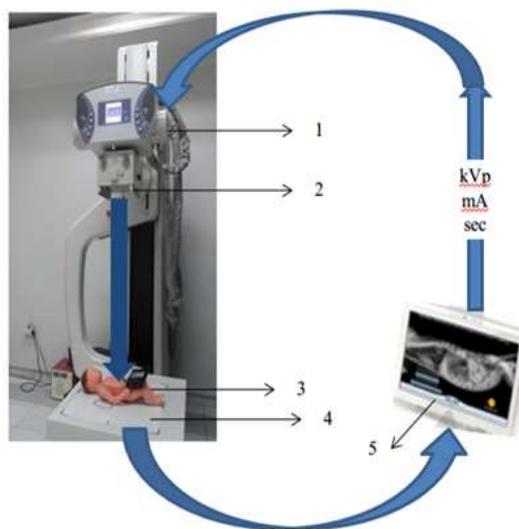
Tabel 1. Variasi eksposi untuk penelitian

N O	Setting		
	Tegangan tabung (kV)	mAs	
		DR	CR
1	40	6,32	6,30
2	45	6,32	6,30
3	50	6,30	6,30
4	55	6,30	6,30
5	60	6,30	6,30

1. Instrumen Penelitian

Alat dan obyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

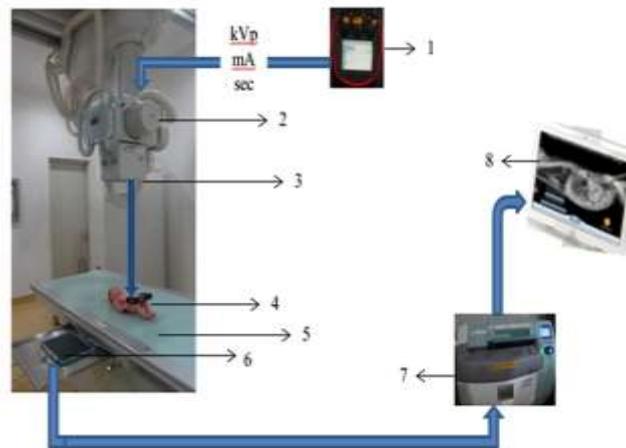
- a. Seperangkat sistem radiografi digital sinar-X dengan sistem DR yang terdapat di RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta, ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. Pesawat sinar-X, sistem DR

Ket: (1) Tabung sinar-X, (2) Kolimator, (3) Obyek, (4) Meja pemeriksaan, (5) Monitor penampil/viewer

- b. Seperangkat sistem radiografi digital sinar-X dengan sistem CR yang terdapat di RSUP. Dr. Sardjito Yogyakarta, ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 5. Pesawat sinar-X, sistem CR

Ket: (1) Control panel (2) Tabung sinar-X, (3) Kolimator, (4) Obyek, (5) Meja pemeriksaan, (6) Image Plate/kaset, (7) Image plate reader device, (8) Monitor/viewer

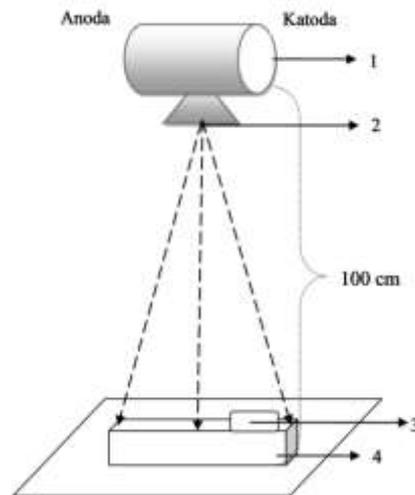
- c. Alat deteksi radiasi; Surveymeter Digilert-50
d. Phantom bayi sebagai pengganti pasien dengan pemeriksaan abdomen

2. Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

3. Skema Penelitian



Gambar 7. Skema penelitian,
Ket: (1) Tabung sinar-X, (2) Berkas sinar-X, (3) Surveymeter, (4) Phantom

4. Analisa hasil penelitian

Analisis kualitas citra antara prosedur pencitraan yang menggunakan sistem DR dan CR dilakukan dengan menggunakan *Software ImageJ* yang meliputi analisis histogram dan perhitungan nilai SNR.

Dalam penelitian ini, *ImageJ* digunakan untuk menganalisa histogram citra, melalui analisis histogram citra dapat diketahui tentang kecerahan dan kontras dari sebuah citra. Citra yang akan dianalisis terlebih dahulu dilakukan proses *cropping* untuk menentukan area citra yang akan dianalisis. Selanjutnya dilakukan analisis histogram dari sebuah citra sehingga dapat diperoleh rata-rata nilai piksel dan standar deviasinya sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai SNR-nya.

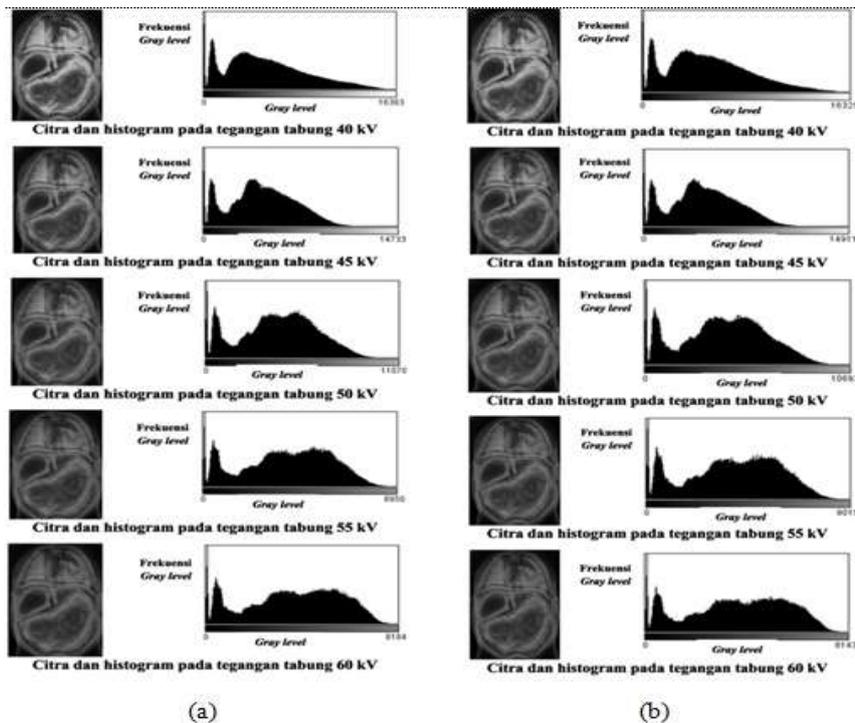
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Histogram

Histogram merupakan grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas *pixel*. Histogram citra menunjukkan banyak hal tentang kecerahan dan kontras dari sebuah gambar. Puncak histogram menunjukkan intensitas *pixel* yang menonjol. Lebar dari puncak menunjukkan rentang kontras dari gambar. Berdasarkan grafik histogram dapat diketahui bahwa citra itu gelap atau terang. Suatu citra dikatakan gelap apabila banyaknya grafik pada daerah minimum. Citra yang memiliki kontras lebih terang atau gelap memiliki histogram yang sempit dan histogramnya terlihat hanya menggunakan setengah daerah derajat keabuan. Citra yang baik mengisi daerah derajat keabuan secara penuh dengan distribusi yang merata pada setiap nilai intensitas *pixel*.

Pada Gambar 8 (a) berikut merupakan citra hasil dan histogram untuk sistem DR dengan penggunaan grid. bila ditinjau dari rentang *gray level*-nya, terlihat rentang histogram dari kelima gambar memiliki rentang nilai *gray level* yang berbeda. Untuk sistem DR dengan penggunaan grid, rentang distribusi *gray level* paling lebar pada penggunaan tegangan tabung 40 kV dan paling sempit pada tegangan tabung 60 kV. Semakin besar nilai tegangan tabung yang digunakan range distribusi *gray level* semakin sempit. Untuk histogram citra pada tegangan tabung 40 kV dan 45 kV terlihat grafik histogramnya berkumpul pada daerah minimum sehingga citranya terlihat cenderung lebih gelap dari citra yang lainnya.

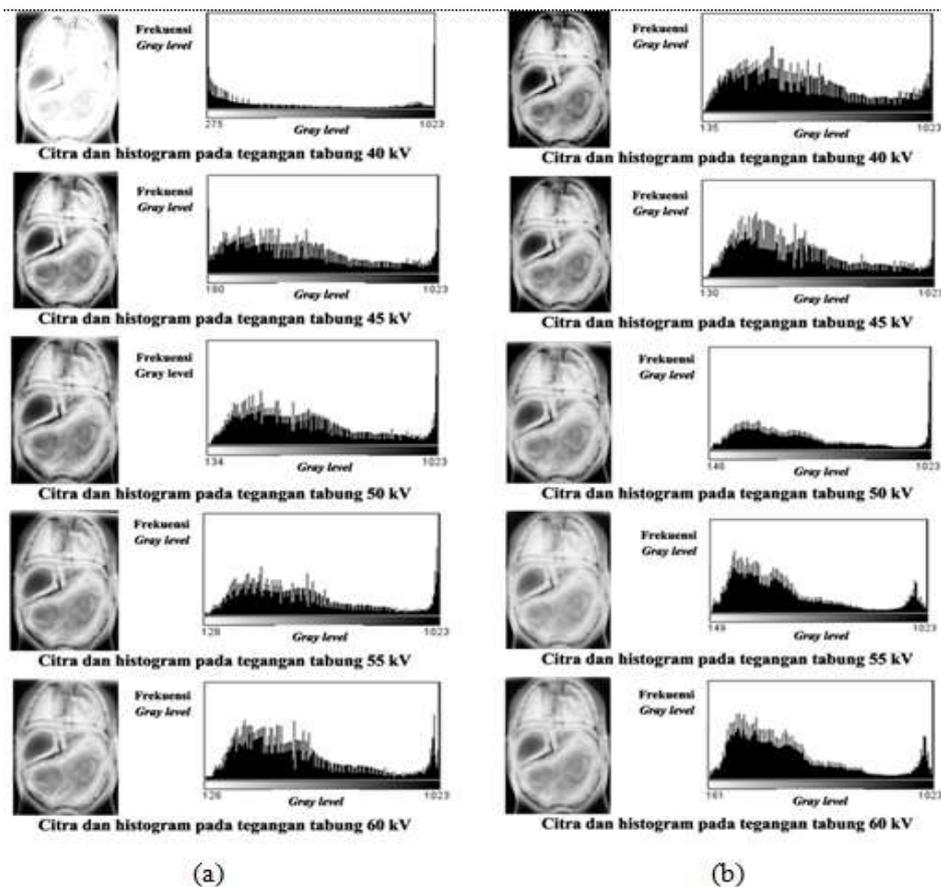
Gambar 8 (b) merupakan citra hasil dan histogram untuk sistem DR tanpa penggunaan grid. bila ditinjau dari rentang *gray level*-nya, terlihat rentang histogram dari setiap kenaikan tegangan tabung untuk sistem DR tanpa penggunaan grid memiliki rentang nilai berbeda. Rentang distribusi *gray level* paling lebar pada penggunaan tegangan tabung 40 kV dan paling sempit pada tegangan tabung 60 kV, semakin besar nilai tegangan tabung yang digunakan range distribusi *gray level* semakin sempit. Untuk histogram citra pada tegangan tabung 40 kV dan 45 kV terlihat grafik histogramnya berkumpul pada daerah minimum dan citra terlihat cenderung lebih gelap dari citra yang lainnya.



Gambar 8. Citra dan histogram pada sistem DR dengan; penggunaan grid (b) tanpa penggunaan grid

Berbeda dengan citra yang diperoleh dari sistem DR yang dalam bentuk format DICOM 16-bit, untuk sistem CR diperoleh dalam bentuk format DICOM 16-bit (*inverting LUT*) diperlihatkan pada Gambar 9.

Bila ditinjau dari rentang *gray level*-nya, dari Gambar 9 (a), diketahui rentang distribusi *gray level* pada histogram dari kelima gambar untuk sistem CR dengan penggunaan grid memiliki rentang nilai yang berbeda. Rentang distribusi *gray level* paling lebar pada tegangan tabung 60 kV dan paling sempit pada tegangan tabung 40 kV, berbeda pada sistem DR yang memiliki rentang *gray level* yang semakin kecil pada setiap kenaikan tegangan tabung, untuk sistem CR diperoleh bahwa semakin besar nilai tegangan tabung yang digunakan rentang distribusi *gray level* semakin besar dan puncak kurva histogram semakin lebar. Untuk histogram citra pada tegangan tabung 40 kV, terlihat kurva histogramnya rendah dan berkumpul pada daerah minimum dan citra terlihat terlalu terang dan cenderung putih karena mengalami *over bright*. Citra yang mengisi daerah derajat keabuan secara penuh dan hampir merata pada setiap intensitas *pixel*, terlihat pada citra dengan tegangan tabung 45 kV, 50 kV, 55 kV, dan 60 kV.



Gambar 9. Citra dan histogram pada sistem CR dengan; penggunaan grid (b) tanpa penggunaan grid

Berdasarkan rentang *gray level*-nya, dari citra dan histogram pada sistem CR tanpa penggunaan grid pada Gambar 9 (b). Rentang histogram yang diperoleh dari citra hasil pencitraan sistem CR mengalami perubahan disetiap kenaikan atau perubahan tegangan tabung. Pada variasi pengambilan data tanpa penggunaan grid, histogram citra yang mengisi daerah derajat keabuan secara penuh dan hampir merata pada setiap intensitas *pixel*, terlihat pada citra dengan tegangan tabung 45 kV, 50 kV, 55 kV, dan 60 kV sedangkan pada variasi tanpa penggunaan grid, kurva histogram citra pada tegangan tabung 40 kV, 45 kV, dan 50 kV terlihat memiliki rentang distribusi *gray level* yang lebih lebar dan kurva histogramnya mengisi daerah derajat keabuan secara penuh dan hampir merata pada setiap intensitas *pixel*-nya.

B. Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR)

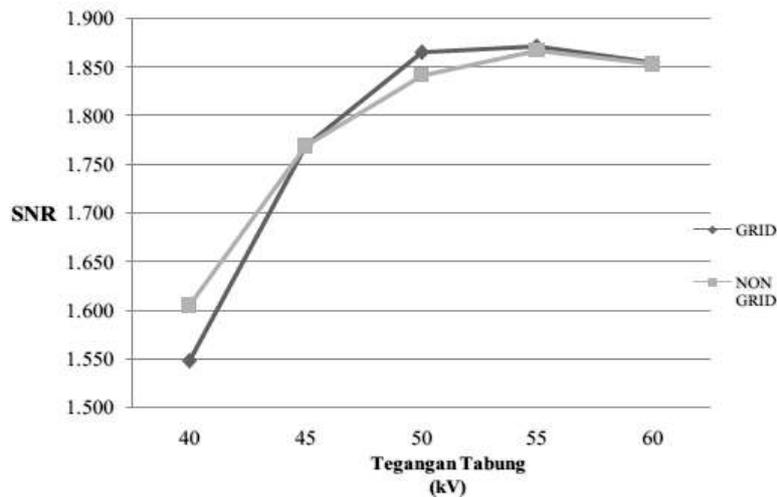
Dari hasil analisis histogram yang telah dilakukan dengan menggunakan *ImageJ* pada radiograf hasil pencitraan dengan menggunakan sistem DR dan CR diperoleh nilai rata-rata dan standar deviasi dari suatu citra sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai SNR. SNR digunakan untuk menentukan kualitas citra, semakin besar nilai SNR berarti kualitas citra semakin baik, nilai SNR yang tinggi adalah lebih baik dikarenakan berarti rasio sinyal juga tinggi maka sinyal dan deraunya semakin mudah dibedakan. Berikut adalah tabel dan grafik dari hasil perhitungan nilai SNR untuk sistem DR dan CR dengan penggunaan grid dan tanpa penggunaan grid.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai SNR

N O	Tegangan Tabung (kV)	Nilai SNR \pm Std Dev untuk sistem DR		Nilai SNR \pm Std Dev untuk sistem CR	
		Grid	Non Grid	Grid	Non Grid
1	40	1.55 \pm 0.05	1.60 \pm 0.04	1.8 \pm 0.1	2.10 \pm 0.02
2	45	1.77 \pm 0.01	1.769 \pm 0.004	2.108 \pm 0.006	2.02 \pm 0.05
3	50	1.86 \pm 0.01	1.842 \pm 0.001	2.05 \pm 0.03	2.02 \pm 0.02
4	55	1.871 \pm 0.003	1.867 \pm 0.001	2.068 \pm 0.009	2.01 \pm 0.05
5	60	1.855 \pm 0.002	1.853 \pm 0.003	2.059 \pm 0.008	2.09 \pm 0.03

Tabel 2. diatas merupakan tabel hasil perhitungan nilai SNR. Dari hasil yang diperoleh, nilai SNR pada kedua sistem pencitraan dengan dan tanpa penggunaan grid mengalami perubahan seiring dengan perubahan tegangan tabung.

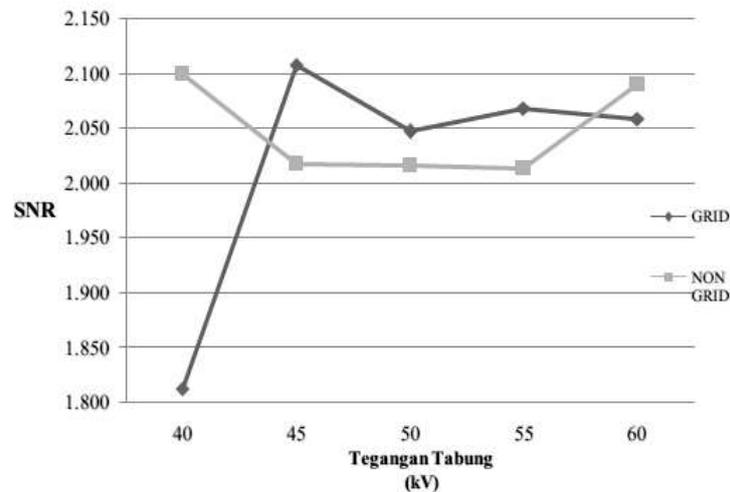
Untuk sistem DR, nilai SNR cenderung stabil di tegangan tabung; 50 kV, 55 kV, 60 kV. Nilai SNR pada sistem pencitraan DR dengan penggunaan grid lebih besar dibandingkan pada sistem DR tanpa penggunaan grid. Penggunaan grid untuk sistem digital memiliki potensi untuk meningkatkan nilai SNR. Grafik nilai SNR pada DR dengan dan tanpa penggunaan grid ditunjukkan pada grafik berikut :



Gambar 10. Grafik nilai SNR pada sistem DR dengan dan tanpa penggunaan grid

Nilai SNR pada sistem pencitraan CR dengan dan tanpa penggunaan grid mengalami perubahan seiring dengan perubahan tegangan tabung. Pada sistem CR dengan penggunaan grid nilai SNR cenderung stabil di tegangan tabung; 50 kV, 55 kV, 60 kV, sedangkan pada sistem CR tanpa penggunaan grid, nilai SNR cenderung stabil di tegangan tabung; 45 kV, 50 kV, 55 kV.

Nilai SNR pada sistem pencitraan CR dengan penggunaan grid memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada sistem CR tanpa penggunaan grid. Penggunaan grid untuk sistem digital memiliki potensi untuk meningkatkan nilai SNR. Grafik nilai SNR pada CR dengan dan tanpa penggunaan grid ditunjukkan pada grafik pada Gambar 11 berikut.



Berbeda dengan grafik SNR pada sistem DR yang konsistensi untuk kedua variasi pengambilan data, untuk sistem CR diperoleh hasil grafik yang *fluktuatif* dan acak untuk kedua variasi pengambilan data, diperoleh hasil yang *fluktuatif* karena tidak seragamnya *image plate* yang digunakan pada proses pengambilan data.

KESIMPULAN

Histogram pada citra hasil pencitraan pada DR mempunyai rentang *gray level* yang lebih besar (distribusi *gray level*-nya lebih lebar) dibandingkan citra hasil pencitraan sistem CR. Citra yang dihasilkan pada prosedur pencitraan menggunakan sistem CR mempunyai nilai SNR lebih besar dibandingkan dengan citra hasil pencitraan sistem DR.

DAFTAR PUSTAKA

- Anil, K.J, 1989. *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall International.
- Bushong, C.S., 2008, *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*, Universitas Michigan.
- Herrmann, T., 2008, *Computed Radiography and Digital Radiography: A Comparison of Technology, Functionality, Patient Dose, and Image Quality*, Allied Health University of Cincinnati, Raymond Walters College, 9555 Plainfield Road, Blue Ash, OH 45236.
- Bushberg. J. T., 2006, *The Essential Physics of Medical Imaging* ,2 th ed, New York Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.

- Dhahryan, A.M., 2009, *Pengaruh Teknik Tegangan Tinggi Terhadap Entrance Skin Exposure (ESE) dan Laju Paparan Radiasi Hambur Pada Pemeriksaan Abdomen*, Berkala Fisika ISSN : 1410 – 9662, Vol 12, No.1.
- Gonzalez, R.C., and Woods, E.R., 2002, *Digital Image Processing*, 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Jenkins,D., 1980, *Radiographic Photography and Imaging Prosecesses*, University Park Press.
- Sartinah., Sumariyah., N. Ayu., 2008, *Variasi Nilai Eksposi Aturan 15 Persen pada Radiografi Menggunakan Imaging Plate untuk Mendapatkan Kontras Tertinggi*, Berkala Fisika ISSN : 1410 – 9662, Vol 11, No.2
- Spring K.R., Russ J.C., Phill M.J., and Davidson M.W., 2006, *Adjustment DigitalImageSharpness*.<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/digitalimaging/processig/sharpness/indeks.html>, diakses pada 9 Juni 2013.
- Sutoyo, T., Mulyanto, E., Suhartono, V., Nurhayati, O.D., dan Wijanarto, 2009, *Teori Pengolahan Citra Digital*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.