

Analisis Perbedaan Pembacaan Nilai Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum menggunakan Multimeter X-Ray Raysafe dan Radcal

R. Silvia Putri Raharja Effendi¹, Wuwus Ardiatna², and Freddy Haryanto¹

¹ Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

² Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan PUSPIITEK Gedung 417 Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15314

E-mail: silviaputriraharja@gmail.com

Naskah Masuk	5 Agustus 2022
Naskah Revisi	8 Januari 2023
Naskah Diterima	3 Maret 2023
Naskah Terbit	21 Juni 2023

Abstrak: Penggunaan pesawat sinar-X secara terus-menerus berakibat pada penurunan efisiensi kinerja, maka perlu dilakukan Uji Kesesuaian untuk menjamin mutu fungsi kerja alat. Multimeter X-ray dengan jenis berbeda menunjukkan hasil pembacaan pengukuran berbeda terhadap pesawat sinar-X yang sama dalam satu rentang waktu. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menentukan besar perbedaan pembacaan nilai yang diperoleh dari dua multimeter X-ray berbeda. Metode penelitian mengacu pada Pedoman Teknis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum Nomor KU/PD/DKKN/04/1. Parameter yang diuji yaitu akurasi tegangan pada 40, 50, 60, 70 dan 80 kVp dengan pengaturan konstan 0,100 s dan 80 mA, akurasi waktu pada 0,025; 0,050; 0,080; 0,100 dan 0,125 s dengan pengaturan konstan 50 kVp dan 200 mA, linearitas keluaran pada 20, 25, 40, 50 dan 80 mA dengan pengaturan konstan 70 kVp dan 0,100 s, reproduksibilitas pada pengaturan 70 kVp, 200 mA dan 0,100 s. Pembacaan nilai uji dilakukan secara bergantian. Diperoleh nilai *error* terbesar akurasi tegangan pada merk Raysafe sebesar 2,60% dan Radcal 1,60%, *error* terbesar akurasi waktu pada Raysafe 1,20% dan Radcal 3,64%, nilai CL merk Raysafe dan Radcal sebesar 0,04. Nilai CV untuk tegangan, waktu dan dosis pada Raysafe dan Radcal menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 0,00; 0,00 dan 0,01. Kemudian uji-t pada hasil pembacaan uji reproduksibilitas dengan *confidence level* 95% menunjukkan tidak adanya perbedaan pembacaan nilai yang signifikan dari multimeter X-ray Raysafe dan Radcal.

Abstract:

The continuous use of X-ray machines has an impact on decreasing performance efficiency, it is necessary to carry out a Conformity Test to ensure the quality of the machine's work functions. X-ray multimeters of different types show different measurement readings on the same X-ray machine in one span of time. This research was conducted with the aim of determining the magnitude of the difference in the value readings obtained from two different X-ray multimeters. The research method refers to the Pedoman Teknis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum KU/PD/DKKN/04/1. Parameters tested were voltage accuracy at 40, 50, 60, 70 and 80 kVp with a constant setting of 0.100 s and 80 mA, time accuracy at 0,025; 0,050; 0,080; 0,100 and 0,125 s at constant 50 kVp and 200 mA settings, output linearity at 20, 25, 40, 50 and 80 mA at constant 70 kVp and 0,100 s settings, reproducibility at 70 kVp, 200 mA and 0,100 s settings. The reading of the test value is carried out alternately. The highest error values for voltage accuracy were obtained for Raysafe brands of 2,60% and Radcal 1,60%, the largest time accuracy errors for Raysafe 1,20% and Radcal 3,64%, CL values for Raysafe and Radcal brands 0,04. The CV values for voltage, time and dose for Raysafe and Radcal show the same values, were 0,00; 0,00 and 0,01. Then the t-test on the readings of the reproducibility test with a 95% confidence level showed that there was no significant difference in the readings of the Raysafe and Radcal X-ray multimeters.

Kata kunci: Akurasi, Efisiensi Kinerja, Linearitas, Reproduksiabilitas

Keywords: Accuracy, Linearity, Performance Efficiency, Reproducibility

1. Pendahuluan

Efisiensi kinerja pesawat sinar-X dapat mengalami penurunan seiring berjalannya waktu penggunaan. Untuk menjamin mutu fungsi kerja pesawat diperlukan suatu rangkaian kegiatan pengujian yang disebut Uji Kesesuaian¹. Terdapat berbagai jenis pesawat sinar-X berdasarkan fungsi kegunaannya, diantaranya pesawat sinar-X radiografi umum untuk pemeriksaan umum, pesawat sinar-X fluoroskopi yang dilengkapi monitor untuk mencitrakan objek secara *real time*, pesawat sinar-X mamografi untuk pemeriksaan payudara, pesawat sinar-X CT-scan untuk membuat citra tiga dimensi menggunakan metode tomografi, dan pesawat sinar-X gigi untuk pemeriksaan radiografi terhadap kondisi gigi tertentu². Berdasarkan data jumlah sebaran pesawat sinar-X di enam wilayah Indonesia³, radiografi umum menempati urutan pertama yaitu sebanyak 4303 unit, kemudian di urutan kedua yaitu pesawat sinar-X gigi dengan 1371 unit, urutan keempat fluoroskopi 682 unit, kelima CT-scan 568 unit dan terakhir mamografi 179 unit. Hal ini berarti kegiatan uji kesesuaian juga paling banyak dilakukan pada pesawat sinar-X radiografi umum.

Metode pengujian tersebut diatur dalam *Pedoman Teknis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum*⁴. Terdapat beberapa parameter uji yang harus terpenuhi agar pesawat masuk kedalam kriteria Andal, diantaranya yaitu uji akurasi tegangan keluaran, akurasi waktu eksposi, linearitas dan reproduksibilitas². Pengujian parameter-parameter tersebut dilakukan menggunakan alat ukur non-invasif yaitu multimeter *X-ray*. Multimeter *X-ray* diproduksi di berbagai negara dengan merk dan spesifikasi yang berbeda-beda, diantaranya *X-ray* multimeter Piranha, Unfors, Raysafe, Radcal dan lainnya. Meskipun fungsi dari multimeter *X-ray* tersebut sama, namun masing-masing merk menunjukkan hasil pembacaan pengukuran berbeda terhadap pesawat sinar-X yang sama dalam satu rentang waktu⁵.

Maka dari itu perlu dilakukannya suatu penelitian mengenai analisis perbedaan pembacaan nilai uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi umum menggunakan multimeter *X-ray* yang berbeda dengan tujuan untuk menentukan besar perbedaan pembacaan nilai yang diperoleh dari multimeter *X-ray* berbeda. Dengan hipotesa bahwa besarnya perbedaan pembacaan pada multimeter *X-ray* yang berbeda terhadap nilai keluaran radiasi pesawat sinar-X dalam satu rentang waktu dapat mempengaruhi hasil uji kesesuaian.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Pada penelitian ini digunakan pesawat sinar X radiografi umum terpasang tetap milik Radiologi Klinik Pratama ITB. Pesawat ini menggunakan merk tabung Toshiba tipe E7239, dengan kapasitas 125 kVp dan 300 mA, serta tahun pembuatan 2010.



Gambar 1. Pesawat sinar-X radiografi umum terpasang tetap di ruang Radiologi Klinik Pratama ITB.

Sedangkan alat yang digunakan untuk pengambilan data adalah multimeter *X-ray*, dengan dua merk yang berbeda yaitu merk Radcal dan Raysafe dengan spesifikasi pada Tabel. 1



Gambar 2. Multimeter X-ray merk (a) Raysafe dan (b) Radcal.

Tabel 1. Spesifikasi ultimeter X-ray merk Raysafe⁶ dan Radcal⁷

Spesifikasi	Multimeter merk Radcal	Multimeter merk Raysafe
Model/Tipe	Accu Gold Touch	X2 R/F
Jenis sensor	AGMS-DM Solid-State	R/F
Ukuran sensor	35,6 x 20,0 x 11,8 mm	14 x 22 79 mm
Reference point	Tanda bulat dengan garis tengah berdiameter 1 mm – 3,2 mm dari permukaan atas	Pada pusat penandaan sensor atas, kedalaman yang ditunjukkan oleh garis sisi sensor
Resolusi tegangan	0,01 < 100 < 0,1 kV	0,01 < 100 < 0,1 kV
Resolusi waktu	0,01 ms	0,1 ms
Resolusi dosis	0,01 mGy	0,1 < 1000 < 1 µGy

2.2. Metode

Metode pengambilan data mengacu pada *Pedoman Teknis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum KU/PD/DKKN/04/1*, yang dikeluarkan oleh Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Eksposi dilakukan menggunakan Multimeter X-ray Radcal dan Raysafe secara bergantian Parameter uji yang dilakukan yaitu akurasi tegangan, waktu, linearitas dan reproduksibilitas. Pada parameter akurasi waktu, *setting* arus dan waktu tetap yaitu 80 mA dan 0,100 s untuk setiap variasi tegangan 40 kVp, 50 kVp, 60 kVp, 70 kVp dan 80 kVp, sedangkan uji akurasi waktu dilakukan dengan tegangan dan arus yang tetap yaitu 50 kVp dan 200 mA untuk setiap variasi waktu eksposi yaitu 0,025; 0,050; 0,080; 0,100 dan 0,125 s. Data yang diambil kemudian dianalisis dengan menentukan nilai error setiap data menggunakan Pers. 1.

$$Error = \frac{|nilai\ setting - nilai\ terukur|}{nilai\ setting} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai error maksimum dari tiap pembacaan multimeter X-ray kemudian dibandingkan dan tidak boleh melebihi nilai lolos uji yaitu 10%.

Pada uji linearitas, kondisi eksposi diatur pada tegangan dan waktu eksposi tetap yaitu 70 kVp dan 0,100 s untuk setiap variasi arus yaitu 20, 25, 40, 50 dan 80 mA. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai koefisien linearitas (CL) untuk mengetahui konsistensi respon kinerja komponen signifikan tertentu dari pesawat sinar-X bila diberi input berbeda⁴ menggunakan Pers. 2. Nilai µGy/mA terdapat pada pembacaan multimeter X-ray. Nilai CL dari tiap pembacaan, kemudian dibandingkan dan tidak boleh melebihi nilai lolos uji yaitu 0,1.

$$CL = \left| \frac{\left(\frac{\mu Gy}{mA} \right)_{maks} - \left(\frac{\mu Gy}{mA} \right)_{min}}{\left(\frac{\mu Gy}{mA} \right)_{maks} + \left(\frac{\mu Gy}{mA} \right)_{min}} \right| \quad (2)$$

Uji reproduksibilitas dilakukan pada tegangan, arus dan waktu eksposi tetap yaitu 70 kVp, 200 mA dan 0,100 s, hasil yang diperoleh digunakan untuk menentukan koefisien variasi (CV), dan dihitung dengan menggunakan Pers. 3.

$$CV = \frac{SD}{\text{nilai keluaran}} \quad (3)$$

SD sebagai standar deviasi yang dibagi dengan nilai keluaran rata-rata. Terdapat tiga CV yang ditentukan yaitu untuk keluaran tegangan, arus dan waktu eksposi. Nilai CV dari tiap pembacaan multimeter *X-ray* kemudian dibandingkan dan tidak boleh melebihi nilai lolos uji yaitu 0,05.

Data hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan uji-t⁶. Uji ini sesuai digunakan karena jumlah data yang kecil, serta tidak diketahui standar deviasinya⁹. Pada makalah ini, Hipotesis nol H_0 ditentukan sebagai tidak adanya perbedaan pembacaan nilai dari dua kelompok data secara signifikan dan hipotesis alternatif. H_a sebagai adanya perbedaan pembacaan nilai dari dua kelompok data secara signifikan. Tingkat signifikansi α sebesar 5% dan digunakan uji satu sisi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari pengukuran kedua multimeter *X-ray* untuk masing-masing parameter ditunjukkan dalam tabel perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan, gambar linieritas, serta analisa statistik.

3.1. Akurasi Tegangan

Hasil pembacaan nilai tegangan oleh multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal menunjukkan nilai error dibawah 10% disajikan dalam Tabel 2. Besarnya nilai *error* maksimum yang dihasilkan pada saat dilakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter Raysafe adalah 2,60% sedangkan Radcal adalah 1,60%, dan lolos uji akurasi tegangan.

Tabel 2. Perbandingan hasil akurasi tegangan dari multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

Setting Tegangan (kV)	Raysafe		Radcal	
	Tegangan terukur (kV)	% Error	Tegangan terukur (kV)	% Error
40	39,20	2,00	40,00	0,00
50	48,70	2,60	49,20	1,60
60	59,30	1,20	59,70	0,50
70	69,30	1,00	69,10	1,30
80	79,10	1,10	79,30	0,90

3.2. Akurasi Waktu

Hasil akurasi waktu epoksi yang ditunjukkan oleh multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal terlihat dalam Tabel 3. Besarnya nilai error dibawah 10%. Besarnya nilai *error* maksimum yang dihasilkan pada saat dilakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter Raysafe adalah 1,20% sedangkan Radcal adalah 3,64%, nilai ini menunjukkan bahwa pesawat sinar-X lolos uji akurasi waktu.

Tabel 3. Perbandingan hasil akurasi waktu eksposi pada Multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

t _{set} (s)	Raysafe		Radcal	
	t _{ukur} (s)	% Error	t _{ukur} (s)	% Error
0,025	0,03	1,20	0,03	3,64
0,050	0,05	0,80	0,05	0,76
0,080	0,08	0,50	0,08	0,61
0,100	0,10	0,30	0,10	0,40
0,125	0,13	0,16	0,13	0,32

3.3. Linearitas

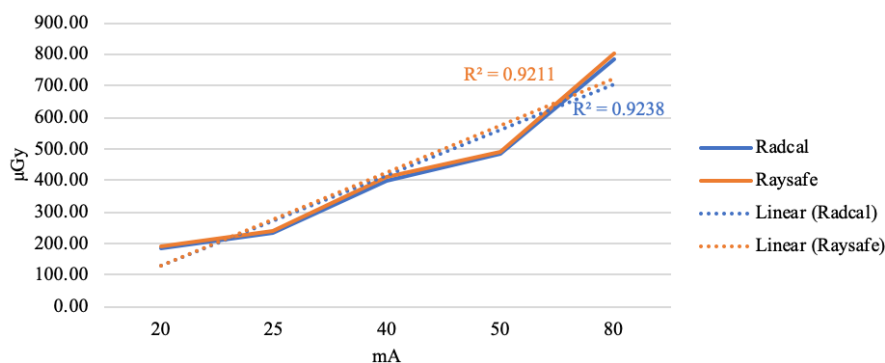
Hasil pembacaan uji linearitas oleh multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil linearitas pada multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

mA _{set}	Raysafe				Radcal			
	kV _{ukur}	Dosis (μGy)	μGy/mAs	CL	kV _{pukur}	Dosis (μGy)	μGy/mAs	CL
20	65,80	190,00	95,00	0,04	66,00	184,90	92,45	0,04
25	67,00	242,50	97,00		66,90	232,90	93,16	
40	69,20	411,60	102,90		68,90	398,90	99,73	
50	69,60	491,20	98,24		69,40	483,10	96,62	
80	69,30	804,40	100,55		69,10	783,40	97,93	

Kedua alat ukur menunjukkan nilai koefisien linearitas CL dibawah 0,1 dimana hal ini menunjukkan bahwa pesawat sinar-X memiliki respon kinerja yang konsisten dan lolos uji linearitas dengan nilai CL sebesar 0,04 baik yang diukur menggunakan multimeter *X-ray* Raysafe maupun Radcal.

Plot regresi linear dari data hasil pembacaan pengukuran dua jenis multimeter *X-ray* ditampilkan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Plot data keluaran dosis terhadap variasi mA pada Multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

Plot grafik diatas menunjukkan nilai mendekati satu. Artinya kedua alat tersebut menunjukkan hasil dimana konsistensi respon kinerja pesawat terhadap perbedaan input masih dalam keadaan baik. Data regresi dari multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal memiliki selisih sebesar 0,0027.

3.4. Reproduksiabilitas

Hasil pengolahan data reproduksiabilitas dari multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengolahan data pembacaan reproduksiabilitas pada Multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

Eksposi ke-	Raysafe			Radcal		
	kV _{pukur}	t _{ukur} (s)	Dosis (μGy)	kV _{pukur}	t _{ukur} (s)	Dosis (μGy)
1	69,10	0,10	815,50	69,10	0,10	783,40
2	69,40	0,10	808,30	69,10	0,10	791,10
3	69,80	0,10	801,90	69,10	0,10	791,20
4	69,40	0,10	807,30	69,10	0,10	778,80
5	69,30	0,10	805,50	69,10	0,10	783,10
Rata-rata	69,40	0,10	807,70	69,10	0,10	785,50
SD	0,26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
CV	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01

Waktu eksposi dan keluaran dosis yang signifikan dan lolos uji reproduksiabilitas dengan nilai CV tegangan dan waktu baik dari hasil pembacaan multimeter *X-ray* merk Raysafe maupun Radcal sebesar 0,00, begitu pula CV keluaran dosis dari hasil pembacaan keduanya sebesar 0,01. Hasil pembacaan tegangan, waktu eksposi dan keluaran dosis oleh kedua multimeter, masing-masing menunjukkan nilai koefisien variasi CV dibawah 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa pesawat sinar-X memiliki konsistensi kinerja untuk melakukan pengulangan eksposi.

3.5. Uji-T

Hasil uji-t dilakukan untuk menentukan perbedaan pembacaan antara multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal dari data reproduksiabilitas. Ditentukan H_0 sebagai tidak terdapat perbedaan pembacaan nilai dari dua kelompok data secara signifikan dan H_a sebagai terdapat perbedaan pembacaan nilai dari dua kelompok data secara signifikan dengan tingkat signifikansi α sebesar 5% dan digunakan uji satu sisi. Hasil perhitungannya disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 5. Hasil pengolahan data pembacaan reproduksiabilitas pada Multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal

	Merk	Tegangan (kVp)	Waktu (s)	Dosis (μGy)
Rata-rata	Raysafe	69,40	0,10	807,70
	Radcal	69,10	0,10	785,50
SD	Raysafe	0,26	0,00	0,01
	Radcal	0,00	0,00	0,01
Varian		0,23	0,01	0,05

t-hitung	1,33	-0,12	0,49
t-table	1,86		
Hasil	H ₀ diterima	H ₀ diterima	H ₀ diterima

Berdasarkan perhitungan uji-t diperoleh hasil H₀ diterima yang berarti bahwa tidak terdapat perbedaan pembacaan dari dua multimeter *X-ray* Raysafe dan Radcal secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%.

4. Kesimpulan

Multimeter *X-ray* dengan berbagai merk akan menampilkan hasil pembacaan yang berbeda karena memiliki spesifikasi sensor dan daya baca yang berbeda. Namun dari hasil yang ditunjukkan dengan menggunakan dua jenis multimeter *X-ray* yang berbeda dalam satu rentang waktu, keduanya menunjukkan data error untuk parameter uji akurasi tegangan dan waktu dibawah batas toleransi 10%, nilai CL dibawah batas toleransi 0,1 dan CV dalam batas toleransi 0,05. Hasil uji-T dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan tidak adanya perbedaan pembacaan nilai yang signifikan antara dua kelompok data dari hasil pembacaan multimeter *X-ray* Raysafe maupun Radcal. Penelitian ini dapat dilakukan lebih lanjut dengan menambahkan pengulangan pembacaan pada tiap parameter uji dan menggunakan multimeter *X-ray* dengan lebih banyak jenis atau merk untuk memperkuat hasil dari penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini berjalan dengan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis sampaikan terima kasih diantaranya kepada:

1. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ITB (P2MI) atas bantuan biaya penelitian
2. Kepala UPT Layanan Kesehatan ITB atas penyediaan tempat dan objek penelitian
3. PT. Global Quality Indonesia atas penyediaan alat penelitian

Referensi

- ¹ Bapeten. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, JDIH Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2018).
<https://jdih.bapeten.go.id/en/dokumen/peraturan/peraturan-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-2-tahun-2018-tentang-uji-kesesuaian-pesawat-sinar-x-radiologi-diagnostik-dan-intervensional> (diakses pada 5 Jan, 2023).
- ² Bapeten. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, JDIH Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2022).
<https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-badan-pengawas-tenaga-nuklir-no-4-tahun-2020-tentang-keselamatan-radiasi-pada-penggunaan-pesawat-sinar-x-dalam-radiologi-diagnostik-dan-intervensional> (diakses pada 5 Jan 2023).
- ³ DA. Indarwati dan H. Subekti. "Analisis Kebutuhan Penguji Berkualifikasi Untuk Melakukan Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional di Indonesia," Seminar Keselamatan Nuklir, **2013**:14-20, (2013).
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/49/042/49042159.pdf (diakses pada 5 Jan 2023)
- ⁴ Bapeten. *Pedoman Teknis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum*. (2020).
- ⁵ A Aswad, B Abdullah, D Tahir. "Studi Quality Control (QC) Pesawat Fluoroscopy (Angiografi) di PT. Siloam Internasional Hospital Makassar menggunakan Multimeter RaySafe (X2) dan Black Piranha RTI". *POSITRON*, **8**(2):25, (2018).
doi:10.26418/positron.v8i2.24752
- ⁶ *Accu-Gold+ Touch*, Radcal - Radiation Measurement Devices. <https://radcal.com/accu-gold-plus-touch/> (diakses pada 4 Jan 2023)
- ⁷ *X2 R/F Sensor*, RaySafe. <https://www.raysafe.com/products/x-ray-test-equipment/raysafe-x2/x2-rf-sensor> (diakses pada 4 Jan 2023)
- ⁸ Sugiyono. *Metode penelitian pendidikan: (pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R & D)*. Bandung: Alfabeta, (2015).
- ⁹ Nat. Lab. of Medicine. *t-test*. https://www.nlm.nih.gov/nichsr/stats_tutorial/section2/mod10_t-test.html (diakses pada 5 Jan 2023)