

Konversi Paparan pada Perubahan kV Pesawat Sinar-X Rigaku-RF-250EGM

Suparno, Anda, Sutrasno
Pusdiklat - Badan Tenaga Nuklir Nasional

Abstrak

Telah dilakukan pengujian rumus konversi paparan pada perubahan tegangan tabung pesawat sinar-X, dari rumus tersebut dapat dihitung faktor konversi paparan teoritis. Penelitian dilaksanakan dengan melakukan uji radiografi sebuah "step wedge" menggunakan pesawat sinar-X Rigaku-RF-250EGM dengan mengubah tegangan tabung dari 120 kV ke 130 kV, 140 kV, 150 kV, dan 200 kV. Dari hasil percobaan telah dapat ditentukan faktor konversi paparan dari masing-masing perubahan tegangan tabung sinar-X. Faktor konversi paparan teoritis dibanding dengan faktor konversi paparan hasil percobaan pada masing-masing perubahan tegangan tabung terdapat perbedaan antara -1.44% sampai dengan +8.12%. Penggunaan faktor konversi paparan teoritis untuk perhitungan paparan menghasilkan perbedaan densitas antara -0,1 sampai dengan +0,05.

Pendahuluan

Pada pekerjaan radiografi sinar-X dilapangan, perubahan variabel penyinaran (jarak sumber ke film (*Source to Film Distance*, SFO) atau arus tabung (milliamperage), sering dilakukan guna menyesuaikan kondisi geometri benda uji atau faktor lain, seperti misalnya untuk mempercepat penyinaran atau memperbaiki kualitas gambar. Perubahan SFO dalam batas-batas tertentu tidak memiliki pengaruh yang berarti pada kualitas film hasil radiografi. Perubahan arus tabung sinar-X juga tidak memiliki pengaruh pada kualitas radiografi, hanya berdampak pada lamanya waktu penyinaran.

Faktor penyinaran lain yang memungkinkan untuk diubah adalah tegangan tabung (kV), yang memiliki dampak terhadap perubahan energi. Perubahan energi umumnya dilakukan untuk mengkompensasi ketebalan benda uji. Benda uji yang tebal harus diradiografi dengan radiasi energi tinggi, sebaliknya benda uji yang tipis dapat diradiografi dengan energi rendah. Perubahan kV juga sering dilakukan pada radiografi material yang memiliki beda tebal terlalu besar untuk menghasilkan gambar radiografi yang memiliki densitas dalam rentang yang diterima oleh standar.

Permasalahan yang sering timbul ketika melakukan perubahan kV adalah tidak tersedianya *exposure chart* pada kV yang diinginkan sehingga hal tersebut menjadi kendala dalam melakukan pekerjaan radiografi. Untuk memecahkan masalah tersebut, dalam tulisan ini dikembangkan rumus teoris hubungan antara paparan (*exposure*) dengan kV yang dapat digunakan untuk mengkonversi waktu penyinaran bila dilakukan perubahan kV.

Hubungan Paparan dan Tegangan

Intensitas radiasi (energi satuan luas satuan waktu) yang dipancarkan dari tabung sinar X dirumuskan secara empiris sebagai berikut [1]:

$$I \propto i Z_p V^2 \quad (1)$$

dengan K adalah suatu tetapan, i dan V masing-masing adalah arus dan tegangan tabung yang diterapkan, dan Z_p adalah nomor atom target.

Untuk bahan target yang sama (K dan Z_p tetap), perubahan arus tabung dan tegangan tabung menyebabkan perubahan intensitas, yang hubungannya dapat dirumuskan dengan persamaan (2).

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{i_1 V_1^2}{i_2 V_2^2} \quad (2)$$

Pada jarak tertentu, paparan absolut radiasi (dalam Roentgen) merupakan hasil kali antara intensitas dengan waktu penyinaran. Dengan demikian, untuk mendapatkan densitas yang sama pada film hasil radiografi, film harus disinari dengan paparan absolut (X) yang sama, sehingga persamaan (2) dapat ditulis menjadi

$$\frac{X_1/t_1}{X_2/t_2} = \frac{i_1 V_1^2}{i_2 V_2^2} \quad (3)$$

Untuk mendapatkan densitas yang sama, $X_1 = X_2$, maka

$$\begin{aligned} \frac{t_1}{t_2} &= \frac{i_2 V_2^2}{i_1 V_1^2} \\ \frac{i_1 t_1}{i_2 t_2} &= \frac{V_2^2}{V_1^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Dalam radiografi, hasil kali antara arus tabung dengan waktu penyinaran disebut paparan relatif (*relative exposure*), yang dilambangkan dengan E , dan diberi satuan mA menit, sehingga persamaan (4) dapat ditulis menjadi

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_2^2}{V_1^2} \quad (5)$$

Eksperimen

Untuk mengevaluasi persamaan (5), dilakukan percobaan uji radiografi dengan sinar X pada sebuah *step wedge* besi, pada step yang mempunyai ketebalan 8 mm,

menggunakan pesawat Rigaku-RF-250EGM, yang mempunyai *focal spot* 2x2 mm dan arus tabung 5 mA, pada tegangan tabung 120 kV, 130 kV, 140 kV, 150 kV, dan 200 kV. Tegangan tabung 120 kV digunakan sebagai tegangan acuan dan penentuan paparannya menggunakan *exposure chart*, sedangkan paparan untuk tegangan tabung yang lain ditentukan dengan persamaan (5). Untuk setiap tegangan tabung dilakukan 7 kali penyinaran dengan nilai paparan (mAs) yang berbeda.

Radiografi dilakukan pada SFO 700 mm dengan menggunakan film AGFA 07. Dalam percobaan ini, film hasil radiografi 130 kV, 140 kV, dan 150 kV diproses secara bersamaan dengan film hasil radiografi tegangan acuan (120 kV) yang sama. Sedangkan film hasil radiografi 200 kV diproses secara terpisah bersama film hasil radiografi tegangan acuan (120 kV) yang lain.

Hasil dan Analisa

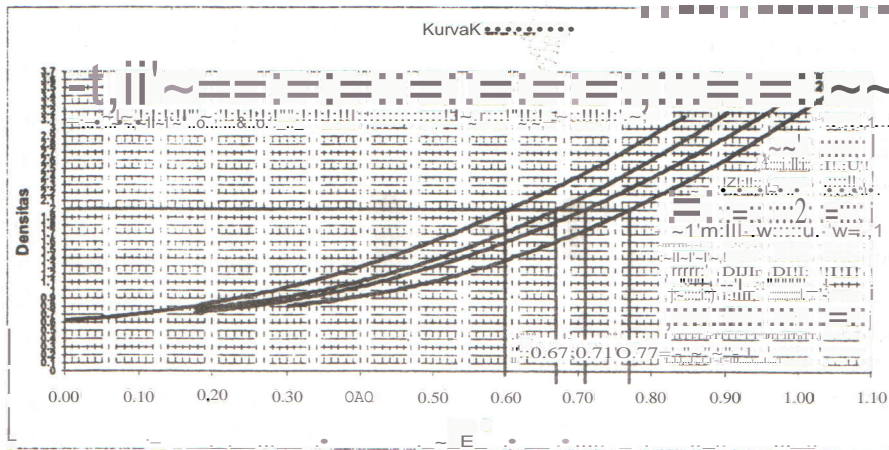
Perubahan kV menyebabkan perubahan paparan yang dirumuskan dalam persamaan (5). Nilai V_1/N_1^2 dalam persamaan (5) disebut faktor konversi paparan teoritis. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan faktor konversi paparan teoritis pada perubahan tegangan tabung dari 120 kV ke 130 kV, 140 kV, 150 kV, 200 kV.

Tabel I Hasil perhitungan faktor konversi paparan teoritis

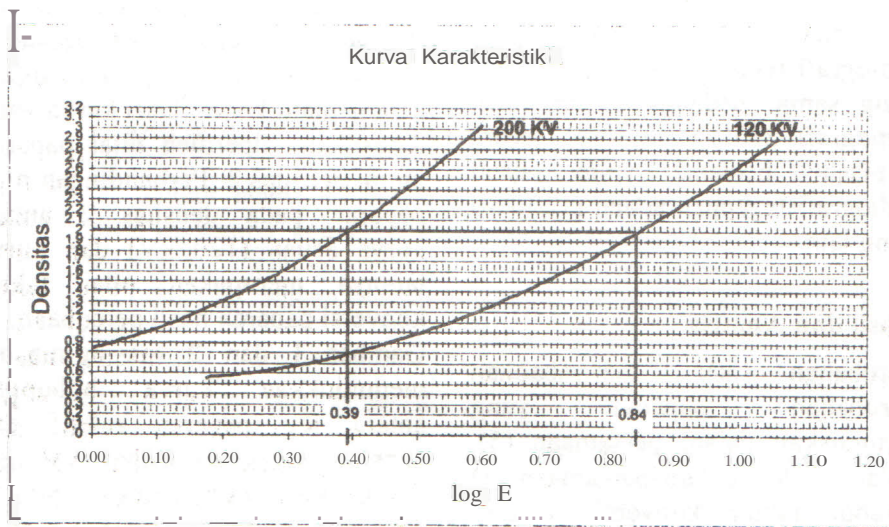
Perubahan kV	Faktor Konversi Paparan Teoritis
120 kV ke 130 kV	1,17
120 kV ke 140 kV	1,36
120 kV ke 150 kV	1,56
120 kV ke 200 kV	2,78

Evaluasi faktor konversi paparan dilakukan dengan sederetan percobaan uji radiografi pada sebuah *step wedge*. Uji radiografi dilakukan dengan merubah nilai paparan (mAs) untuk setiap kV. Penentuan nilai paparan yang diterapkan pada tegangan acuan (120 kV) didasarkan pada *exposure chart*, sedangkan nilai paparan untuk setiap kV dikonversi dengan persamaan (5). Setelah itu dicatat nilai densitas untuk setiap nilai paparan pada ketebalan *step wedge* 8 mm. Selanjutnya, hubungan antara log paparan relatif (Log E) terhadap densitas untuk setiap kV diplot dalam suatu kurva. Dari kurva yang dihasilkan, diperoleh nilai paparan untuk densitas 2. Perbandingan nilai paparan pada densitas 2 antara kurva acuan (120 kV) dan kurva lainnya merupakan nilai faktor konversi paparan hasil percobaan.

Gambar 1 dan 2 masing-masing menunjukkan kurva hubungan antara log paparan relatif dan densitas untuk perubahan kV dari 120 kV ke 130 kV, 140 kV, 150 kV, dan 200 kV. Dengan menggunakan kurva tersebut dapat ditentukan nilai paparan (E) pada densitas 2 untuk kV acuan dan kV lainnya. Selanjutnya dari data tersebut dapat ditentukan faktor konversi hasil percobaan, yang dituangkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 1 : Kurva karakteristik untuk perubahan dari 120 kV ke 130 kV, 140 kV, 150 kV



Gambar 2: Kurva karakteristik untuk perubahan dari 120 kV ke 200 kV

Tabel 2: Hasil perhitungan faktor konversi yang mengacu pada Gambar 1

kV	Log E	E	Faktor Konversi Paparan hasil Percobaan (Em/En)	Perbedaan Faktor Konversi paparan teoritis terhadap faktor konversi paparan hasil percobaan
120kV (acuan)	0,765	5,89		
130kV	0,705	5,07	1,15	2,22%
140kV	0,67	4,67	1,24	8,12%
150kV	0,6	3,98	1,46	5,64%

Tabel 3 : Hasil perhitungan faktor konversi yang mengacu pada Gambar 2

kV	Log E	E	Faktor Konversi Paparan hasil Percobaan (Et/En)	Perbedaan Faktor Konversi paparan teoritis terhadap faktor konversi paparan hasil percobaan
120 kV (acuan)	0,84	6,92		
200 kV	0,39	2,45	2,818	-1,44%

Dari data pada Tabel 2 dan Tabel 3, terlihat bahwa untuk tegangan 130 kV, 140 kV, 150 kV nilai faktor konversi teoritis lebih besar daripada faktor konversi paparan hasil percobaan. Sedangkan, untuk tegangan 200 kV, faktor konversi paparan teoritis lebih kecil daripada faktor konversi paparan hasil percobaan.

Dengan mengacu paparan untuk densitas 2 pada 120 kV, yaitu 5,89, dan 6,92, dapat dihitung nilai paparan menggunakan faktor

konversi teoritis. Berdasarkan nilai paparan tersebut, dari kurva karakteristik dapat ditentukan nilai densitasnya, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Paparan hasil perhitungan dan densitas yang dihasilkan

kV	E	LogE	Densitas untuk Paparan Teoritis	Perbedaan Densitas terhadap paparan percobaan (densitas 2) -
130	5,03	0,70	1,95	- 0,05
140	4,33	0,64	1,90	- 0,10
150	3,77	0,58	1,90	- 0,10
200	2,49	0,396	2,05	+0,05

Tabel 5. Hasil perhitungan faktor konversi maksimum mengacu pada Gambar 1 dan Gambar 2

kV	LogE	E	Faktor konversi maksimum $E_{120}(2/E_n(1.8))$	Beda faktor konversi maksimum terhadap faktor konversi paparan percobaan
130	0.655	4.52	1,30	+13.5 %
140	0.62	4.17	1,41	+12.2 %
150	0.55	3.55	1,65	+12.2 %
200	0.34	2.19	3,16	+12.2 %

Densitas yang dihasilkan pada tegangan 130 kV, 140 kV, 150 kV kurang dari 2, sedangkan pada tegangan 200 kV lebih dari 2. Pada Tabel 2 dan Tabel 3, terlihat bahwa perbedaan faktor konversi antara -1,44% sampai dengan +8,117% memberikan perbedaan densitas maksimum 0,1.

Mengacu pada standar ASME V artikel 2, batas minimal densitas yang diizinkan untuk radiografi las dengan sinar X adalah 1,8. Dengan demikian batas maksimal perbedaan densitas adalah 0,2. Dihubungkan

dengan perbedaan faktor konversi paparan, untuk memperoleh batas maksimal perbedaan faktor konversi dilakukan analisa paparan pada kurva karakteristik (gambar 1 dan gambar 2) untuk densitas 1,8. Hasil analisa disajikan dalam Tabel 5. Faktor konversi maksimal dalam tabel tersebut adalah perbandingan antara nilai paparan tegangan tabung 120 kV pada densitas 2 dan nilai paparan masing-masing tegangan tabung pada densitas 1,8.

Dari Tabel 5, dipilih +12,2 % sebagai batas maksimal beda faktor konversi paparan karena pada nilai tersebut akan memberikan densitas 1,8 pada 140 kV, 150 kV, 200 kV, dan lebih dari 1,8 pada 130 kV.

Kesimpulan

1. Perbedaan faktor konversi paparan teoritis dibandingkan dengan faktor konversi hasil percobaan pada perubahan tegangan dari 120 kV ke 130 kV, 140 kV, 150 kV, dan 200 kV adalah -1,44% sampai dengan 8,12%.
2. Perhitungan paparan menggunakan faktor paparan teoritis menghasilkan perbedaan densitas -0,1 sampai dengan +0,05, dibanding perhitungan dengan faktor paparan percobaan.
3. Mengacu pada standar ASME Y artikel 2 bahwa densitas minimal untuk radiografi las dengan sinar X adalah 1,8, maka dapat ditentukan batas maksimal perbedaan faktor konversi paparan yaitu +12,2% atau batas maksimal perbedaan densitas yaitu -0,2.
4. Perbedaan densitas dan perbedaan faktor konversi paparan masih dalam batas yang ditentukan, sehingga rumus konversi paparan dapat diterapkan pada mesin sinar X Rigaku-RF-250EGM milik Pusdiklat BATAN.

Saran

Perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan tegangan acuan yang berbeda atau pesawat sinar X lain untuk lebih memperjelas lingkup penerapan rumus konversi paparan.

Daftar Pustaka

- Cart, Louis, *Nondestructive Testing*, ASM International, 1995
Busong, C. Stewart, *Radiologic Science for Technologists*, Mosby-Year Book, 1993.