

OA15

## ANALISIS PENGGUNAAN METODE T-TEST DALAM PENGECEKAN ANTARA PADA ALAT UKUR X-RAY MULTIMETER UNTUK UJI KESESUAIAN

Haendra Subekti<sup>1</sup>, Endang Kunarsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir – BAPETEN

<sup>2</sup>Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN

e-mail: h.subekti@bapeten.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGGUNAAN METODE T-TEST DALAM PENGECEKAN ANTARA PADA ALAT UKUR X-RAY MULTIMETER UNTUK UJI KESESUAIAN.** Pengecekan antara terhadap alat ukur merupakan suatu proses untuk menjamin unjuk kerja dari alat ukur tersebut. Dalam makalah ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui kemampooterapan metode *t-test* dalam proses pengecekan antara. Analisis dilakukan berdasarkan *benchmark* antara metode *t-test* dengan metode *control chart*. Sampel data ukur berupa besaran tegangan dan kerma udara, yang diambil pada periode 2016-2017 dengan kondisi suhu 18,9 – 21,0 °C, kelembaban 57 - 65%, SDD 100 cm dan luas lapangan penyinaran 25 x 25 cm<sup>2</sup>. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *t-test* mampu terap untuk digunakan dalam evaluasi pengecekan antara.

**Kata kunci:** pengecekan antara, *t-test*, *X-ray multimeter*

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF T-TEST METHOD USED FOR INTERMEDIATE CHECK OF X-RAY MULTIMETER FOR COMPLIANCE TEST MEASURING DEVICE.** *Intermediate check is a process to ensure the performance of the measuring instrument. In this paper an experiment was conducted to find out whether the t-test method was capable of being applied to the intermediate check. The analysis is based on benchmark between t-test method and control chart method. The data sample is the quantity of voltage and air kerma, taken in the period 2016-2017 with condition are: temperature 18,9 – 21,0 °C, humidity 57 - 65%, SDD 100 cm and field area 25 x 25 cm<sup>2</sup>. The analysis results showed that t-test method is capable of being used for evaluating intermediate check of X-ray multimeter.*

**Keywords:** *intermediate check, t-test, X-ray multimeter*

### PENDAHULUAN

Seiring dengan implementasi regulasi tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, penggunaan alat ukur *non-invasive* untuk pengujian pesawat sinar-X, yang biasa disebut *X-ray multimeter*, meningkat dengan cukup signifikan. *X-ray multimeter* merupakan peralatan utama dalam pengujian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional karena digunakan untuk mengukur besaran utama yang dihasilkan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, yaitu tegangan puncak, waktu eksposi, kerma, kualitas berkas (HVL) dan kuat arus.

Segmen pengguna *X-ray multimeter* cukup luas sesuai dengan kepentingannya masing-masing, antara lain produsen untuk melakukan uji produk, instalatir untuk melakukan uji fungsi, laboratorium penguji untuk melakukan uji kesesuaian, badan pengawas untuk kepentingan inspeksi, fasilitas kesehatan untuk melakukan kendali mutu, perguruan tinggi untuk kepentingan pendidikan, lembaga penelitian untuk kepentingan riset, dan lembaga pelatihan untuk kepentingan pelatihan. Mengingat beragamnya tujuan penggunaan *X-ray multimeter*, makalah ini membatasi pembahasan pada penggunaan *X-ray multimeter* untuk tujuan pengujian

pesawat sinar-X oleh laboratorium penguji atau Lembaga Uji Kesesuaian (LUK).

Saat ini jumlah LUK yang ditunjuk oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) per Mei 2018 sebanyak 44 (empat puluh empat) instansi. Jumlah *X-ray multimeter* yang telah dimiliki oleh LUK sekitar 83 set dengan berbagai merk/model.

Berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial [1], Pasal 33 dan 34 menyatakan bahwa kalibrasi peralatan uji kesesuaian pesawat sinar-X dilakukan secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 2 (dua) tahun. Namun demikian, dalam kurun waktu 2 (dua) tahun tersebut *X-ray multimeter* berpotensi mengalami *drift*, yaitu perubahan mutu metrologis alat ukur, misalnya perubahan nilai koreksi (atau nilai penyimpangan) dari waktu ke waktu. *Drift* yang dialami *X-ray multimeter* dapat terjadi karena kondisi lingkungan, penuaan komponen atau kualitas material/komponen. Oleh karena itu, pengecekan antara (*intermediate check*) dalam masa kalibrasi perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi pada parameter *X-ray multimeter*. Semakin sering pengecekan antara dilakukan semakin baik karena dapat diketahui karakteristik dan unjuk kerja alat

terkini. Namun, jadwal pengecekan antara tetap mempertimbangkan beban kerja laboratorium.

Untuk menjamin kepercayaan terhadap unjuk kerja alat ukur melalui proses pengecekan antara, metode yang saat ini banyak digunakan adalah *control chart*. *Control chart* dapat memberikan gambaran unjuk kerja alat ukur secara historis selama alat ukur tersebut digunakan. Data ukur hasil pengecekan antara yang dimasukkan dalam *control chart* akan dapat dievaluasi unjuk kerjanya apakah masih dalam rentang *baseline* ataukah telah menyimpang.

Untuk membuat *control chart* bagi *X-ray multimeter*, diperlukan sumber radiasi berupa pesawat sinar-X dengan spesifikasi yang sesuai dengan rentang pengukuran alat ukur. Metode *control chart* juga mensyaratkan pembuatan baseline selama 10 (sepuluh) hari berturut-turut. Kondisi lingkungan dan kondisi pesawat sinar-X untuk pengecekan antara harus dipertahankan sama karena akan signifikan mempengaruhi hasil pengukuran. Hal inilah yang menjadi kendala dalam melakukan pengecekan antara secara berkala, yaitu ketersediaan pesawat sinar-X yang tetap dari waktu ke waktu. Saat ini, hanya 3 (tiga) LUK yang memiliki pesawat sinar-X sehingga 41 (empat puluh satu) LUK lainnya tidak memiliki sehingga akan terkendala dalam mengimplementasikan pengecekan antara dengan metode *control chart*.

Metode alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengatasi kendala di atas. Makalah ini mengusulkan penggunaan metode *t-test* untuk evaluasi pengecekan antara *X-ray multimeter* secara efisien. Meskipun tetap membutuhkan pesawat sinar-X sebagai sumber radiasi, namun pesawat sinar-X yang digunakan untuk pengecekan antara dapat berbeda-beda. Besaran yang akan dianalisis juga perlu ditetapkan agar pemantauan dapat efektif. Diharapkan, metode *t-test* ini dapat diterapkan sebagai salah satu implementasi penjaminan mutu hasil pengukuran/pengujian.

## LANDASAN TEORI

### a) Pengecekan antara (*intermediate check*)

Informasi unjuk alat ukur (nilai deviasi/koreksi dan ketidakpastian) dapat diketahui dari sertifikat kalibrasi, namun perlu diingat bahwa sesungguhnya informasi tersebut hanya relevan apabila kondisi pengukuran sesuai dengan kondisi pada saat kalibrasi. Sesuai dengan ISO/IEC 17025:2017 [2], dijelaskan bahwa:

- setiap laboratorium harus membuat program kalibrasi peralatan, yang mana harus direview dan diambil tindakan untuk menjaga keyakinan terhadap status kalibrasi. Apabila diperlukan, pengecekan antara terhadap peralatan di antara periode kalibrasi harus dilakukan.
- untuk menjamin kepercayaan terhadap unjuk kerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran perlu dilakukan pengecekan antara.

Pengecekan antara merupakan suatu pengujian untuk mengkonfirmasi apakah penyimpangan antara nilai yang ditampilkan oleh alat ukur dan nilai yang telah diketahui dari besaran yang diukur selalu lebih kecil dari kesalahan maksimum yang diperbolehkan oleh standar, peraturan atau spesifikasi khusus dalam mengelola peralatan ukur. Sebagai contoh, sertifikat kalibrasi salah satu *X-ray multimeter* menyatakan limit deviasi yang ditetapkan oleh pabrikan sebagai spesifikasi sebagaimana dalam Tabel 1.

Tabel 1. Contoh informasi teknis dalam sertifikat kalibrasi

Standard kV	Deviation from standard	Deviation limit	Uncertainty
49.91	0.0%	1.5%	0.5%
69.91	0.1%	1.5%	0.5%
99.82	0.6%	1.4%	0.6%
149.6	0.3%	1.3%	0.7%
79.90	0.9%	1.2%	0.8%

Sumber: sertifikat kalibrasi alat ukur milik BAPETEN

Pengecekan antara diperlukan untuk memelihara kepercayaan status kalibrasi dan harus dilaksanakan sesuai dengan prosedur dan jadwal yang ditetapkan. Dengan demikian, program dan jadwal kalibrasi hendaknya mencakup juga jadwal pengecekan antara. Dalam Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 [1] Pasal 32, dinyatakan bahwa pengecekan antara terhadap peralatan uji kesesuaian harus dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam masa kalibrasi untuk memberikan keyakinan pada unjuk kerja peralatan.

Hasil pengecekan antara akan dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam menetapkan apakah peralatan ukur tetap dapat dipakai, perlu dilakukan penyetelan, diperbaiki, diturunkan tingkatnya, atau bahkan tidak dapat dipakai lagi.

### b) *Control chart*

Kendali mutu merupakan bagian dari sistem mutu dan harus direview secara berkala. Alat ukur yang memengaruhi hasil pengujian harus diberikan pengendalian untuk memastikan bahwa unsur kedapatulangan, reproduksibilitas, dan bias dapat dipenuhi. Salah satu sarana untuk mengendalikan mutu alat ukur adalah penggunaan *control chart*. Salah satu tipenya adalah *X-chart* yang berbasis pada distribusi nilai ukur yang mendekati nilai sesungguhnya. *Chart* ini dapat digunakan untuk memantau kombinasi efek acak dan sistematis terhadap nilai ukur pada hasil tunggal atau rerata dari analisis jamak. [3]

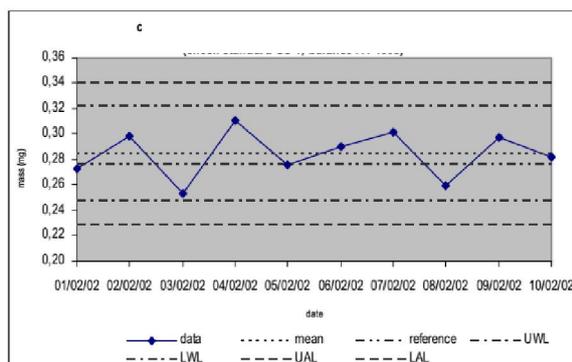
KAN-G-06 [4] menyebutkan bahwa *control chart* dalam konteks pengukuran adalah sarana grafis yang digunakan untuk memvisualisasikan data guna keperluan pemantauan, evaluasi, dan peningkatan proses pengukuran mengingat:

- 1) pemantauan dan evaluasi merupakan bagian dari pengendalian proses melalui tindakan korektif dan peningkatan proses; dan

- 2) proses pengukuran mencakup evaluasi beberapa faktor yang berkontribusi antara lain standar, kegiatan pengambilan data, variabilitas, ketidakpastian, kondisi lingkungan dan kinerja staf.

Tipe chart yang biasanya digunakan disebut *Variable Control Chart*. Tipe chart ini dicirikan dengan adanya nilai/hasil pengukuran yang diplot, nilai X (variabel), nilai rerata atau nilai acuan berdasarkan kalibrasi, dan batas peringatan/kontrol atas/bawah. Tipe chart ini sesuai untuk mendeteksi perubahan besar tetapi tidak sesuai untuk mendeteksi perubahan kecil ( $\frac{1}{2}$  hingga 1 kali standar deviasi) dengan cepat dalam proses.

Sesuai KAN-G-06, *control chart* untuk alat ukur dimulai dengan membuat baseline data pengukuran sebanyak 10 (sepuluh) hari berturut-turut. Berdasarkan data pengukuran tersebut, dibuat *control chart* dengan membuat plot nilai pengukuran, nilai rerata, batas peringatan atas/bawah (UWL = *upper warning level* dan LWL = *lower warning level*) yang bernilai  $\mu \pm 2\sigma$ , dan batas tindakan atas/bawah (UAL = *upper action level* dan LAL = *lower action level*) yang bernilai  $\mu \pm 3\sigma$ , dengan catatan sebagai sumbu X adalah tanggal pengukuran.



Gambar 1. Contoh *control chart* sesuai KAN-G-06

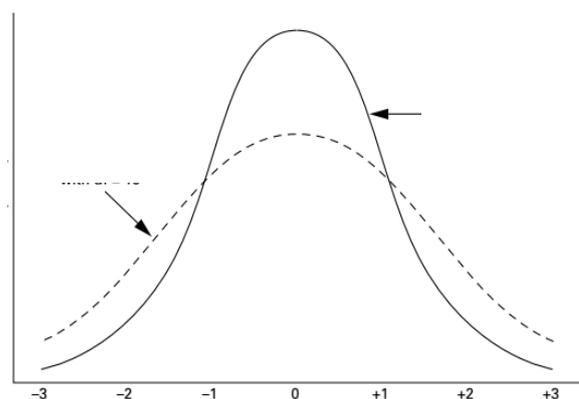
Pengukuran berikutnya dilakukan secara berkala sesuai jadwal yang ditetapkan, misalnya 3 atau 6 bulan sekali. Pengukuran berikutnya itu disebut juga pengecekan antara. Data pengukuran berikutnya diplot dalam *control chart* dengan sumbu X adalah tanggal pengukuran berikutnya. Apabila data pengukuran atau plot berada di antara UWL dan LWL, alat ukur dinyatakan masih dalam kondisi baik. Apabila data pengukuran atau plot berada di antara UWL dan UAL atau di antara LWL dan LAL, alat ukur perlu dipantau lebih sering karena ada indikasi penyimpangan. Apabila data pengukuran atau plot berada di atas UAL atau di bawah LAL, alat ukur perlu dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut karena terjadi penyimpangan dari data *baseline*.

### c) *T-test* (uji-t)

Salah satu kegiatan statistik induktif adalah menguji sebuah hipotesis (dugaan sementara). Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang

menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit; apakah standar deviasi populasi diketahui; apakah varians populasi diketahui; metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya. [5]

Jika ukuran sampel kurang dari 100, efek variasi dalam kelompok menjadi lebih besar. Dalam kasus ini, distribusi normal digantikan dengan distribusi *t*. Tidak seperti distribusi normal, bentuk distribusi *t* tergantung ukuran sampel sebagaimana disajikan dalam Gambar 2. Bentuknya selalu simetris. Dengan ukuran sampel yang kecil kurva menjadi lebih rata dan memiliki “ekor” lebih panjang. Namun dengan meningkatnya ukuran sampel, kurva akan terdistribusi secara normal. [6]



Gambar 2. Kurva distribusi *t* dibandingkan distribusi normal

Penggunaan distribusi *t* dalam *t-test* berfungsi untuk mendapatkan nilai frekuensi dari distribusi *t* sesuai tingkat kepercayaannya, yang selanjutnya disebut dengan nilai  $t_{tabel}$ .

Untuk melakukan *t-test*, dalam konteks pengecekan antara alat ukur, harus dibuat hipotesis  $H_0$  yaitu kondisi alat ukur saat ini tetap sama atau tidak berbeda dengan kondisi alat ukur saat masih baru atau setelah dilakukan kalibrasi yang terakhir.

*T-test* (disebut juga *Student's T-Test*) umumnya digunakan untuk mengetahui perbedaan yang signifikan antara dua sampel. Dua sampel ini dapat berukuran sama atau berbeda. Jenis *t-test* terdiri dari:

- 1) Dua sampel berhubungan (*corelated*)
  - *paired t-test* (*before after*)
- 2) Dua sampel bebas (*uncorelated*)
  - varian homogen; atau
  - varian heterogen.

Oleh karena itu dalam konteks pengecekan antara alat ukur digunakan model *t-test* dua sampel dengan pertimbangan jumlah sampel tidak besardan varians populasi tidak diketahui.

Sebelum melakukan *t-test*, dilakukan uji homogenitas varian untuk mengetahui apakah varians sama atau berbeda dengan persamaan:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (\text{persm 1.})$$

$$df_1 = n_1 - 1 \quad (\text{persm 2.})$$

$$df_2 = n_2 - 1 \quad (\text{persm 3.})$$

dengan

$F$  = nilai F hitung

$s_1^2$  = nilai varian terbesar

$s_2^2$  = nilai varian terkecil

$n_1$  = jumlah sampel pada kelompok varian terbesar

$n_2$  = jumlah sampel pada kelompok varian terkecil

$df_1$  = derajat kebebasan pada kelompok varian terbesar

$df_2$  = derajat kebebasan pada kelompok varian terkecil

Setelah diperoleh nilai  $F_{hitung}$ , tentukan nilai  $F_{tabel}$  pada probabilitas = 0,05 dengan  $df_1$  sebagai pembilang dan  $df_2$  sebagai penyebut. Apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , varians dianggap homogen atau sama, dan sebaliknya apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , varians dianggap heterogen atau berbeda.

Untuk varians homogen atau sama, nilai  $t$  diperoleh dengan persamaan:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (\text{persm 4.})$$

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (\text{persm 5.})$$

Sedangkan untuk varians heterogen atau berbeda, nilai  $t$  diperoleh dengan persamaan:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (\text{persm 6.})$$

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1-1} \left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2-1} \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2} \quad (\text{persm 7.})$$

dengan:

$t$  = nilai t hitung

$\bar{X}_1$  = rata-rata sampel kelompok 1

$\bar{X}_2$  = rata-rata sampel kelompok 2

$n_1$  = jumlah sampel kelompok 1

$n_2$  = jumlah sampel kelompok 2

$df$  = derajat kebebasan

Setelah diperoleh nilai  $t_{hitung}$ , tentukan nilai  $t_{tabel}$  pada  $\alpha = 0,05$  dan  $df$ . Apabila  $t_{hitung} < t_{tabel}$ , hipotesis  $H_0$  diterima, dan sebaliknya apabila  $t_{hitung} > t_{tabel}$ , hipotesis  $H_0$  ditolak.

**METODOLOGI**

Dalam makalah ini, digunakan metode eksperimen, dengan tahapan: pengambilan data ukur, analisis data, *benchmarking*, dan perumusan hasil. Pengambilan data dilakukan di laboratorium uji kesesuaian BAPETEN periode 2016 - 2017.

- Besaran yang akan menjadi obyek analisis adalah tegangan dan kerma.
- Spesifikasi *X-ray multimeter* yang digunakan sebagai obyek uji adalah:

Komponen	Merk/ Tipe	S/N	Firm-ware	Kalibrasi
Sensor R/F	Raysafe X2	214160	X2 R/F 4.18	18-06-2015
Base Unit	Raysafe X2	212751	X2 Base Unit 3.8	NA

- Pesawat sinar-X yang digunakan sebagai sumber radiasi adalah:

Jenis	Pesawat sinar-X mobile
Merk	Siemen Polymobil Plus
Model	101878100
Spesifikasi	- Rentang tegangan: 40 – 125 kV - Rentang kuat arus waktu: 0,32 – 250 mAs - Rentang SID: 42 – 189,5 cm - Filter: 3 mm Al

- Kondisi lingkungan pada saat pengujian yaitu suhu 18,9 – 21,0 °C dan kelembaban 57 - 65%.
- Seting peralatan yang digunakan dalam pengujian yaitu *source to detector distance* (SDD) 100 cm dan luas lapangan penyinaran 25 x 25 cm<sup>2</sup>.

Selanjutnya dilakukan pembuatan *control chart* sesuai Instruksi Kerja No. IK/DK2N.2/NN.11 Revisi 1 [7] dan analisis *t-test* terhadap 2 sampel independen. Untuk pembuatan *control chart*, *baseline* menggunakan data pada Maret 2016 dan pengecekan antara menggunakan data pada April 2017. Untuk *t-test*, sampel 1 adalah data *baseline* pada Maret 2016 dan sampel 2 adalah data pengecekan antara pada April 2017. Hasil *t-test* dibandingkan terhadap *control chart* sebagai *benchmarking*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

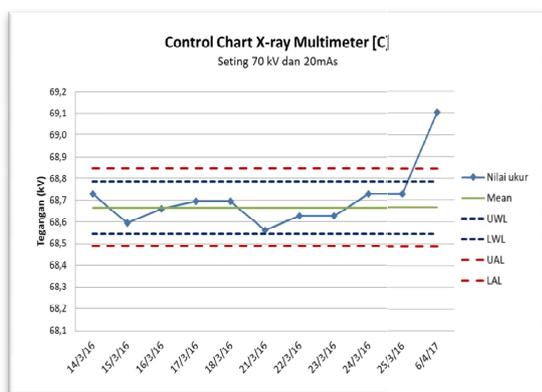
**1. Analisis data untuk masing-masing besaran.**

**a) Tegangan puncak**

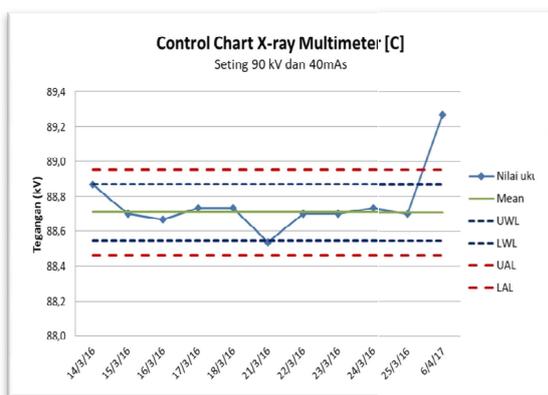
Sampel data untuk besaran tegangan puncak dilakukan analisis pada kondisi 70 kV; 20 mAs dan 90 kV; 20 mAs, dengan data ukur disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan data pada Tabel 2, disusun *control chart* untuk tegangan pada kondisi 70 kV; 20 mAs dan 90 kV; 20 mAs, yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 2. Sampel data ukur tegangan pesawat sinar-X (satuan kV)

No.	70 kV ; 20 mAs		90 kV ; 20 mAs	
	Baseline	Cek antara	Baseline	Cek antara
1.	68,7	69,1	88,9	89,3
2.	68,6	69,1	88,7	89,2
3.	68,7	69,0	88,7	89,4
4.	68,7		88,7	
5.	68,7		88,7	
6.	68,6		88,5	
7.	68,6		88,7	
8.	68,6		88,7	
9.	68,7		88,7	
10.	68,7		88,7	
<b>n</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>3</b>
<b><math>\bar{X}</math></b>	<b>68,67</b>	<b>69,11</b>	<b>88,71</b>	<b>89,27</b>
<b>s</b>	<b>0,0596</b>	<b>0,0579</b>	<b>0,0811</b>	<b>0,1003</b>



Gambar 3. Control chart tegangan pada 70 kV



Gambar 4. Control chart tegangan pada 90 kV

Pada Gambar 3 dan Gambar 4, nampak bahwa hasil pengecekan antara (April 2017) untuk besaran tegangan pada *X-ray multimeter* memberikan plot yang berada di luar kontrol (tepatnya di atas UAL). Pada Gambar 3, data pengecekan antara 69,10 kV dan nilai UAL 68,49 kV. Pada Gambar 4, data

pengecekan antara 89,27 kV dan nilai UAL 88,95 kV. Hasil ini merekomendasikan agar *X-ray multimeter* tersebut dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut. Apabila *X-ray multimeter* tetap digunakan, hasil pengukuran tegangan puncak berpotensi tidak akurat karena unjuk kerja *X-ray multimeter* telah menyimpang di luar kontrol. Inilah manfaat dari pengecekan antara, yaitu dapat mencegah hasil pengukuran yang tidak akurat dikarenakan unjuk kerja alat ukur.

Selanjutnya, menggunakan data pada Tabel 2, dilakukan *t-test* untuk tegangan 70 kV dan 90 kV dengan sampel 1 adalah data baseline, dan sampel 2 adalah data pengecekan antara. Dalam hal ini hipotesis  $H_0$  adalah hasil ukur pada saat pengecekan antara sama dengan hasil ukur pada *baseline*. Hasil *t-test* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Pada Tabel 4, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians homogen atau sama, dan *t-test* memberikan hasil  $t_{hitung} = -11,244$  dan  $t_{tabel} = 2,201$  sehingga  $H_0$  diterima. Hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa kondisi kinerja alat ukur sama atau tetap stabil. Namun demikian, hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang berlawanan, *t-test* menyatakan kondisi alat ukur tetap sama, sedangkan *control chart* menyatakan kondisi alat di luar rentang kontrol.

Tabel 4. *T-test* untuk tegangan 70 kV

	Sampel 1 (baseline)	Sampel 2 (cek antara)
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 68,67$ kV $s = 0,0596$	$n = 3$ $\bar{X} = 69,11$ kV $s = 0,0579$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1,13$ $F_{tabel} = 19,38$ ( $p = 0,05$ ) $F_{hitung} < F_{tabel} \rightarrow$ varians homogen	
<i>t-test</i> untuk varians homogen	$t_{hitung} = -11,244$ $t_{tabel} = 2,201$ ( $df = 11$ dan $\alpha = 0,05$ ) $t_{hitung} < t_{tabel} \rightarrow H_0$ diterima	

Pada Tabel 5, uji homogenitas memberikan hasil bahwa 2 sampel memiliki varians homogen atau sama, dan *t-test* memberikan hasil  $t_{hitung} = 9,984$  dan  $t_{tabel} = 2,201$  sehingga  $H_0$  ditolak. Apabila  $H_0$  ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada *baseline*, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur.

Tabel 5. *T-test* untuk tegangan 90 kV

	Sampel 1 (baseline)	Sampel 2 (cek antara)
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 88,71$ kV $s = 0,0811$	$n = 3$ $\bar{X} = 89,27$ kV $s = 0,1003$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 2,34$ $F_{tabel} = 4,26$ ( $p = 0,05$ )	

	$F_{hitung} < F_{tabel} \rightarrow$ varians homogen
<i>t</i> -test untuk varians homogen	$t_{hitung} = 9,984$ $t_{tabel} = 2,201$ ( $df = 11$ dan $\alpha = 0,025$ ) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak

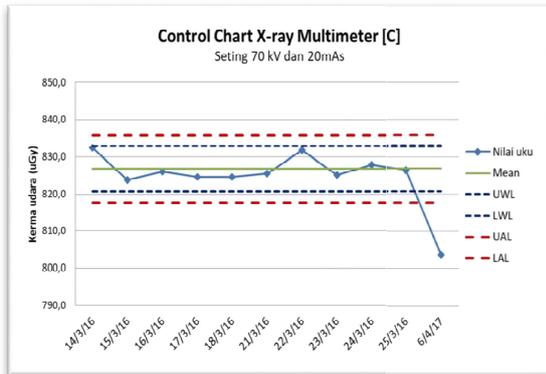
**b) Kerma udara**

Sampel data untuk besaran kerma udara, dilakukan analisis pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV dengan data ukur disajikan pada Tabel 6.

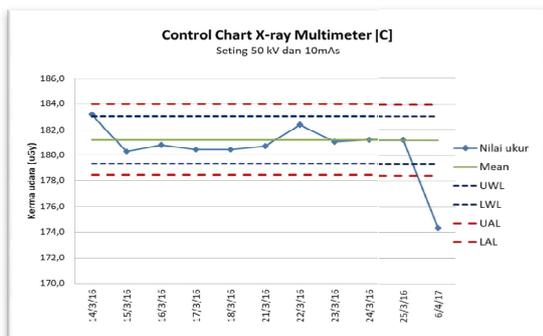
Tabel 6. Sampel data ukur kerma udara pesawat sinar-X (satuan  $\mu\text{Gy}$ )

No.	10 mAs ; 50 kV		20 mAs ; 70 kV	
	Baseline	Cek antara	Baseline	Cek antara
1.	183,2	176,7	832,5	803,5
2.	180,3	177,0	823,8	804,3
3.	180,8	176,8	826,1	803,3
4.	180,5		824,5	
5.	180,5		824,5	
6.	180,7		825,5	
7.	182,4		831,7	
8.	181,1		825,1	
9.	181,2		827,9	
10.	181,2		826,4	
<i>n</i>	10	3	10	3
$\bar{X}$	181,18	174,36	826,80	803,69
<i>s</i>	0,9213	0,1506	3,0274	0,5217

Berdasarkan data pada Tabel 6, disusun *control chart* untuk besaran kerma udara pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV yang disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. *Control chart* kerma udara pada 10 mAs



Gambar 6. *Control chart* kerma udara pada 20 mAs

Pada Gambar 5 dan Gambar 6, nampak bahwa hasil pengecekan antara (April 2017) untuk besaran kerma udara pada *X-ray multimeter* memberikan plot yang berada di luar rentang (tepatnya di bawah LAL). Pada Gambar 5, data pengecekan antara 174,36  $\mu\text{Gy}$  dan nilai UAL 183,95  $\mu\text{Gy}$ . Pada Gambar 6, data pengecekan antara 803,69  $\mu\text{Gy}$  dan nilai UAL 817,72  $\mu\text{Gy}$ . Hasil ini merekomendasikan agar *X-ray multimeter* tersebut dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut. Apabila *X-ray multimeter* tetap digunakan, hasil pengukuran kerma udara berpotensi tidak akurat karena unjuk kerja *X-ray multimeter* telah menyimpang di luar kontrol.

Selanjutnya menggunakan data pada Tabel 6, dilakukan *t*-test untuk kerma udara pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV sebagai berikut. Sampel 1 adalah data *baseline*, dan sampel 2 adalah data cek antara. Dalam hal ini hipotesis  $H_0$  adalah hasil ukur pada saat pengecekan antara sama dengan hasil ukur pada *baseline*. Hasil *t*-test disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. *t*-test untuk kerma pada 10 mAs

	Sampel 1	Sampel 2
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 181,18 \mu\text{Gy}$ $s = 0,92128$	$n = 3$ $\bar{X} = 174,36 \mu\text{Gy}$ $s = 0,15061$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1399,93$ $F_{tabel} = 19,38$ ( $p = 0,05$ ) $F_{hitung} > F_{tabel} \rightarrow$ varians heterogen	
<i>t</i> -test untuk varians heterogen	$t_{hitung} = 22,444$ $t_{tabel} = 2,228$ ( $df = 10$ dan $\alpha = 0,025$ ) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak	

Pada Tabel 7, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians heterogen atau berbeda, dan *t*-test memberikan hasil  $t_{hitung} = 22,444$  dan  $t_{tabel} = 2,228$  sehingga  $H_0$  ditolak. Apabila  $H_0$  ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada *baseline*, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian, hasil *t*-test dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur

Tabel 8. *T*-test untuk kerma pada 20 mAs

	Sampel 1	Sampel 2
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 826,80 \mu\text{Gy}$ $s = 3,0274$	$n = 3$ $\bar{X} = 803,69 \mu\text{Gy}$ $s = 0,5217$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1133,52$ $F_{tabel} = 19,38$ ( $p = 0,05$ ) $F_{hitung} > F_{tabel} \rightarrow$ varians heterogen	
<i>t</i> -test untuk varians heterogen	$t_{hitung} = 23,0321$ $t_{tabel} = 2,228$ ( $df = 10$ dan $\alpha = 0,025$ ) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak	

Pada Tabel 8, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians heterogen atau berbeda, dan *t-test* memberikan hasil  $t_{hitung} = 23,0321$  dan  $t_{tabel} = 2,228$  sehingga  $H_0$  ditolak. Apabila  $H_0$  ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada baseline, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian, hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur.

## 2. Review terhadap hasil *benchmark* antara penggunaan *t-test* terhadap *control chart*

Berdasarkan 4 (empat) sampel kasus di atas, telah dilakukan *benchmarking* metode *t-test* terhadap *control chart* dalam konteks pengecekan antara *X-ray multimeter*. Diperoleh bahwa 3 dari 4 kasus memberikan kesimpulan yang sama, sedangkan 1 dari 4 kasus (yaitu besaran tegangan pada 70 kV) memberikan hasil yang berbeda. Meskipun tidak 100% memberikan kesimpulan yang sama, metode *t-test* merupakan sebuah opsi yang patut dipertimbangkan mengingat *t-test* memang ditujukan untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antara 2 (dua) sampel. Dengan mengetahui bahwa 2 sampel tidak memiliki perbedaan signifikan, maka dapat diyakini bahwa kondisi unjuk kerja alat ukur masih stabil sesuai kondisi sebelumnya atau *baseline*.

Dalam hal pengambilan data, metode *t-test* tidak perlu melakukan pembuatan *baseline* dengan data pengukuran 10 hari berturut-turut, namun cukup melakukan pengukuran dengan pengulangan 10 kali untuk membuat *baseline*. Hal ini sebaiknya dilakukan pada kondisi alat baru. Apabila belum dilakukan pada kondisi alat baru, pembuatan *baseline* dapat dilakukan setelah kalibrasi ulang. Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan pengulangan 5 – 10 kali untuk pengecekan antara.

Metode ini juga relatif murah karena Lembaga Uji Kesesuaian dapat melakukan pengambilan data ukur bersamaan dengan melakukan uji kesesuaian di fasilitas kesehatan. Uji reproduksibilitas pesawat sinar-X, yang biasanya hanya 5 pengulangan, dapat dilakukan menjadi 10 pengulangan untuk pembuatan *baseline*. Untuk pengecekan antara, hal yang sama juga dapat dilakukan. Pastikan kondisi seting dan besaran yang digunakan sama.

Mengingat metode *t-test* dapat menggunakan pesawat sinar-X yang berbeda pada saat pembuatan *baseline* maupun pengecekan antara, dimana hal ini juga berkontribusi pada hasil pengukuran yang berdampak akan perbedaan yang signifikan antar sampel, maka kondisi akurasi tegangan dan reproduksibilitas pesawat (berdasarkan sertifikat uji kesesuaian) sebaiknya diidentifikasi untuk melakukan koreksi hasil pengukuran. Apabila diketahui akurasi tegangan, misalnya 7%, maka hasil

pengukuran tegangan sebaiknya dikoreksi dengan nilai akurasinya. Misalnya diperoleh pengukuran 75 kV pada seting 70 kV dan diketahui akurasi tegangan 7%, maka nilai pengukuran tegangan yang dicatat sebesar  $(75 - 7\% \times 75)$  kV = 69,75 kV.

Besaran ukur yang menjadi obyek analisis disarankan untuk menggunakan besaran tegangan dan kerma udara. Besaran tegangan dipilih karena umumnya seting tegangan ada pada semua pesawat sinar-X dan hal ini memudahkan untuk mengetahui akurasi tegangan dari pesawat sinar-X. Besaran kerma udara dipilih karena penting dalam konteks keselamatan radiasi.

Metode *control chart* dan metode *t-test* juga telah dilakukan *benchmarking* dalam riset pemasaran atau promosi produk [8]. Hasilnya menunjukkan bahwa 2 (dua) metode tersebut memberikan hasil yang setara.

## 3. Panduan metode *t-test* untuk pengecekan antara

Pada saat melakukan pengambilan data, pastikan kondisi pesawat sinar-X telah diketahui berdasarkan Laporan Uji Kesesuaian yang terakhir. Informasi yang penting adalah akurasi tegangan, reproduksibilitas tegangan dan keluaran radiasi. Rekam kondisi lingkungan, akurasi tegangan, dan reproduksibilitas, identitas pesawat sinar-X, seting ekposi, SDD dan luas lapangan kolimasi. Pastikan bahwa seting ekposi, SDD, dan luas lapangan kolimasi tetap sama untuk tiap pengambilan data.

Lakukan ekposi dengan pengulangan 10 kali dan rekam tegangan dan kerma udara. Apabila kegiatan ini merupakan pengambilan data pertama kali untuk *baseline*, maka data harus disimpan. Bila nilai akurasi tegangan lebih dari 5%, lakukan koreksi terhadap data yang disimpan. Koreksi tersebut diharapkan dapat meminimalkan perbedaan hasil ukur yang disebabkan kondisi pesawat sinar-X.

Lakukan hal yang sama pada saat pengambilan data untuk pengecekan antara, dan simpan datanya.

Masing-masing sampel (*baseline* dan cek antara) dihitung rerata, standar deviasi, varians dan jumlah sampel. Lakukan analisis *F-test* menggunakan persamaan (1) sampai (3) dan *t-test* menggunakan persamaan (4) dan (5) atau (6) dan (7). Siapkan tabel *F* dengan  $p = 0,05$  dan tabel *t* dengan nilai kepercayaan 95% atau  $\alpha = 0,025$  pada dua sisi.

Diharapkan metode alternatif ini dapat digunakan oleh Lembaga Uji Kesesuaian dalam pengecekan antara alat ukur *X-ray multimeter* untuk menjamin validitas hasil pengujian pesawat sinar-X.

## KESIMPULAN

- a) Pengecekan antara merupakan salah satu upaya untuk memberikan jaminan kepercayaan terhadap unjuk kerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran

- b) Metode pengecekan antara untuk *X-ray multimeter* menggunakan *t-test* merupakan metode alternatif yang mampu terap dan memberikan hasil yang relatif sama dengan metode *control chart*.
- c) Kelebihan menggunakan *t-test* adalah pesawat sinar-X yang digunakan tidak harus sama dan dapat dilakukan bersama dengan kegiatan pengambilan data uji kesesuaian di fasilitas kesehatan,
- d) Kondisi yang perlu dipertimbangkan dalam pengecekan antara menggunakan *t-test* adalah kontributor yang menyebabkan perbedaan signifikan yaitu akurasi tegangan, reproduksibilitas tegangan dan keluaran radiasi dari pesawat sinar-X yang digunakan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Tim Uji Profisiensi Laboratorium Penguji Pesawat Sinar-X BAPETEN atas penyediaan data teknis yang dibutuhkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, 2018, *Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, BAPETEN.
- [2] ISO/IEC, 2017, *ISO/IEC 17025:2017 General Requirements fFor the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, ISO/IEC.
- [3] Hovind H., Magnusson B., et al., 2011, *Internal Quality Control (Nordtest Report TR 569)*, Nordic Innovation.
- [4] KAN, 2008, *KAN-G-06 KAN Guide on Measurement Assurance*, KAN.
- [5] Spiegel, MR, Stephens, LJ, 1999, *Schaum's Outlines of Theory and Problems of Statistics*, McGraw-Hill Book Companies.
- [6] Driscoll, P, Lecky, F, 2001, *Article 7: An introduction to hypothesis testing, Emergency Medicine Journal*, Number 18, hal 214-221.
- [7] Kunarsih, E., 2018, *Instruksi Kerja Pengecekan Antara X-ray Multimeter (No. IK/DK2N.2/NN.11)*, Revisi 1, BAPETEN.
- [8] Burk, Scott, 2006, *A Better Statistical Method for A/B Testing in Marketing Campaigns, Marketing Bulletin*, Number 17, Technical Note 3.