

EVALUASI UKURAN TITIK FOKUS (*FOCAL SPOT*) DAN *ENTRANCE SURFACE EXPOSURE (ESE)* SEBAGAI PARAMETER *QUALITY CONTROL* PESAWAT MAMOGRAFI

*Supriyanto A P¹, Djarwani S S¹, Rachmat W A¹, Theresia A¹,
Nina ISH², Yekti N², Dwi Seno KS¹*

¹*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia*

²*Departemen Radiologi FKUI/RSCM, Salemba, Jakarta*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian penentuan ukuran titik fokus dan pengukuran nilai *Entrance Surface Exposure (ESE)* sebagai kegiatan *quality control (QC)* pesawat mamografi **Mamex dc^{RS}**. Estimasi ukuran titik focus dilakukan pada kondisi 26 kV dan 32 mAs dengan menggunakan Multiple Pinhole Test Tool Model M300 yang ditempelkan pada kolimator. Test tool ini tidak teroptimasi untuk mamografi dan estimasi dilakukan hanya pada 4 pinhole dan 5 baris dari tepi dinding dada dan daerah puting. Nilai titik focus efektif yang terestimasi pada daerah dinding dada adalah 0,43 x 0,57 mm. dan pada daerah puting 0,43 x 0,29 mm. Pengukuran nilai ESE diperoleh dengan terlebih dahulu mengukur keluaran pada rentang 23 – 30 kVp dengan detektor Rad-Check yang ditempatkan pada meja kompresor. Nilai ESE dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dan melalui data keluaran (mR/mAs) yang disesuaikan dengan kondisi yang memberikan citra fantom mamografi yang cukup baik. Nilai ESE terendah sebesar 161 mR (28 kV, 18 mAs) dan tertinggi 295 mR (24 kV, 56 mAs). Hasil ini menunjukkan pesawat mamografi masih baik dan layak digunakan untuk pemeriksaan klinis.

ABSTRACT

Evaluation of focal spot size and Entrance Surface Exposure (ESE) as a part of a Quality Control (QC) were done on mammography machine **Mamex dc^{RS}**. Focal spot size was verified at 26 kV and 32 mAs by using Multiple Pinhole Test tool M300 taped at collimator. The test-tool was not optimized for small size mammographic film and the measurement was performed at only 4 pinholes on 5 lines at the edge of chest wall and nipple. An estimate of effective focal spot size at chest wall side was found to be 0,43 x 0,57 mm and 0,43 x 0,29 mm at nipple's side. ESE was measured by recording an output over the range of kVp from 23 – 30 kV by Rad Check detector placed at the compressor. ESE can be found by direct measurement and calculated from output (mR/mAs) data in same condition for a good mammography phantom image. The lowest ESE value is 161 mR (28 kV, 18 mAs) and the highest value is 295 mR (24 kV, 56 mAs). This results shown that the mammography machine is still good condition and proper to be used for clinical examination.

Key words,: *Focal spot, Entrance Surface Exposure(ESE), Mamography, Quality Control (QC), Multiple Pinhole Test Tool Model M300, Rad-Check detector*

PENDAHULUAN

Aplikasi sinar-X dalam radiodiagnostik yang banyak digunakan dalam teknik radiografi selain memberikan keuntungan berupa informasi yang berguna bagi kepentingan diagnostik, juga dapat menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi jaringan tubuh yang dikenai radiasi. Optimalisasi hasil pemeriksaan sangat diperlukan agar citra yang dihasilkan memiliki kualitas baik dengan radiasi yang diberikan ke pasien tetap dalam jumlah sekecil mungkin dan berada dalam nilai batasan yang aman. Dengan demikian, perlu dilakukan kegiatan *Quality Control (QC)* untuk memonitor kondisi parameter-parameter yang berhubungan dengan teknik pemeriksaan agar tetap konsisten sesuai dengan kondisi yang diinginkan dan diperbolehkan.¹⁻⁴ Mamografi merupakan salah satu teknik radiografi pada payudara yang menggunakan sinar-X energi rendah untuk mendeteksi adanya lesi atau kelainan pada payudara. Pesawat mamografi merupakan pesawat sinar-X yang dirancang khusus agar mampu menghasilkan citra dengan kontras dan resolusi yang baik.

Ukuran titik fokus (*focal spot*) pesawat mamografi sangat mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan, yaitu kemampuan membedakan objek yang berukuran sangat kecil pada payudara seperti mikrokalsifikasi. Titik fokus yang besar akan menimbulkan ketidaktajaman gambar, sedangkan titik fokus yang terlalu kecil membutuhkan waktu penyinaran yang lebih lama sehingga juga menimbulkan masalah ketidaktajaman gambar karena pergerakan pasien.^{1,2} Penentuan ukuran titik fokus dilakukan dengan menggunakan alat *Multiple Pinhole Test Tool* yang diberikan radiasi sinar-X pada kondisi penyinaran 26 kV dan 32 mAs, untuk mendapatkan citra *pinhole* (lubang-lubang) dengan tingkat kehitaman film sekitar 1.

Evaluasi dosis terutama ESE (*Entrance Surface Exposure*) dilakukan berdasarkan pengukuran langsung pada beberapa kondisi penyinaran tertentu yang menghasilkan citra fantom mamografi cukup baik, dengan menggunakan *Radcheck* yang ditempatkan pada meja kompresor. Nilai ESE juga dapat diperoleh dari data keluaran (*output*) dalam mR/mAs yang diukur pada beberapa rentang nilai tegangan dari 23 -30 kV.

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil yang mampu memberikan gambaran dan informasi penting mengenai kondisi pesawat yang digunakan, untuk optimalisasi kualitas citra mamografi dan radiasi yang diberikan ke pasien.

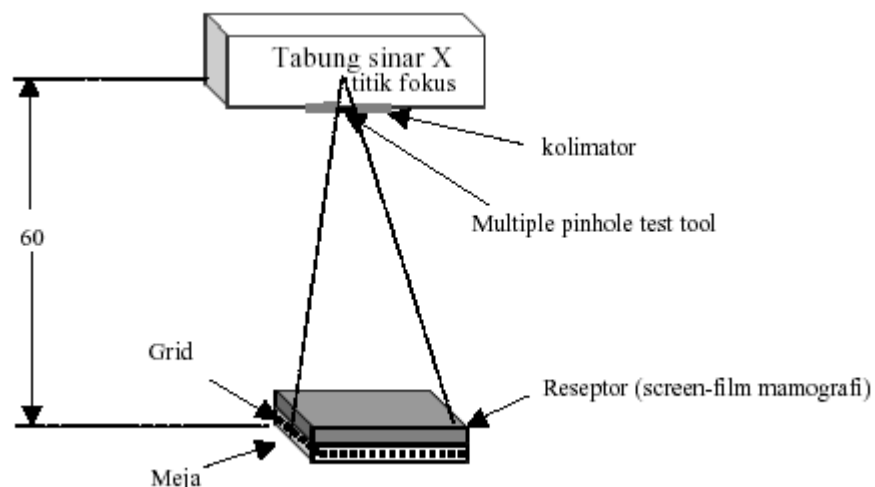
METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: pesawat mamografi merk **Mamex^{dc}RS**. Pengukuran menggunakan *Multiple Pinhole Test Tool Model M300* dari material stainless steel dengan dimensi 8,5 x 5,5 cm yang terdiri dari 54 lubang kecil (9 kolom dan 6 baris) dengan diameter 50 μm . Jarak antar lubang adalah 1 cm yang diukur dari titik tengah tiap lubang.⁵ Rad CheckTM Plus Model 06-526, dimensi (H x W x D) : 6.4 x 15.4 x 16 cm.⁶ Fantom (*phantom*) dari material sintetik *Polymethylmethacrylate* (PMMA) Film merk Kodak MIN- R S Film.⁷ Densitometer Victoreen model 07 – 443.

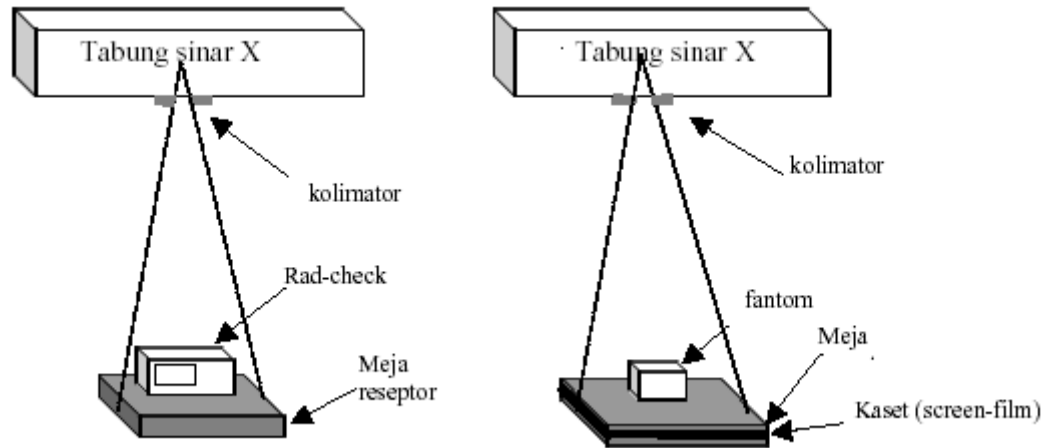
Penentuan ukuran titik fokus dilakukan dengan menempelkan *test tool* pada kolimator pesawat sinar-X mamografi, yang kemudian dipapari sinar-X pada kondisi tertentu agar diperoleh citra *pinhole* pada film dengan tingkat kehitaman sekitar 1. *Test tool* yang ditempelkan harus tegak lurus dengan medan berkas sinar-X dan terletak di tengah medan. Skema peralatan dalam pengambilan data dapat dilihat dalam Gambar 1. Selanjutnya citra pada film dievaluasi untuk menghitung lebar titik fokus (f_w) dan panjang titik fokus (f_l) secara matematis dengan menggunakan persamaan

$$f_l = \frac{2l}{d-2} \qquad f_w = \frac{2w}{d-2} \qquad (1)$$

dengan w adalah lebar titik fokus pada citra film, l adalah panjang titik fokus pada citra film, d adalah jarak dari titik fokus yang ada di sebelah kiri titik fokus tengah sampai titik fokus yang ada di sebelah kanan titik fokus tengah.



Gambar 1 Skema pengukuran titik fokus



Gambar 2 Skema pengukuran ESE

Pengukuran nilai ESE pada fantom mamografi PMMA (dimensi 10,8 x 10,15 cm dan tebal 4,4 cm), diperoleh dari data keluaran (*output*) dan melalui pengukuran langsung pada kondisi yang menghasilkan citra fantom yang baik. Pengukuran keluaran dilakukan dengan menempatkan *Rad-Check* pada meja kompresor, untuk beberapa rentang nilai tegangan. Grafik hubungan antara nilai keluaran (mR/mAs) terhadap tegangan (kV) digunakan untuk menghitung nilai ESE pada kondisi yang diinginkan. *Rad-check* diletakkan dalam medan radiasi berkas sinar-X sehingga berada ditengah dan tegak lurus medan radiasi berkas sinar-X tersebut. Metode pengukuran selanjutnya dilakukan dengan meletakkan fantom pada meja kompresor. Fantom dipapari sinar-X pada kondisi penyinaran (kV dan mAs) tertentu sehingga diperoleh citra dengan kontras dan ketajaman yang cukup baik (tingkat kehitaman sekitar 1,2). Paparan (mR) pada kondisi kV dan mAs yang paling sesuai untuk menghasilkan citra yang cukup baik merupakan nilai ESE yang diterima fantom. Skema peralatan dapat dilihat dalam Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Keakurasian Tegangan Pesawat (kV)

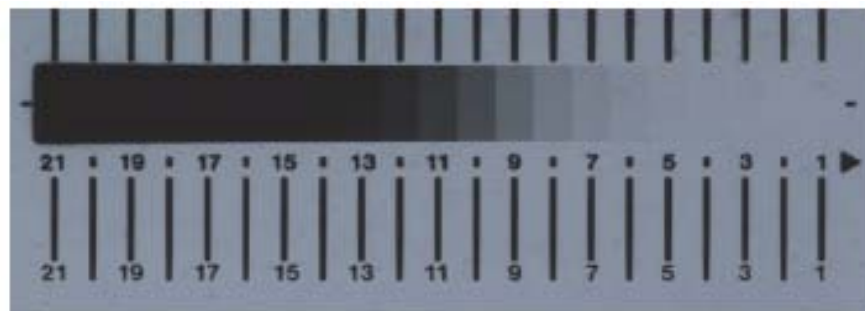
Keakurasian nilai tegangan operasional pesawat dengan tegangan yang diset pada kontrol panel harus diuji terlebih dahulu sebelum penentuan ukuran titik fokus (*focal spot*) dan pengukuran *Entrance Surface Exposure (ESE)* dilakukan, guna mengetahui

kondisi pesawat yang digunakan. Pengujian dengan kVp meter mamo dilakukan pada kondisi penyinaran 70 mAs untuk beberapa nilai tegangan dalam rentang dari 24-30 kVp.

Dalam Tabel 1, nilai tegangan yang terukur lebih besar dari nilai tegangan yang diset. Selisih antara kedua tegangan (Δ) berkisar 1,7 - 2,2 kV, dengan nilai deviasi maksimum berkisar 8,1 %. Nilai deviasi ini masih berada dalam batasan toleransi yang direkomendasikan oleh *Institute Physics and Engineering in Medicine* (IPEM) dan *National Council on Radiation for Protection and Measurement* (NCRP), yaitu sekitar ± 10 %.

Tabel 1. Data Keakuratan Nilai Tegangan (kV) pada kondisi arus 70 mAs

Tegangan kontrol panel (kV)	Tegangan terukur (kVp)	Δ (kV)	Deviasi (%)
24	25,8 \pm 0,0	1,8	7,5
25	26,7 \pm 0,1	1,7	7,2
26	28,1 \pm 0,1	2,1	8,1
27	29,2 \pm 0,1	2,2	8,1
28	29,9 \pm 0,1	1,9	6,8
29	30,7 \pm 0,1	1,7	5,9
30	31,7 \pm 0,2	1,7	5,7



Gambar 3 Hasil sensitometri film Kodak

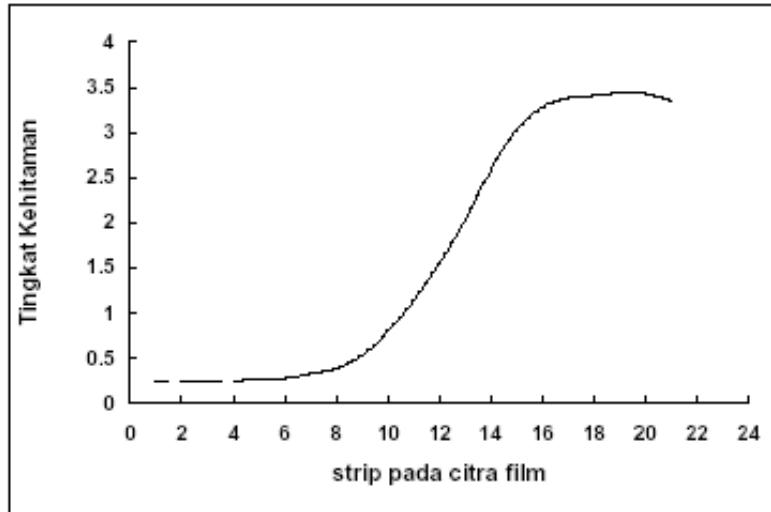
Tabel 2. Nilai tingkat kehitaman tiap strip pada citra film Kodak

Strip	Tingkat kehitaman	Strip	Tingkat kehitaman	Strip	Tingkat kehitaman	Strip	Tingkat kehitaman
fog	0,24 ± 0,00	6	0,28 ± 0,00	12	1,56 ± 0,01	18	3,41 ± 0,01
1	0,24 ± 0,00	7	0,33 ± 0,00	13	2,04 ± 0,01	19	3,44 ± 0,00
2	0,24 ± 0,00	8	0,39 ± 0,00	14	2,58 ± 0,00	20	3,43 ± 0,02
3	0,25 ± 0,01	9	0,54 ± 0,00	15	3,02 ± 0,01	21	3,35 ± 0,00
4	0,25 ± 0,00	10	0,81 ± 0,00	16	3,28 ± 0,00		
5	0,27 ± 0,00	11	1,14 ± 0,00	17	3,38 ± 0,00		

Pengujian Karakteristik Film Kodak

Film Kodak harus diuji karakteristiknya terlebih dahulu untuk mengetahui nilai tingkat kehitaman pada daerah linier (jangkauan nilai kehitaman yang digunakan dalam diagnostik). Pengujian dilakukan dengan menyelipkan film ke dalam sensitometer, dan kemudian disinari dengan sumber cahaya hijau (sesuai dengan sumber cahaya yang diemisi *intensifying screen*). Hasil penyinaran dengan sensitometer yang memperlihatkan 21 strip pada film dapat dilihat dalam Gambar 3. Setiap strip pada citra diukur nilai kehitamannya dan nilai kehitaman rata-rata setiap strip ditunjukkan dalam Tabel 2.

Untuk mempermudah evaluasi, dari nilai tingkat kehitaman tersebut kemudian dibuat dalam bentuk kurva seperti dalam Gambar 4. Dari gambar kurva tersebut, daerah *fog* dengan nilai kehitaman 0,24 yang berada pada strip 1. Selain itu juga dievaluasi tiga daerah penting dari kurva mengenai karakteristik film Kodak.⁸ Daerah *toe* yang memiliki paparan rendah (*underexposure*) dimulai dari strip 5 sampai strip 10. Daerah *linier* pada kemiringan kurva yang menghubungkan dua titik tertentu pada kurva diperoleh antara 0,25 dan 2,00 di atas *fog*, dan diperoleh antara tingkat kehitaman 0,49 yang berada pada strip 9 dan tingkat kehitaman 2,24 yang berada pada strip 13. Daerah ini merupakan daerah paparan yang digunakan untuk keperluan diagnostik (*correct exposure*). Selanjutnya daerah di atas daerah linier merupakan daerah *shoulder* yang dimulai dari strip 15 sampai strip 21. Tingkat kehitaman pada daerah ini sangat tinggi (*overexposure*) dan terlihat sangat gelap pada citra film.

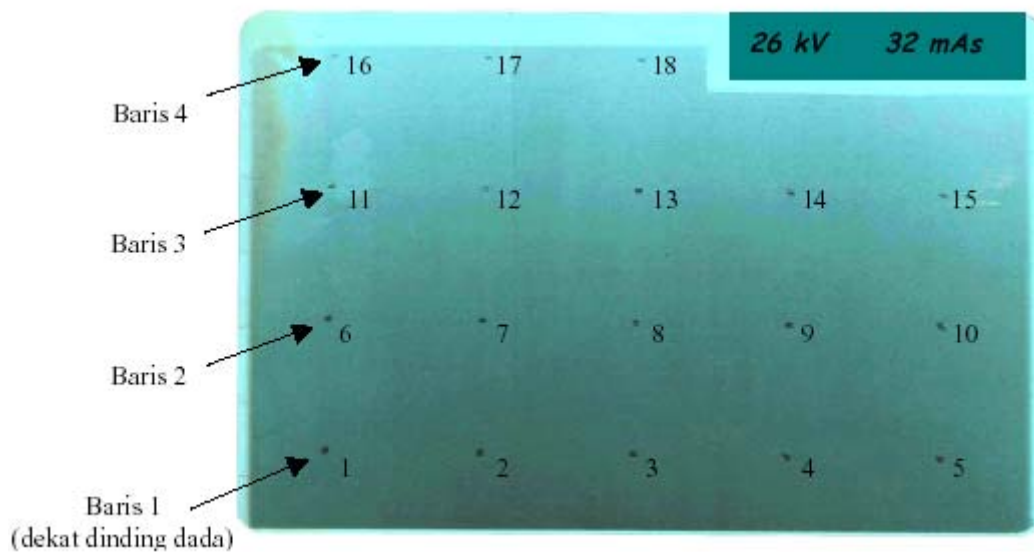


Gambar 4 Kurva karakteristik film Kodak

Penentuan Ukuran Titik Fokus

Penentuan ukuran titik fokus pesawat sinar-X mamografi dengan menggunakan *Multiple pinhole test tool* dilakukan pada kondisi penyinaran 26 kV, 32 mAs. Contoh citra hasil pengukuran pada kondisi tersebut dapat dilihat dalam Gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa citra memiliki kontras, ketajaman dan degradasi kehitaman yang dapat memperlihatkan fenomena *heel effect*. Akibat fenomena tersebut, deretan citra *pinhole* akan terlihat semakin terang dengan semakin jauh jaraknya dari dinding dada. Semakin jauh dari dinding dada intensitas sinar-X semakin berkurang, sehingga citra *pinhole* tampak lebih terang.

Dari 54 *pinhole* yang ada pada test tool, hanya 18 *pinhole* (4 baris dan 5 kolom) yang terbentuk pada citra. Hal ini disebabkan karena *test tool* diletakkan sangat jauh dari reseptor citra yaitu ditempelkan pada kolimator agar diperoleh citra *pinhole* dengan perbesaran yang cukup, sehingga bentuk dan ukuran titik fokus dapat diamati. Selain itu, film mamografi tidak bisa mengoptimasi seluruh *pinhole* yang ada pada test tool. Tiap baris berisi 5 *pinhole* dan tiap *pinhole* yang terbentuk pada film diukur tingkat kehitamannya. Data hasil pengukuran tingkat kehitaman citra *pinhole* pada kondisi penyinaran 26 kV dapat dilihat dalam Tabel 3.



Gambar 5 Citra pinhole pada keadaan 26 kVp, 32 mAs

Tabel 3. Nilai Tingkat Kehitaman rata-rata pada citra *pinhole* (fog = 0,24)

Kondisi		26 kV 32 mAs		Kondisi		26 kV 32 mAs	
		No <i>Pinhole</i>				No <i>Pinhole</i>	
Baris 1	1	0,90		Baris 3	11	0,55	
	2	0,97			12	0,64	
	3	0,99			13	0,65	
	4	0,94			14	0,63	
	5	0,81			15	0,53	
Baris 2	6	0,76		Baris 4	16	0,39	
	7	0,86			17	0,43	
	8	0,88			18	0,43	
	9	0,84					
	10	0,72					

Dari tabel tersebut terlihat bahwa kehitaman tiap deretan *pinhole* untuk setiap kondisi penyinaran cenderung tidak uniform. Nilai kehitaman tertinggi pada citra hasil pengukuran adalah 0,99. Nilai kehitaman pada daerah berkas utama untuk kondisi

tegangan 26 kV berada dalam daerah linier pada kurva karakteristik film Kodak (0,49 – 2,24), sehingga citra film pada kondisi ini dapat digunakan untuk evaluasi ukuran titik fokus. Estimasi ukuran titik fokus efektif dilakukan dengan mengambil 3 *pinhole* pada baris yang paling dekat dengan dinding dada, menggunakan persamaan 1. Diperoleh lebar titik fokus (f_w) 0,43 mm dan panjang titik fokus (fl) 0,57 mm. Estimasi ukuran titik fokus pada daerah puting (~11 cm dari dinding dada) dilakukan melalui perhitungan pada 3 *pinhole* pada baris ketiga (*pinhole* no 12, 13, 14), dan diperoleh lebar titik fokus (f_w) 0,43 mm dan panjang titik fokus (fl) 0,29 mm.

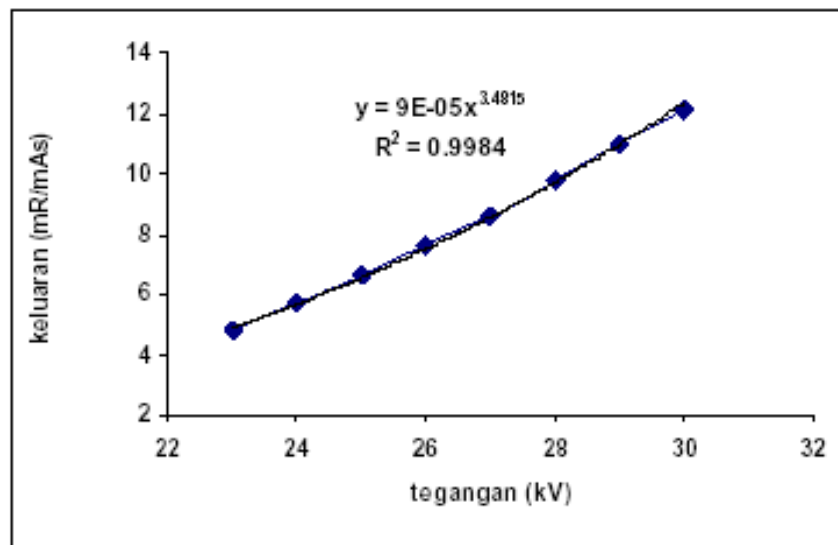
Titik fokus nominal (f_{nom}) juga diestimasi melalui citra *pinhole* yang diperoleh, dan didefinisikan sebagai titik fokus yang diukur pada garis berkas dengan kemiringan sudut referensi tertentu yang biasanya sekitar setengah dari sudut efektif anode. Dalam penelitian ini, sudut efektif anode ditentukan sebagai arcus tangensial lebar berkas dibagi jarak sumber citra (SID), dan diperoleh nilai sudut $16,7^\circ$. Dengan demikian, untuk estimasi titik fokus nominalnya dipakai sudut referensi yaitu $8,4^\circ$. Citra *pinhole* yang terdekat dengan posisi sudut ini adalah deretan *pinhole* baris ketiga (*pinhole* no 11-15) yang berada pada posisi 10° , sehingga estimasi f_{nom} dilakukan dengan mengacu pada *pinhole* baris ketiga tersebut. Perlu diketahui bahwa lebar titik fokus pada arah dari katode- anode tidak berubah. Perubahan yang jelas terlihat adalah pada panjang titik fokus, yang semakin pendek dari arah katode-anode. Dengan demikian, titik fokus nominal pesawat akan lebih besar dari ukuran titik fokus pada puting (baris ketiga), yaitu $> 0,29$ mm. Dengan melihat pada ketentuan NEMA, titik fokus efektif dan titik fokus nominal yang telah diestimasi masih berada dalam batasan nilai toleransi, yaitu panjang titik fokus efektif maksimal adalah sebesar 2 kali panjang titik fokus nominalnya. Hasil estimasi titik fokus nominal pesawat mamografi juga sesuai dengan ketentuan NEMA yang merekomendasikan bahwa untuk pesawat dengan SID 60 cm, ukuran titik fokus nominalnya adalah $\sim 0,3$ mm.

Pengukuran Entrance Surface Exposure (ESE)

Sebelum pengukuran nilai ESE dilakukan, terlebih dahulu diukur nilai keluaran yang dilakukan pada kondisi tegangan dari 23 -30 kV pada jarak sumber detektor sekitar 53,6 cm. Nilai rata-rata dari hasil pengukuran keluaran tertera dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai keluaran (mR/mAs) pada beberapa rentang nilai tegangan (kV)

Tegangan (kV)	mAs kontrol panel	mAs terbaca	Paparan (mR)	Keluaran (mR/mAs)
23	56	55,9	269 ± 1	4,8
24	56	55,9	316 ± 1	5,7
25	50	49,9	330 ± 2	6,6
26	50	49,9	378 ± 2	7,6
27	50	49,9	430 ± 2	8,6
28	50	49,9	488 ± 2	9,8
29	45	44,9	492 ± 1	11,0
30	45	44,9	546 ± 1	12,1



Gambar 6 Grafik keluaran (mR/mAs) pada SID 53,6 cm

Tabel 5. Nilai ESE (mR) pada fantom (4,4 cm) untuk beberapa kondisi penyinaran

Tegangan (kV)	mAs set	mAs terbaca	Tingkat Kehitaman (fog = 0,24)	ESE pengukuran (mR)	ESE perhitungan (mR)	Deviasi (%)
23	56	55,9	0,91	253 ± 2	250	1,2
23	64	63,9	1,22	283 ± 3	285	0,7
24	56	55,9	1,02	295 ± 1	296	0,3
26	32	31,9	1,21	225 ± 1	226	0,4
28	18	17,9	0,99	161 ± 1	163	1,2

Dari data pada tabel tersebut terlihat bahwa kenaikan tegangan akan menaikkan paparan dan keluaran (untuk nilai mAs yang sama), seperti terlihat dalam Gambar 6. Dalam penelitian ini, nilai keluaran pada tegangan 27 dan 28 kV (kondisi kV minimum yang biasa digunakan untuk membuat citra payudara ukuran sedang) adalah 8,6 dan 9,8 mR/mAs. Batasan minimum yang ditetapkan adalah 8 mR/mAs.⁴ Hal ini berarti pesawat mamografi yang digunakan tersebut masih layak digunakan untuk keperluan klinis dan mampu untuk membuat citra payudara yang tebal dan padat. Dari grafik terlihat bahwa keluaran (mR/mAs) yang dihasilkan tidak naik secara linier terhadap kenaikan tegangan (kV) namun sebanding dengan (kV)^{3.5}, dengan persamaan :

$$Y = 9E-05 X^{3.4815}$$

Pada jangkauan energi sinar-X yang digunakan untuk mamografi, kenaikan keluaran sebanding dengan (kV)ⁿ, dimana nilai n berkisar antara 3 sampai 4.2. Pada penelitian ini diperoleh nilai n sekitar 3,5. Dengan demikian, hubungan antara kV terhadap keluaran yang dihasilkan dalam grafik di atas masih memenuhi ketentuan yang berlaku tersebut.

Selanjutnya nilai ESE pada suatu kondisi (kV dan mAs) tertentu diperoleh dengan cara pengukuran langsung atau dapat dihitung berdasarkan data keluaran (mR/mAs) pada kondisi yang sesuai (Tabel 5). Kondisi penyinaran kV dan mAs yang dipilih sesuai dengan kondisi yang memberikan resolusi dan kontras yang cukup pada citra fantom PMMA. Pengukuran keluaran (mR/mAs) dilakukan pada jarak 53,6 cm dari sumber ke detektor, sedangkan pada pengukuran langsung nilai ESE digunakan jarak sumber ke

phantom 55,6 cm. Dengan demikian, perhitungan nilai ESE harus dikoreksi faktor sebesar 0,93.

Dari tabel terlihat bahwa deviasi berkisar antara 0,4 % - 1,2 %. *European Commission* dalam laporannya "*European Protocol for the Quality Control of mammography screening*" pada tahun 1999 juga merekomendasikan nilai ESE maksimal pada phantom mamografi dengan ketebalan 4,5 cm sebesar 1,03 – 2,18 R (untuk kehitaman sekitar 0,8-1,8).³ Dalam penelitian ini, untuk berbagai kondisi diperoleh nilai ESE berkisar 161 mR sampai 295 mR (0,161 sampai 0,295 R), yang relatif sangat rendah dibandingkan dengan nilai yang direkomendasikan tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pesawat mamografi yang digunakan ini relatif aman untuk digunakan dalam pemeriksaan mamografi.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Pesawat mamografi merk Mamex ^{dc}RS memiliki ukuran titik fokus efektif (f_{eff}) tersetimasi 0,43 x 0,57 mm (daerah dekat dinding dada), dan titik fokus efektif pada daerah puting adalah 0,43 x 0,29 mm. Titik fokus nominal pesawat ~ 0,3 mm, dan SID pesawat adalah 60 cm. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan yang direkomendasikan oleh *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* yang menyatakan bahwa titik fokus untuk SID < 65 cm sebaiknya sekitar 0,3 mm.
2. Dengan menggunakan phantom mamografi setebal 4,4 cm, diperoleh nilai *Entrance Surface Exposure (ESE)* terendah 161 mR (kondisi 28 kV, 18 mAs, kehitaman 0,99) dan nilai ESE terbesar 295 mR (kondisi 24 kV, 56 mAs, kehitaman 1,02). Nilai ESE maksimal tersebut masih berada dalam batasan toleransi yang diberikan oleh *European Commission* dalam *European Protocol for the Quality Control of mammography screening* yang menyatakan bahwa nilai ESE maksimal pada phantom mamografi dengan ketebalan 4,5 cm sebesar 1,03 – 2,18 R (untuk kehitaman sekitar 0,8 – 1,8).

3. Pada kondisi untuk membuat citra payudara ukuran sedang (27- 28kV), diperoleh keluaran 8,6 dan 9,8 mR/mAs, dan batasan minimum yang direkomendasikan adalah 8 mR/mAs. Dengan demikian, pesawat mamografi ini masih dapat digunakan untuk pemeriksaan klinis dan mampu untuk membuat citra payudara yang berukuran besar dan tebal.

DAFTAR ACUAN

1. PP. Dendy., dan B. Heaton., *Physics for diagnostic radiology*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1999.
2. Jerrold TB., J Anthony s., Edwin ML., dan John M Boone, *The essential physics of medical imaging*, Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
3. Martin A.O. Thijssen, Kenneth C. Young, & Sander van Woudenberg, *European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening, 3rd ed.*, Eurpoean Comission, 1999.
4. Martin J. Yaffe & Gordon E. Mawdsley, *Equipment Requirements & Quality Control for Mammography*, Reichmann Research Institute, North York, Ontario, CANADA.
5. *Instruction Manual of Mammography Multiple Pinhole Test Tool M300*, Standard Imaging, No 80027, USA, 2002.
6. *Instruction Manual of Rad Check™ Plus Model 06526 (Standard Units) & 065262200 (SI Units)*, Victoreen, LLC, USA, 1998.
7. KODAK MIN- RS Film / 4906, http://www.health_imaging/kodak.htm
8. Yayan Wulandari, *Karakteristik Film, Kombinasi screenfilm, dan Konsistensi Tingkat Kehitaman Citra terhadap Variasi kV, mAs dan Ketebalan Objek sebagai Parameter Kontrol Kualitas dalam Mamografi*, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, 2005.