

## Kalibrasi kV Pesawat Sinar-X Rigaku 250EG-S3 Dengan Metode *Exposure Chart* Standar

Zaenal Abidin, Septianta Nugraha, Djoko Maryanto

Jurusan Teknofisika Nuklir, STTN-BATAN  
Jl. Babarsari, Yogyakarta 50236.  
Email:zaenala6@gmail.com

**Abstrak** - Penggunaan pesawat sinar-X dalam periode tertentu dapat merubah kinerja dari mesin pesawat sinar-X, salah satunya adalah kV. Agar pesawat sinar-X dapat layak digunakan perlu dilakukan kalibrasi, salah satunya adalah dengan metode exposure chart. Telah dilakukan penelitian Kalibrasi kV Pesawat Sinar-X RIGAKU 250EG-S3 dengan Metode Exposure Chart Standar. Penelitian ini menggunakan film AGFA D7 pada SFD sebesar 600 mm, dan benda uji berupa step wedge dan pipa. Dengan menggunakan pesawat sinar-X RIGAKU 250EG-S3 milik STTN-BATAN, setiap film dipaparkan. Menggunakan variabel uji berupa waktu penyinaran (0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 menit) dan nilai ketebalan (7,95, 11,85, 15,75, 20 mm) untuk step wedge; dan pipa berdiameter 61,4 mm dengan tebal (las+reinforcement) 8 mm untuk tiap-tiap tegangan uji (120, 140, 160, 180, 200, 220, 240) kV. Nilai densitas hasil uji dijadikan grafik exposure chart pada nilai densitas 2. Grafik ini sebagai objek studi untuk analisis dan komparasi terhadap acuan standar. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penyimpangan antara tegangan kerja aktual dengan tegangan yang tertera pada panel kontrol pesawat sinar-X. Nilai kemiringan tiap tegangan uji bergeser sebesar  $\pm 2^0$ , waktu paparan lebih cepat  $\pm 60\%$  dan lebih mendekati nilai densitas 2 dengan rerata error tiap tegangan  $\leq 5\%$ .

Kata kunci: sinar-X, kalibrasi kV, film AGFA D7, exposure chat.

### I. PENDAHULUAN

Penggunaan pesawat sinar-X secara terus menerus dapat menurunkan performa kerja pesawat tersebut, bahkan mungkin dapat terjadi kerusakan. Menurut ISO 16526:2011 Non Destructive Testing - Measurement and Evaluation of The X-ray Tube Voltage untuk menjamin kualitas performa kerja pesawat sinar-X perlu adanya perawatan dan pemeriksaan secara berkala. Menurut ISO 16526:2011 terdapat 3 macam metode pengukuran dan evaluasi tegangan tabung. Salah satu dari metode tersebut adalah melakukan perbandingan dengan referensi standar. Verifikasi yang dimaksud adalah dengan menggunakan exposure chart. Membaca exposure chart, secara tidak langsung dapat mengetahui kondisi tegangan pesawat sinar-X tersebut. Menurut Manual Book No. ME16001A06 RADIOFLEX-250EG-S3 EXPOSURE CHART section 7 PORTABLE INDUSTRIAL X-RAY SYSTEM FAILURES AND CAUSES disebutkan bahwa

kerusakan akibat faktor mekanik seperti getaran atau hantaman dapat ditelusuri dan diperbaiki secara mudah. Namun jika kerusakan disebabkan faktor kelistrikan atau panas akibat kesalahan pemeliharaan atau pengoperasian, penyebab utama kerusakan tersebut sukar untuk ditelusuri dengan jelas. Oleh karena itu penelitian ini penting untuk dilakukan dan baik untuk dilakukan.

Pembuatan grafik paparan (exposure chart) menggunakan acuan berupa dokumen exposure chart PUSDIKLAT-BATAN.<sup>[1]</sup> dengan mengasumsikan bahwa kenyataan kV yang tertera pada dokumen tersebut telah terkalibrasi dan menunjuk pada kondisi kV sesungguhnya.<sup>[1]</sup>

Penelitian tentang pembuatan grafik paparan dengan judul "ANALISIS GRAFIK PENYINARAN PADA RADIOGRAFI SINAR-X RIGAKU 250EG-S3" oleh Teguh Subekti<sup>[2]</sup> menghasilkan grafik paparan pada tegangan kerja 110 kV, 120 kV, 130 kV, 140 kV, 150kV, 160 kV menggunakan film AGFA dengan setup SFD 650 mm pada tinjauan nilai densitas 2.

Penelitian lainnya oleh Eni Suswanti dkk<sup>[3]</sup> dengan judul "KALIBRASI KELUARAN PESAWAT SINAR-XORTHOVOLTAGE MONOGIL GILARDONI" menghitung dosis serap maksimum keluaran pesawat sinar-X medik menggunakan detector ionisasi tipe NE 2571 nomor seri 327 dengan volume 0,6 cm<sup>2</sup> yang dihubungkan dengan elektrometer Farmer tipe NE 2570/IB nomor seri 1319 dengan variasi beberapa dimensi konus. Dosis serap maksimum pesawat sinar-X GILARDONI untuk HVL 0,56 mmCu tegangan tabung 140 kV/10mA akan semakin naik dengan bertambah besarnya lapangan radiasi.

Pesawat sinar-X merupakan alat pembangkit radiasi sinar-X. Sinar-X memiliki beberapa sifat seperti: daya tembus, hamburan, penyerapan, fluoresensi, ionisasi, efek fotografi, efek biologi.

Untuk menghasilkan sinar-X diperlukan tiga persyaratan dasar, yaitu adanya sumber elektron, adanya pasokan listrik tegangan tinggi dan target.<sup>[4]</sup>

Tahapan proses terjadinya sinar-X pada tabung sinar-X secara singkat adalah sebagai berikut<sup>[5]</sup>:

1. Pelepasan electron
2. Pemusatan electron
3. Percepatan electron
4. Penghentian elektron secara tiba-tiba

Pesawat sinar-X RIGAKU 250 EG-S3 adalah pesawat sinar-X portable untuk keperluan industri dimana sistem kontrol operasi seperti tabung sinar-X, pembangkitan tegangan tinggi, dan elemen kontrol semi konduktor, rawan kerusakan ketika dilakukan pengoperasian secara kontinyu. Pesawat tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut<sup>[6]</sup>

Terdapat 2 pengaturan (adjustment) pada pesawat sinar X yaitu pengaturan arus filamen (mA) dan pengaturan tegangann diantara anoda dan katoda (kV). Pengaturan arus mA akan menyebabkan perubahan jumlah elektron yang dihasilkan filamen dan intensitas berkas elektron sehingga mempengaruhi intensitas sinar X. Pengaturan tegangan (kV) akan menyebabkan perubahan gaya tarik anoda terhadap elektron sehingga kecepatan elektron menuju target akan berubah.

Semakin besar mA akan menghasilkan intensitas sinar X yang semakin besar. Hal ini menyebabkan energi sinar X dan intensitas sinar X yang dihasilkan akan mengalami perubahan. Semakin besar (kV) akan menghasilkan energi dan intensitas sinar X yang semakin besar.<sup>[7]</sup>

Kualitas radiografi adalah kemampuan radiografi dalam memberikan informasi yang jelas mengenai objek yang diperiksa. Kualitas radiografi ditentukan oleh beberapa komponen, yaitu densitas dan kontras.<sup>[8]</sup> Gangguan pada citra, diantaranya adalah blur, artefak dan noise.<sup>[9]</sup>

Pengertian kalibrasi menurut ISO/IEC Guide 17025:2005 dan Vocabulary of International Metrology (VIM) adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu.<sup>[10]</sup>

Grafik paparan adalah grafik yang menghubungkan antara tebal material, tegangan tabung dan paparan. Tebal material sebagai absis dalam skala linier dan paparan sebagai ordinat dalam skala logaritma.

Menurut ISO 16526:2011<sup>[11]</sup> tegangan tabung sinar-X dapat diukur dan dievaluasi dengan 3 cara, yaitu:

1. Metode tegangan divider  
Metode ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran langsung terhadap tegangan tinggi DC pada sisi sekunder generator tegangan pesawat sinar-X.
2. Metode pengecekan Constancy dengan filter  
Metode ini didasarkan pada pengukuran laju dosis paparan dibelakang filter tebal pada suatu jarak tertentu. Metode ini sangat sensitif terhadap perubahan tegangan sehingga harus disertai referensi standar penerimaan pengukuran.
3. Metode Spektrometer  
Metode ini dilakukan dengan pengukuran non invasif tegangan tabung sinar-X menggunakan spektrum energi sinar-X. Metode ini

mencakup rentang tegangan dari 10-500 kV.

Berdasarkan ISO 16526-2:2011 sesi 2<sup>[11]</sup> metode pengecekan Constancy dengan filter dapat diterapkan melakukan pemaparan pada tiap tingkat tegangan menggunakan sebuah film dan keadaan setiap geometri konstan dan memproses film tersebut pada kondisi dan perlakuan kerja yang sama, akan mendapat tampilan nilai densitas yang berbeda pada tingkat ketebalan step wedge. Dengan mengelompokkan nilai ketebalan terhadap waktu penyinaran pada nilai densitas tertentu pada suatu tabel. Data-data tersebut dapat diubah menjadi grafik paparan (*exposure chart*). Graf paparan tersebut kemudian di bandingkan dengan acuan standar maka kondisi tegangan tabung dapat diperiksa dan terkalibrasi. Metode kalibrasi semacam ini disebut dengan metode exposure chart.<sup>[11]</sup>

Data tersebut diolah menggunakan persamaan linier sebagai berikut:<sup>[12]</sup>

$$Y = b_0 + b_1 X \quad (1)$$

dengan:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad \dots (2)$$

$$b_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2}$$

dengan koefisien korelasi:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2\}^{1/2}} \quad (3)$$

dengan:

$$r \leq 1 \quad (4)$$

keterangan:

Y = Waktu penyinaran (mA menit)

X = Ketebalan (mm)

r = Korelasi

Perhitungan analisis regresi, dan tingkat korelasi dikerjakan dengan Microsoft Excel. Fungsi "INTERCEPT" diisi dengan sintaks: INTERCEPT(Data\_y, Data\_x), fungsi "SLOPE" dengan sintaks: SLOPE(Data\_y, Data\_x). Persamaan untuk intercept garis regresi adalah  $a = \bar{Y} - b\bar{X}$ , dimana slope dihitung menurut persamaan (5)

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5)$$

Adapun untuk mengetahui tingkat koefisien korelasi di antara kumpulan data menggunakan fungsi "PEARSON"; Sintaks: PEARSON(Data\_y, Data\_x).

Koefisien korelasi dinyatakan dalam persamaan (6).<sup>[13]</sup>

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (6)$$

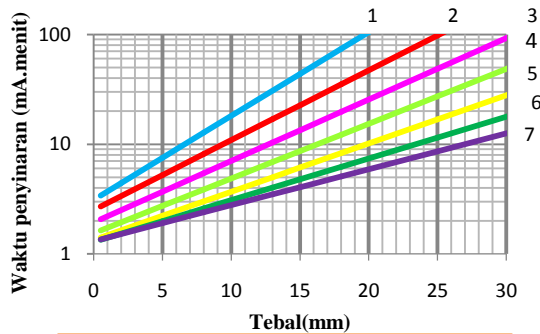
## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan penyinaran terhadap benda uji dengan ketebalan 7,95,11,85, 15,75,20 mm untuk step wedge dan pipa dengan tebal (las+reinforcement) 9 mm dan waktu penyinaran 1,2,3,4, 5,6,7 menit pada tiap-tiap tegangan 120,140,160,180,200,220,240kV. Hasil data densitas film diolah dan dikelompokkan berdasarkan besar ketebalan benda uji dan waktu penyinaran yang menunjuk nilai densitas 2, untuk kemudian dikelompokkan untuk tiap-tiap tegangan uji. Data tersebut diubah menjadi grafik exposure chart. Grafik tersebut diuji seberapa jauh penyimpangan nilai densitas yang dihasilkan terhadap nilai densitas 2. Jika memenuhi penyimpangan nilai densitas  $2 \leq 10\%$  maka grafik exposure chart tersebut dapat dibandingkan terhadap acuan standar. Hasil perbandingan tentang perubahan waktu penyinaran, kemiringan tiap kurva tegangan, kecocokan nilai densitas 2 menunjukkan terjadinya perubahan korespondensi tegangan aktual terhadap tegangan yang ditunjukkan pada sistem kontrol.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembuatan exposure chart ditampilkan pada Gambar 1, Gambar 2 adalah exposure chart PUSDIKLAT-BATAN yang digunakan sebagai pembanding. Densitas film dari penyinaran dengan menggunakan Gambar 1 dibandingkan dengan densitas 2 ditampilkan pada Gambar 3. Dari Gambar 1 dan 2 dibandingkan kemiringan kurva untuk kV 140, 160, 180, ternyata ada pergeseran sebesar  $\pm 2^0$  seperti ditampilkan pada Tabel 1. Waktu paparan dari Gambar 1 lebih cepat  $\pm 60\%$  dari waktu paparan

menggunakan Gambar 2. Hasil pengujian densitas terhadap Gambar 1 dan 2 ditampilkan pada Tabel 2. Penyimpangan nilai densitas pada pengujian Gambar 2 lebih besar dari pada pengujian Gambar 1. Nilai densitas 2 lebih mendekati pengujian Gambar 1 daripada pengujian Gambar 2.



Material : Steel (Fe)  
Film : AGFA D7  
SFD : 600 mm  
Film Density : 2  
Developer : (76°F)

Formula curve each voltage:  
1. 120 kV → Log Y = 0.491642 + 0.076589 X  
2. 140 kV → Log Y = 0.400434 + 0.063608 X  
3. 160 kV → Log Y = 0.287104 + 0.055997 X  
4. 180 kV → Log Y = 0.186672 + 0.049954 X  
5. 200 kV → Log Y = 0.128025 + 0.043890 X  
6. 220 kV → Log Y = 0.108583 + 0.038036 X  
7. 240 kV → Log Y = 0.115976 + 0.032758 X

Note:  
Y = time expose (mA.minute)  
Y = I x t  
I = current (constant at 5 A)  
t = time (minute)  
X = thickness (mm)

Gambar 1. Exposure chart hasil pengujian

Tabel 1. Nilai derajat kemiringan tiap kurva tegangan yang dikomparasikan

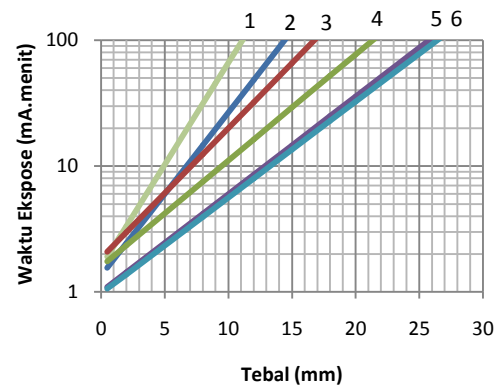
kV	Derajat kemiringan kurva	
	Gambar 1	Gambar 2
140	86.48 <sup>0</sup>	88.39 <sup>0</sup>
160	85.75 <sup>0</sup>	87.89 <sup>0</sup>
180	84.61 <sup>0</sup>	86.52 <sup>0</sup>

Tabel 2. Data densitas film hasil pengujian tahap komparasi exposure chart

kV	Densitas dari Gambar 1		Densitas dari Gambar 2	
	Plat	Pipa	Plat	Pipa
140	2.34	2.17	5.09	5.30
160	2.01	2.00	4.29	4.95
180	2.07	2.17	3.42	4.34

Mengacu pada terjadinya pergeseran kurva, dimana grafik paparan yang dihasilkan dibandingkan dengan grafik

paparan PUSDIKLAT (Gambar 2) pada tegangan yang sama nilai densitas yang diperoleh lebih mendekati nilai densitas 2 dan waktu yang diperlukan lebih cepat maka dapat dinyatakan bahwa terjadi perubahan korespondensi tegangan aktual pesawat sinar-X terhadap kontrol panel dari tahun 2004 dibandingkan pada tahun 2012. Nilai korespondensi yang terjadi diperlihatkan pada grafik exposure chart hasil penelitian pada Gambar 1.



Materia : Steel (Fe)  
Film : AGFA D7  
SFD : 600 mm  
Film Density: 2  
Developer : (76°F)

Persamaan tiap kurva tegangan:  
1. 80 kV → Log Y = 0.19920 + 0.16211 X  
2. 100 kV → Log Y = 0.12685 + 0.12988 X  
3. 120 kV → Log Y = 0.26770 + 0.10333 X  
4. 140 kV → Log Y = 0.20019 + 0.08435 X  
5. 160 kV → Log Y = 0.07258 + 0.00099 X  
6. 180 kV → Log Y = 0.07625 + 0.01335 X

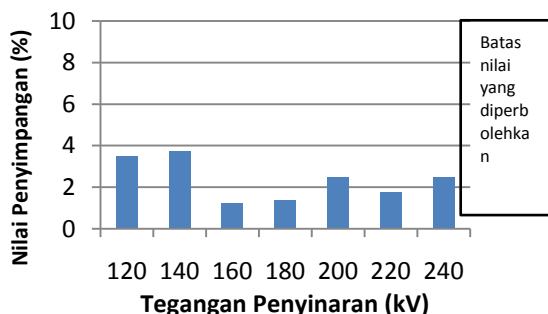
Note:  
Y = time expose (mA.minute)  
Y = I x t  
I = current (constant at 5 A)  
t = time (minute)  
X = thickness (mm)

Gambar 2. Exposure chart standar dari PUSDIKLAT-BATAN

Mengacu pada penyimpangan nilai densitas dari nilai densitas 2 yang dikehendaki dan penyimpangan waktu paparan saat proses penyinaran, maka dapat dinyatakan bahwa grafik exposure chart PUSDIKLAT (Gambar 2) tidak dapat digunakan untuk pekerjaan radiografi berikutnya, karena Gambar 2 sudah tidak dapat mewakili korespondensi tegangan aktual yang dihasilkan pesawat RIGAKU 250EG-S3 yang dimiliki STTN-BATAN. Oleh karena itu, untuk pekerjaan radiografi

selanjutnya menggunakan acuan grafik exposure chart hasil pengujian Gambar 1.

Grafik exposure chart hasil pengujian tidak tepat menunjuk nilai densitas yang dikehendaki (nilai densitas 2). Berdasarkan tahap pengujian grafik exposure chart terjadi penyimpangan tiap tegangan kerja sebesar  $\leq 5\%$ . Faktor-faktor penyebab terjadi penyimpangan nilai densitas 2 yang dikehendaki sebagian besar disebabkan pada saat tahap pembuatan exposure chart yaitu pada proses pencucian film dimana kekuatan devel- oper makin melemah seiring masa pakai dan pada proses perhitungan data dimana memakai metode pendekatan menggunakan program microsoft excel. Namun grafik exposure chart hasil pengujian tetap dikategorikan layak untuk digunakan karena menggunakan acuan penyimpangan yang dikehendaki  $\leq 5\%$ . Acuan penyimpangan ini didapat dari nilai statistik pada tingkat kepercayaan 95% dianggap mewakili kenyataan sesungguhnya.



Gambar 3. Penyimpangan grafik exposure chart terhadap nilai densitas 2

#### IV. KESIMPULAN

- Terdapat perubahan korespondensi tegangan aktual terhadap tegangan yang tertera pada panel kontrol. Kebenaran tegangan aktual dengan tegangan yang ditunjukkan pada panel kontrol diperlihatkan di exposure chart hasil penelitian.
- Grafik exposure chart hasil pengujian lebih mendekati nilai densitas 2 daripada grafik exposure chart

PUSDIKLAT dengan nilai error rerata tiap kurva tegangan  $\leq 5\%$ .

- Exposure chart hasil pengujian terjadi pergeseran kemiringan kurva sebesar  $\pm 2^\circ$ .
- Waktu paparan pada grafik exposure chart hasil pengujian lebih cepat  $\pm 60\%$  dari waktu paparan menggunakan grafik exposure chart PUSDIKLAT.

#### DAFTAR PUSTAKA

- PUSDIKLAT BATAN, 2004, Dokumen Exposure Chart RIGAKU, Batan Tenaga Nuklir Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Subekti, T., 2009, Analisis Grafik Penyinaran Pada Radiografi Sinar-X, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia.
- Suswantini, E. dan Sunaryati, S.I., 2007, Kalibrasi Keluaran Pesawat Sinar-X ORTHOVOLTAGE MONOGIL GILARDONI, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir I, Jakarta, Indonesia.
- Kardiawan, 1996, Sinar-X, Makalah diseminarkan di Jurusan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Bandung, Indonesia. September 18.
- PUSDIKLAT-BATAN, 2001, NDT Umum, Batan Tenaga Nuklir Nasional. Jakarta, Indonesia.
- Rigaku Corporation, 2002, Manual Book No. ME16001A06 RADIOFLEX-250EG-S3 EXPOSURE CHART: sixth edition.
- Kodak, 1980. Radiography in Modern Industry. [online]. Tersedia : <http://www.kodak.com/eknec/documents/87/0900688a802b3c87/Radiography-in-Modern-Industry.pdf> [10 Februari 2012 jam 20.15 WIB]
- General Electric, 2007. Industrial Radiography. [online]. Tersedia : [http://www.gemcs.com/download/x-ray/GEIT-30158EN\\_industrial-radiography-image-forming-techniques.pdf](http://www.gemcs.com/download/x-ray/GEIT-30158EN_industrial-radiography-image-forming-techniques.pdf) [10 Februari 2012 jam 20.05 WIB]
- Jauhari A, 2008. Mutu dan Karakteristik Citra Medik. [online]. Tersedia : [http://puskaradim.blogspot.com/2008\\_01\\_01\\_archive.html](http://puskaradim.blogspot.com/2008_01_01_archive.html) [10 Februari 2012 jam 20.10 WIB]
- ISO/IEC Guide 17025, 2005, Vocabulary of International Metrology (VIM).
- ISO Guide 16526, 2011, Non Destructive Testing - Measurement and Evaluation of The X-ray Tube Voltage.
- Supranto. J., 2001, Statistik Teori dan Aplikasi, Jakarta : Erlangga, Indonesia.
- Pamungkas, 2005, Trik Pemrograman Microsoft Excel, Jakarta : Gramedia, Indonesia.