

Metode Pengujian Kesesuaian Pesawat Sinar-X Dental Intraoral

Hajra Hajra^{1,a}, Rezki ulandari^{1,b}, Siti Surya Syam^{1,c} Jumardin Jumardin^{1,d*}, Sri Zelviani^{1,e}, Jasdar Agus^{1,f}, Harmini^{2,g}

¹ Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

² Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan (BPAFK) Kota Makassar

^ahajra7530@gmail.com, ^djumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id,
^esri.zelviani@uin-alauddin.ac.id, ^fjasdar.agus@uin-alauddin.ac.id

ABSTRACT: *Testing the suitability of intraoral dental X-ray devices has been carried out using the methods of collimation (conus) testing, voltage accuracy testing, irradiation time accuracy testing, reproducibility testing, and Half Value Layer (HVL) X-ray beam testing. The collimation test obtained the measurement result of the diameter or diagonal dimension parameter of the conus, which is 60 mm. The measured value of the X-ray beam dimension parameter is 57.26 mm and for the measured value of the focal point distance to the patient's skin (SSD) parameter is 202 mm. The kVp accuracy test obtained error values at each kVp setting are 5.8%, 3.5%, and 3.5%. This error value is smaller than the test pass value so that the tube voltage accuracy test results are in accordance with the established standards. The irradiation time accuracy test found that the error values at each s-set were 2.0%, 1.2%, 0.9%, 0.8% and 0.8%. Reproducibility tests for radiation output (mGy) and tube voltage (kVp) obtained CV values are smaller than the predetermined test pass value of $CV \leq 0.05$. X-ray beam quality testing (HVL) obtained measured HVL values at kVp are 2.28 mmAl, 2.31 mmAl and 2.47 mmAl which are greater than the test pass value.*

Keywords: Accuracy, HVL, Collimation, Reproducibility, X-ray

ABSTRAK: Telah dilakukan pengujian kesesuaian pesawat sinar-X dental intraoral dengan metode pengujian kolimasi (konus), pengujian akurasi tegangan listrik, pengujian akurasi waktu penyinaran, pengujian reproduksibilitas, dan pengujian berkas sinar-X Half Value Layer (HVL). Uji kolimasi didapatkan hasil ukur dari parameter dimensi diameter atau diagonal konus yaitu 60 mm. Nilai hasil ukur dari parameter dimensi berkas sinar-X yaitu 57,26 mm dan untuk nilai hasil ukur dari parameter jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD) yaitu 202 mm. Pengujian akurasi kV didapat nilai eror pada setiap kVp setting adalah 5,8%, 3,5%, dan 3,5%. Nilai eror ini lebih kecil dari nilai lolos uji sehingga hasil pengujian akurasi tegangan tabung ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pengujian akurasi waktu penyinaran didapat bahwa nilai error pada setiap s-set adalah 2,0%, 1,2%, 0,9%, 0,8% dan 0,8%. Uji reproduksibilitas untuk keluaran radiasi (mGy) dan tegangan tabung (kVp) nilai CV yang diperoleh lebih kecil dari nilai lolos uji yang telah ditentukan yaitu $CV \leq 0,05$. Pengujian kualitas berkas sinar-X (HVL) didapatkan nilai HVL terukur pada kVp adalah 2,28 mmAl, 2,31 mmAl dan 2,47 mmAl yang lebih besar dari nilai lolos uji.

Kata Kunci: Akurasi, HVL, Kolimasi, Reproduksibilitas, Sinar-X

**corresponding author*

email: jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id

PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X merupakan perangkat kedokteran yang digunakan sebagai alat diagnose pada pasien. Pesawat ini menggunakan tabung hampa sebagai sumber elektron. Elektron akan dipercepat dan menumbuk logam anoda (Breitkreutz dkk., 2020). Sinar-X yang dipancarkan dari tabung akan menembus sasaran obyek berupa organ tubuh pasien. Hasil pencitraan tersebut akan ditangkap oleh sebuah film positif dan akan menghasilkan sebuah berkas gambar dari obyek (Ou dkk., 2021). Berkas gambar inilah yang akan digunakan sebagai bahan diagnosis penyakit pada pasien. Pesawat sinar-X dental intra oral merupakan jenis alat yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi yang memperlihatkan keadaan gigi, tulang dan struktur didaerah gigi dengan memposisikan film di dalam rongga mulut (Hodolli dkk., 2019). Radiografi dental intra oral dilakukan dengan cara filmnya dimasukkan ke dalam mulut dimana harus diketahui posisi-posisi atau letak gigi dengan melihat dari porsi muka atau wajah pasien (Kumar dkk., 2011).

Pemeriksaan radiografi intraoral dikenal sebagai pemeriksaan dasar dalam radiografi gigi. Melalui teknik ini reseptor seperti film atau *Imaging Plate* (IP) ditempatkan di dalam rongga mulut untuk mendapatkan gambar gigi dan struktur jaringan pendukungnya secara detail. Pemeriksaan ini membagi rongga mulut menjadi beberapa bagian yaitu gigi seri, gigi taring, gigi premolar, dan gigi geraham. Diantara berbagai jenis pemeriksaan radiografi intraoral yang tersedia seperti oklusal (Ozmen & Basak Ayna, 2024), bitewing (Abu El-Ela dkk., 2016), periapikal (Deshpande & Bhargava, 2014). Pemeriksaan periapikal merupakan teknik yang dirancang untuk menampilkan gambaran gigi dan jaringan dan sekitar puncaknya secara terperinci (Jannah dkk., 2023).

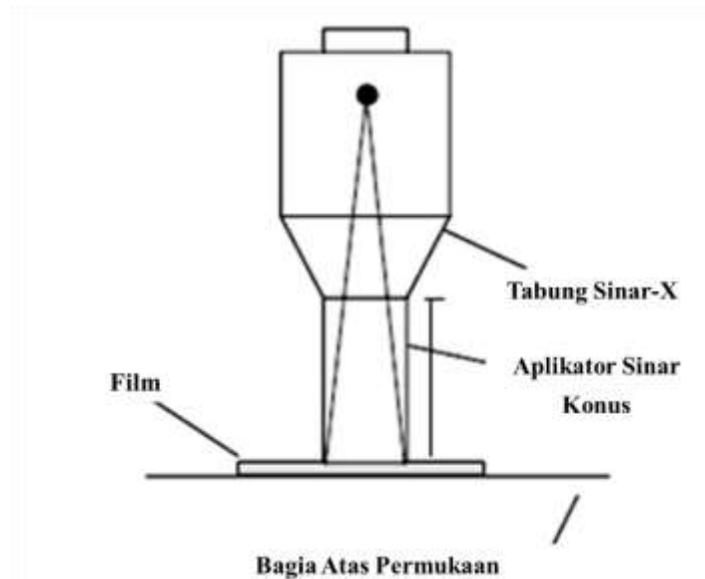
Pesawat Sinar-X gigi intraoral adalah pesawat sinar-X yang digunakan untuk pemeriksaan radiografi terhadap kondisi gigi tertentu dengan posisi film atau sensor berada di dalam mulut. *Source to Image Distance* (SID) adalah jarak *focal spot* ke *image receptor* (Bequet dkk., 2022). *Source to Skin Distance* (SSD) adalah jarak *focal spot* ke permukaan kulit pasien pada saat eksposi (Nurdin dkk., 2018). *Source to Detector Distance* (SDD) adalah jarak *focal spot* ke detektor pada saat pengujian (Hayashi dkk., 2019). *Coefficien of Variation* (CV) adalah parameter statistik dari sejumlah data pengujian sejenis dengan *setting input* yang sama untuk mengetahui konsistensi kinerja komponen signifikan tertentu dari pesawat sinar-X (Botta-Dukát, 2023). *Coefficient of Linearity* (CL) adalah parameter statistik dari sejumlah data pengujian sejenis dengan *setting input* yang bervariasi secara bertahap untuk mengetahui konsistensi respon kinerja komponen signifikan tertentu dari pesawat sinar-X bila diberi input yang berbeda (Ratnawati dkk., 2019). Tujuan penelitian ini untuk pengujian kesesuaian pesawat sinar-X dental intraoral pada kolimasi berkas sinar-X termasuk jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD), uji diameter ujung konus dan uji diameter berkas sinar-X. Uji akurasi kVp dan Uji keluaran berkas sinar-X (HVL), Uji akurasi waktu peninaran dan Uji reproduksibilitas.

Tujuan pengujian konus adalah memastikan area berkas sinar-X berada dalam area konus, mengetahui kecukupan diameter atau diagonal konus dan mengetahui jarak titik fokus ke pasien (SSD). Tujuan pengujian akurasi tegangan (kV) untuk mengetahui kesesuaian antara tegangan *setting* pada panel kontrol dengan tegangan yang terbaca pada alat ukur. Pengujian akurasi waktu penyinaran untuk mengetahui kesesuaian antara pengaturan waktu eksposi pada panel kontrol dengan waktu eksposi yang terbaca pada alat ukur. Pengujian linieritas keluaran radiasi untuk menguji konsistensi kenaikan nilai keluaran radiasi (mGy/mAs) pada variasi mA atau mAs. Reprodusibilitas untuk mendapatkan nilai kedapatulangan atau reprodusibilitas dari pengukuran tegangan tabung (kV), waktu penyinaran (s) dan keluaran radiasi (mGy) pada pengaturan generator yang tetap. Kualitas berkas sinar-X *Half Value Layer* (HVL) untuk menilai kualitas berkas sinar-X dan kecukupan filtrasi untuk mereduksi radiasi sinar-X energi rendah.

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan adalah multi meter sinar-X dan water pass, CR atau kaset berisi film ukuran 18 x 24 cm, meteran dan metode yang digunakan pada pengujian pesawat sinar-X dental intraoral adalah:

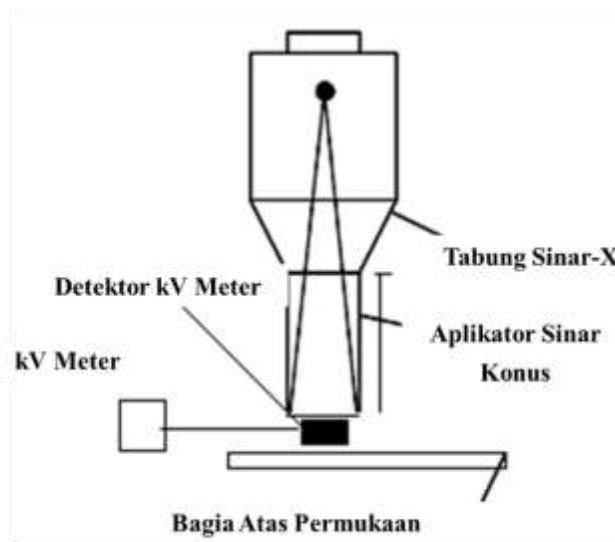
Pengujian Kolimasi (Konus)



Gambar 1. Pengujian akurasi konus.

Metode pengujian dengan cara mengukur dan mencatat diameter bagian dalam mulut konus. Mengukur dan mencatat jarak titik fokus ke ujung konus (SSD). Metakkan reseptor citra pada permukaan yang datar. Memposisikan ujung konus menempel pada permukaan reseptor citra. Pastikan konus tegak lurus dengan reseptor citra dengan menggunakan water pass. Melakukan eksposi dengan kondisi yang sesuai agar diperoleh citra yang dapat dianalisa (gambar 1). Memproses citra dan mengukur dimensi berkas sinar-X. Membandingkan hasil pengukuran dengan nilai lolos uji. Metode analisis data dilakukan dengan cara mengamati akurasi diameter konus ditambah koreksi dan nilai ketidakpastian ≤ 60 mm. Mengukur dan mencatat diameter atau diagonal citra pada film. Akurasi dimensi berkas Sinar-X \leq diameter konus sedangkan SID ≥ 200 mm.

Pengujian Akurasi kV



Gambar 2. Pengujian akurasi tegangan (kV).

Metode pengujian dengan cara memastikan bahwa prosedur pemanasan tabung telah dilakukan. Pengoperasian alat multimeter sinar-X sesuai IK.BPAFK.UK05 dan IK.BPAFK.UK09. Meletakkan detektor multi meter sinar-X pada bagian tengah ujung konus (gambar 2). Pastikan tabung sinar-X dalam posisi horisontal dengan water pass. Melakukan penyinaran dengan tegangan kerja yang tersedia kemudian mencatat pada lembar kerja dan melakukan evaluasi pengujian akurasi kV. Analisis data dilakukan dengan menghitung nilai

error setiap data menggunakan persamaan (1) (Sari dkk., 2022). Nilai koreksi ditambah nilai ketidakpastian pengukuran $\leq 6\%$ untuk $kV_p \geq 60$.

$$\text{error} = \frac{kV_{p,\text{set}} - kV_{p,\text{ukur}}}{kV_{p,\text{set}}} \times 100\% \quad (1)$$

Pengujian Akurasi Waktu Penyinaran

Metode pengujian dilakukan dengan cara mengatur posisi alat ukur seperti pada uji akurasi tegangan (gambar 2). Menetapkan satu kondisi kVp klinis (misalnya 70 kVp) untuk 5 eksposi dengan variasi waktu yang berbeda (antara $0,02 < s \leq 1,0$, jika memungkinkan bisa dilakukan pada s lebih dari 1,0 s). Metode analisis data dengan cara nilai koreksi ditambah nilai ketidakpastian pengukuran $\leq \pm 10\%$ untuk $s \geq 100$ ms. Nilai koreksi ditambah nilai ketidakpastian pengukuran $\leq \pm 10\% + 1$ ms untuk $s < 100$ ms.

Pengujian Reprodusibilitas

Metode pengujian dengan cara melakukan pengaturan posisi alat ukur seperti pada uji akurasi tegangan (gambar 2). Menentukan kondisi pengukuran pada penggunaan klinis rutin. Melakukan penyinaran (expose) dan mencatat pada lembar kerja. Melakukan pengulangan expose sampai dengan 5 kali. Melakukan evaluasi pengujian reprodusibilitas tabung Sinar-X (kV, sekon, dosis). Analisa data menggunakan persamaan (2) *Coefficient of Variation* (CV) (Hyperastuty dkk., 2021). Nilai CV adalah nilai koreksi ditambah nilai ketidakpastian pengukuran harus $< 0,05$.

$$CV = \frac{S}{X} = \frac{1}{X} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} / (n - 1) \quad (2)$$

Pengujian Berkas Sinar-X Half Value Layer (HVL)

Metode pengujian dengan cara melakukan pengaturan posisi alat ukur seperti pada uji akurasi tegangan. Pengujian kualitas berkas sinar-X dengan metode langsung dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian akurasi tegangan. mencatat hasil pengukuran pada lembar kerja. Analisis data dengan cara penentuan nilai HVL sama dengan nilai HVL yang terbaca pada alat ukur (Ariga dkk., 2012).

Tabel 1. Nilai minimum HVL.

| Tegangan (kVp) | Tebal (mm Al) |
|-------------------|---------------|
| 60 | 1,5 |
| 70 | 1,5 |

Membuat plot kVp-terukur versus HVL terukur. Menggunakan kalkulator atau excel (pengolah data) buat grafik garis lurus. Menentukan persamaan linieritas. Menghitung HVL dengan menggunakan persamaan linearitas. Nilai koreksi ditambah nilai ketidakpastian pengukuran \geq HVL (Tabel 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kolimasi

Uji kolimator adalah metode yang digunakan untuk menentukan apakah suatu alat ukur memerlukan kalibrasi. Kalibrasi sendiri adalah proses penyesuaian antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur dengan nilai yang telah diketahui, yang berhubungan dengan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Dengan melakukan pengujian ini, kita dapat mengetahui seberapa besar penyimpangan antara harga yang sebenarnya dan harga yang ditunjukkan oleh alat ukur. Uji kolimasi biasanya diterapkan pada teleskop bintang atau peralatan pengamatan objek langit lainnya, serta sering digunakan pada perangkat optik lainnya.

Tabel 2. Analisis data hasil pengujian kolimasi sinar-X.

| Parameter | Hasil pengukuran (mm) | | | Hasil terkoreksi (mm) | | | Rata-rata (mm) | STDEV. | KTP (\pm) |
|---|-----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|----------------|--------|---------------|
| | I | II | III | I | II | III | | | |
| Diameter atau diagonal konus | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0,0000 | 0,42 |
| Dimensi berkas sinar-X | 57,20 | 57,20 | 57,40 | 57,2 | 57,2 | 57,4 | 57,29 | 0,1155 | 0,44 |
| Jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD) | 202 | 202 | 202 | 202,1 | 202,1 | 202,1 | 202 | 0,0000 | 0,50 |

Berdasarkan Tabel 2 hasil pengujian iluminasi dapat dilihat bahwa nilai hasil pengukuran pada parameter dimensi diameter atau diagonal konus I, II, III adalah 60 mm, 60 mm dan 60 mm dan untuk hasil terkoreksinya adalah 60,0 mm, 60,0 mm dan 60,0 mm. Pada parameter dimensi berkas sinar-X I, II, III adalah 57,20 mm, 57,20 mm dan 57,40 serta nilai terkoreksinya adalah 57,2 mm, 57,2 mm dan 57,4 mm. Pada parameter jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD) sebesar 202 mm, 202 mm dan 202 mm dan untuk nilai hasil terkoreksi yang di dapatkan yaitu 202,1 m, 202,1 mm dan 202 mm. Adapun nilai hasil pengukuran yang telah di koreksi digunakan untuk memperbaiki kemungkinan kesalahan dalam pengukuran awal. Nilai rata-rata hasil pengukuran pada parameter tersebut adalah 60 mm, 57,29 mm dan

202 mm dan standar deviasi yang didapatkan yaitu 0,000, 0,1155 dan 0,000 dengan nilai ketidakpastian $\pm 0,42$, $\pm 0,44$ dan $\pm 0,50$ menunjukkan bahwa hasil pengukuran dapat bervariasi dalam rentang tersebut sehingga mungkin terjadi kesalahan.

Tabel 3. Hasil perhitungan pengujian.

| Parameter | Hasil ukur (mm) | Nilai lolos uji | Kesimpulan |
|---|-----------------|----------------------------|------------|
| Diameter atau diagonal konus | 60 | ≤ 60 mm | Sesuai |
| Dimensi berkas sinar-X | 57,26 | \leq Dimensi ujung konus | Sesuai |
| Jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD) | 202 | ≥ 200 mm | Sesuai |

Berdasarkan data yang diperoleh dari uji kolimasi pengujian sinar-X dapat dilihat bahwa hasil ukur dari parameter dimensi diameter atau diagonal konus yaitu 60 mm. Nilai hasil ukur dari parameter dimensi berkas sinar-X yaitu 57,26 mm dan untuk nilai hasil ukur dari parameter jarak titik fokus ke kulit pasien (SSD) adalah 202 mm. Penentuan hasil pengujian kolimasi ini lolos uji dengan standar yang ditetapkan dan dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan (Ceylan dkk., 2021). Perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai dari parameter I sama dengan nilai lolos uji, nilai hasil ukur parameter II tersebut lebih kecil dari nilai dimensi ujung konus serta untuk nilai ukur parameter III nilainya lebih besar dari 200 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kolimasi ini sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Hasil Uji Generator dan Tabung Sinar-X Intraoral

Uji Akurasi kV

Uji kesesuaian bertujuan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi dengan handal dan aman bagi pasien, pekerja, serta masyarakat. Salah satu parameter yang digunakan dalam uji kesesuaian pesawat sinar-X adalah akurasi tegangan. Hasil radiografi, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, sangat dipengaruhi oleh tegangan pemercepat dalam satuan kilo Volt (kV). Uji akurasi kVp dilakukan setiap tahun untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi dalam kondisi yang andal.

Pada Tabel 4 data mentah pengujian akurasi tegangan tabung kVp-set digunakan 60, 65 dan 70 yang diatur meja kontrol, setelah dilakukan eskposi 3 kali di setiap kVp-set, kVp terukur muncul di Base Unit. Dapat dilihat bahwa nilai rerata kVp terkoreksi pada setiap kVp-set adalah 63,5, 67,3 dan 72,5. Nilai rerata kVp terkoreksi ini menunjukkan tegangan tabung yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X saat melakukan eskposi dengan nilai mAs tetap sebesar 7 mAs dan SDD 202 mm.

Tabel 4. Data mentah hasil pengujian kesalahan tegangan tabung.

| Setting tegangan (kVp) | Tegangan terukur (kVp) | | | Tegangan terkoreksi (kVp) | | | Rata-rata (kVp) | STDEV |
|------------------------|------------------------|------|------|---------------------------|------|------|-----------------|-------|
| | I | II | III | I | II | III | | |
| 60 | 64,5 | 63,5 | 62,5 | 64,5 | 63,5 | 62,5 | 63,5 | 1,000 |
| 65 | 67,7 | 67,1 | 67,0 | 67,7 | 67,1 | 67,0 | 67,3 | 0,379 |
| 70 | 73,3 | 72,2 | 72,4 | 73,1 | 72,1 | 72,3 | 72,5 | 0,551 |

Tabel 5. Hasil perhitungan pengujian akurasi tegangan tabung (kVp).

| Arus listrik (mA)- <i>setting</i> | 7 | Waktu (s) - <i>setting</i> | 0.100 | SDD (mm) | 202 |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------|-----------------|------------|
| No | kVp- <i>setting</i> | Tegangan (kVp)-ukur | error (%) | Nilai lolos uji | Kesimpulan |
| 1 | 60 | 63,5 | 5,8 | e max \leq 6% | Sesuai |
| 2 | 65 | 67,3 | 3,5 | | Sesuai |
| 3 | 70 | 72,5 | 3,5 | | Sesuai |

Hasil pengujian akurasi tegangan tabung sinar-X Tabel 5 sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu $e \max \leq 6\%$. $e \max$ adalah error maksimum yang diperbolehkan antara kVp set dengan kVp terukur (Cahyani dkk., 2021). Perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai error pada setiap kVp set adalah 5,8%, 3,5%, dan 3,5%. Nilai eror ini lebih kecil dari nilai lolos uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian akurasi tegangan tabung ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hal ini berarti bahwa tegangan tabung yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X sesuai dengan tegangan tabung.

Uji Akurasi Waktu Penyinaran Sinar-X

Uji akurasi waktu penyinaran bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian antara pengaturan waktu eksposisi yang ada pada panel kontrol dengan waktu eksposisi yang terukur pada alat ukur. Pada Tabel 7, persentase kesalahan yang diperoleh dari setiap perhitungan dibandingkan, dan diambil nilai maksimum dari kesalahan tersebut, yaitu yang berada di bawah 10%.

Berdasarkan data Tabel 6 dan 7 yang diperoleh dari pengujian waktu penyinaran pada pesawat sinar-X dental intraoral dapat dilihat pada *setting* s-set 0,100, 0,200, 0,300, 0,400 dan 0,500 didapatkan nilai hasil rerata 0,102, 0,202, 0,323, 0,403, dan 0,504 s. Sedangkan untuk standar deviasi didapatkan hasil 0,0000, 0,0006, 0,0000, 0,0000 dan 0,0000. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan konsisten di setiap *setting* s-set. sebanyak 5 kali dengan 1 kali terdapat variasi data dengan menggunakan parameter eksposi yang sama, yaitu kVp set 70, mAs set 7, dan SDD 202 mm.

Tabel 6. Data mentah hasil pengujian kesalahan (% error) waktu penyinaran.

| Pengaturan waktu (s) | Waktu terukur (s) | | | Waktu terkoreksi (s) | | | Rata-rata | STDEV. |
|----------------------|-------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-----------|--------|
| | I | II | III | I | II | III | | |
| 0,100 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,0000 |
| 0,200 | 0,202 | 0,202 | 0,203 | 0,202 | 0,202 | 0,203 | 0,202 | 0,0006 |
| 0,320 | 0,323 | 0,323 | 0,323 | 0,323 | 0,323 | 0,323 | 0,323 | 0,0000 |
| 0,400 | 0,403 | 0,403 | 0,403 | 0,403 | 0,403 | 0,403 | 0,403 | 0,0000 |
| 0,500 | 0,504 | 0,504 | 0,504 | 0,504 | 0,504 | 0,504 | 0,504 | 0,0000 |

Tabel 7. Hasil perhitungan pengujian (% error) waktu penyinaran.

| Tegangan (kVp)- <i>setting</i> | 70 | Arus listrik (mA) - <i>setting</i> | 7 | SDD (mm) | 202 |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|-----------------|------------|
| No | Waktu (s) - <i>setting</i> | Waktu (s) - ukur | error (%) | Nilai lolos uji | Kesimpulan |
| 1 | 0,100 | 0,102 | 2,0 | e max ≤ 10% | Sesuai |
| 2 | 0,200 | 0,202 | 1,2 | | |
| 3 | 0,320 | 0,323 | 0,9 | | |
| 4 | 0,400 | 0,403 | 0,8 | | |
| 5 | 0,500 | 0,504 | 0,8 | | |

Hasil pengujian % error waktu penyinaran Tabel 7 sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan yaitu $e_{max} \leq 10\%$ (Hyperastuty dkk., 2021b). Pada pengujian ini dapat dilihat bahwa nilai error pada setiap s-set adalah 2,0%, 1,2%, 0,9%, 0,8% dan 0,8%. Nilai error ini lebih kecil daripada nilai lolos uji, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian % error waktu penyinaran ini sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Uji Reprodusibilitas

Hasil pengujian reprodusibilitas pada Tabel 9 menunjukkan kesesuaian dengan standar yang telah ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai batas kelulusan uji, yaitu $CV \leq 0,05$. CV atau koefisien variasi adalah indikator yang mengukur variasi hasil pengukuran terhadap rata-rata pengukuran. Dalam perbandingan yang dilakukan, terlihat bahwa nilai CV untuk setiap parameter adalah 0,002. Nilai CV ini lebih kecil daripada batas yang ditentukan, sehingga hasil pengujian reprodusibilitas ini dinyatakan sesuai dengan standar yang berlaku. Temuan ini mengindikasikan bahwa alat sinar-X dapat memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan akurat.

Berdasarkan data yang diperoleh Tabel 8 dan 9 dari pengujian reproduksibilitas pada pesawat sinar-X dental intraoral dapat dilihat bahwa nilai rerata keluaran radiasi (mGy), tegangan tabung (kVp) dan waktu penyinaran (s)* terkoreksi pada setiap setting adalah 2,694 mGy dan 72,4 kVp dan 0,202 s. Nilai rerata ini menunjukkan konsistensi hasil pengukuran yang dilakukan sebanyak 5 kali eksposi dengan menggunakan parameter eksposi yang sama, yaitu kVp set 70, mAs set 7, dan SDD 202 mm.

Tabel 8. Data mentah hasil pengujian reproduksibilitas.

| Parameter | Hasil pengukuran | | | | | Hasil terkoreksi | | | | | Rata-rata | STDEV |
|------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | I | II | III | IV | V | I | II | III | IV | V | | |
| Keluaran radiasi (mGy) | 2,6 86 | 2,6 92 | 2,6 99 | 2,6 96 | 2,6 99 | 2,6 86 | 2,6 92 | 2,6 99 | 2,6 96 | 2,6 99 | 2,694 | 0,0055 |
| Tegangan (kVp) | 72, 8 | 72, 6 | 72, 3 | 72, 6 | 72, 5 | 72, 6 | 72, 4 | 72, 2 | 72, 4 | 72, 4 | 72,4 | 0,1710 |
| Waktu penyinaran (s)* | 0,2 02 | 0,2 02 | 0,2 03 | 0,2 02 | 0,2 02 | 0,2 02 | 0,2 02 | 0,2 03 | 0,2 02 | 0,2 02 | 0,202 | 0,0004 |

Tabel 9. Hasil perhitungan pengujian reproduksibilitas.

| Tegangan (kVp)-setting | 70 | Arus Listrik (mA)-setting | 7 | Waktu (s)-setting | 0.200 | SDD (mm) | 202 |
|------------------------|------------|---------------------------|--------|-------------------|-----------------|------------|-----|
| Parameter | Hasil Ukur | | STDEV. | CV | Nilai lolos uji | Kesimpulan | |
| Keluaran Radiasi (mGy) | 2,694 | | 0,0055 | 0,002 | CV ≤ 0,05 | Sesuai | |
| Tegangan (kVp) | 72,4 | | 0,1710 | 0,002 | | | |
| Waktu Penyinaran (s)* | 0,202 | | 0,0004 | 0,002 | | | |

Hasil pengujian reproduksibilitas Tabel 9 sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu $CV \leq 0,05$. CV adalah koefisien variasi yang menunjukkan seberapa besar variasi hasil pengukuran terhadap rerata hasil pengukuran. Dari perbandingan ini, dapat dilihat bahwa nilai CV pada setiap parameter adalah 0,002, 0,002 dan 0,002. Nilai CV ini lebih kecil dari nilai lolos uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian reproduksibilitas ini sesuai dengan standar yang

ditetapkan. Hal ini berarti bahwa pesawat sinar-X dental intraoral dapat menghasilkan hasil pengukuran yang konsisten dan akurat.

Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL)

HVL adalah ketebalan bahan filter yang diperlukan untuk mengurangi intensitas sinar-X hingga setengah dari intensitas awalnya. Semakin besar nilai HVL, semakin banyak sinar-X yang berhasil menembus bahan tersebut. Untuk mengukur HVL, digunakan beberapa lempeng aluminium sebagai filter, yang memberikan variasi ketebalan. Setelah itu, sinar-X ditembakkan melewati filter tersebut. Melalui variasi ketebalan filter aluminium, diperoleh ketebalan tertentu yang dapat menghasilkan setengah dari intensitas awal sinar-X. Intensitas awal ini merujuk pada intensitas sinar-X yang diukur tanpa melalui filter aluminium. Ketebalan filter aluminium yang menghasilkan setengah dari intensitas awal tersebut dikenal sebagai HVL (*Half-Value Layer*).

Tabel 10. Data hasil uji rata-rata kualitas berkas sinar-X.

| Tegangan terukur (kVp) | Hasil Pengukuran (mmAl) | | | Hasil Terkoreksi (mmAl) | | | Rata-rata |
|------------------------|-------------------------|------|------|-------------------------|-------|-------|-----------|
| | I | II | III | I | II | III | |
| 63,5 | 2,25 | 2,19 | 2,16 | 2,296 | 2,236 | 2,296 | 2,28 |
| 67,3 | 2,33 | 2,32 | 2,30 | 2,376 | 2,366 | 2,376 | 2,37 |
| 72,5 | 2,52 | 2,49 | 2,48 | 2,566 | 2,536 | 2,566 | 2,56 |

Tabel 11. Data hasil uji kualitas berkas sinar-X (HVL)

| Tegangan terukur (kVp) | HVL Interpolasi | | KTP (\pm) |
|------------------------|-----------------|------|---------------|
| | Tegangan (kVp) | HVL | |
| 63,5 | 60 | 2,28 | 0,012 |
| 67,3 | 65 | 2,31 | 0,012 |
| 72,5 | 70 | 2,47 | 0,012 |

Tabel 12. Data hasil perhitungan uji keluaran berkas sinar-X (HVL).

| Arus listrik (mA)- setting | 7 | Waktu (s)- setting | 0,100 | SDD (mm) | 202 |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|------------|
| No | Tegangan (kVp)- setting | Filter tambahan (mm Al) | Hasil ukur (mm Al) | Nilai lolos uji (mm Al) | Kesimpulan |
| 1 | 60 | | 2,28 | | |
| 2 | 65 | Tidak Ada | 2,31 | $\geq 1,5$ | Sesuai |
| 3 | 70 | | 2,47 | | |

Berdasarkan data Tabel 10 dan 11 yang diperoleh dari pengujian uji keluaran berkas sinar-X (HVL), nilai rerata HVL terkoreksi pada setiap kVp terukur adalah 2,28, 2,37, dan 2,56 mmAl. Nilai rerata HVL terkoreksi ini menunjukkan ketebalan filter aluminium yang dibutuhkan untuk mengurangi intensitas radiasi sinar-X hingga setengah dari intensitas awal. Hasil pengujian HVL Tabel 12 sesuai dengan standar yang ditetapkan, dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu $HVL \geq 1,5$ mmAl untuk 60 kVp, 65 kVp dan 70 kVp. Dapat dilihat bahwa nilai HVL terukur pada kVp adalah 2,28 mmAl, 2,31 mmAl dan 2,47 mmAl yang lebih besar dari nilai lolos uji. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian HVL ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hal ini berarti bahwa kualitas berkas sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X sesuai dengan yang diharapkan memiliki energi efektif yang tinggi dan dosis radiasi yang rendah. Nilai HVL berfungsi sebagai indikator kualitas berkas sinar-X. Kualitas berkas sinar-X ini dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang digunakan pada tabung. Semakin tinggi tegangan tabung, semakin besar daya tembus sinar-X, dan dengan demikian HVL yang dihasilkan juga akan semakin besar.

SIMPULAN

Hasil pengujian uji iluminasi, uji akurasi kv, uji akurasi waktu penyinaran sinar-x, uji reproduksibilitas, dan uji kualitas berkas sinar-X (HVL) memenuhi standar yang telah ditetapkan. Hal ini menandakan bahwa kualitas berkas sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X sesuai dengan harapan, yaitu memiliki energi efektif yang tinggi serta dosis radiasi yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu El-Ela, W. H., Farid, M. M., & Mostafa, M. S. E.-D. **2016**. Intraoral *versus* extraoral bitewing radiography in detection of enamel proximal caries: An *ex vivo* study. *Dentomaxillofacial Radiology*, 45(4), 20150326. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150326>
- Ariga, E., Ito, S., Deji, S., Saze, T., & Nishizawa, K. **2012**. Determination of half value layers of X-ray equipment using computed radiography imaging plates. *Physica Medica*, 28(1), 71–75. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2011.01.001>
- Bequet, A. Y., Nurcahyo, P. W., & Sulistiyadi, A. H. **2022**. Efektifitas Penambahan Source to Image Distance (SID) terhadap Penurunan Dosis Radiasi pada Pemeriksaan Radiografi Cranium. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 8(1), 11–14. <https://doi.org/10.31983/jimed.v8i1.8043>
- Botta-Dukát, Z. **2023**. Quartile coefficient of variation is more robust than CV for traits calculated as a ratio. *Scientific Reports*, 13(1), 4671. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31711-8>

- Breitkreutz, D. Y., Weil, M. D., & Bazalova-Carter, M. **2020**. External beam radiation therapy with kilovoltage x-rays. *Physica Medica*, *79*, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.11.001>
- Cahyani, B., Utari, U., & Muhtarom, M. **2021**. Penentuan Peak Kilovoltage (kVp) Pesawat Sinar-X Dengan Pemanfaatan Imaging Plate (IP) Di RSUD Dr. Moewardi. *Indonesian Journal Of Applied Physics*, *11(2)*, 126. <https://doi.org/10.13057/ijap.v11i2.45431>
- Ceylan, C., Yondem Inal, S., Senol, E., Yilmaz, B., & Sahin, S. **2021**. Effect of Multileaf Collimator Leaf Position Error Determined by Picket Fence Test on Gamma Index Value in Patient-Specific Quality Assurance of Volumetric-Modulated Arc Therapy Plans. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.12684>
- Deshpande, A., & Bhargava, D. **2014**. Intraoral Periapical Radiographs with Grids for Implant Dentistry. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*, *13(4)*, 603–605. <https://doi.org/10.1007/s12663-013-0499-2>
- Hayashi, M., Yoshizawa, N., Ueda, Y., Mimura, T., Ohmae, E., Yoshimoto, K., Wada, H., Nasu, H., Ogura, H., & Sakahara, H. **2019**. Effect of Source-Detector Distance on the Measurement of Hemoglobin Using Near-Infrared Spectroscopy in Breast Cancer. *Technology in Cancer Research & Treatment*, *18*, 1533033819830411. <https://doi.org/10.1177/1533033819830411>
- Hodolli, G., Kadiri, S., Nafezi, G., Bahtijari, M., & Sylva, N. **2019**. Diagnostic reference levels at intraoral and dental panoramic examinations. *International Journal of Radiation Research*, *17(1)*. 147-150. DOI: 10.18869/acadpub.ijrr.17.1.147
- Hyperastuty, A. S., Mukhammad, Y., & Sugeng, S. **2021a**. Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile Merk Drgem Topaz-40d Menggunakan X-Ray Multimeter PIRANHA. *Journal Of Health Science (Jurnal Ilmu Kesehatan)*, *6(1)*, 19–26. <https://doi.org/10.24929/jik.v6i1.1287>
- Hyperastuty, A. S., Mukhammad, Y., & Sugeng, S. **2021b**. Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile Merk Drgem Topaz-40d Menggunakan X-Ray Multimeter PIRANHA. *Journal Of Health Science (Jurnal Ilmu Kesehatan)*, *6(1)*, 19–26. <https://doi.org/10.24929/jik.v6i1.1287>
- Jannah, M., Mulyati, S., & Gandhi, W. P. **2023**. Assessing Efficiency and Image Quality of Dental Radiography Using Modified Dental Holders with Silicone Rubber Integration. *Jurnal Riset Kesehatan*, *12(2)*, 81–85. <https://doi.org/10.31983/jrk.v12i2.10484>
- Kumar, R., Khambete, N., & Priya, E. **2011**. Extraoral periapical radiography: An alternative approach to intraoral periapical radiography. *Imaging Science in Dentistry*, *41(4)*, 161. <https://doi.org/10.5624/isd.2011.41.4.161>

- Nurdin, W. B., Purnomo, A., & Dewang, S. **2018**. Source to Skin Distance (SSD) Characteristics from Varian CX Linear Accelerator. *Journal of Physics: Conference Series*, 979, 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/979/1/012076>
- Ou, X., Chen, X., Xu, X., Xie, L., Chen, X., Hong, Z., Bai, H., Liu, X., Chen, Q., Li, L., & Yang, H. **2021**. Recent Development in X-Ray Imaging Technology: Future and Challenges. *Research*, 2021, 2021/9892152. <https://doi.org/10.34133/2021/9892152>
- Ozmen, B., & Basak Ayna, N. **2024**. Occlusal Radiographs in a Turkish Pediatric Subpopulation. *Acta Stomatologica Croatica*, 58(1), 52–58. <https://doi.org/10.15644/asc58/1/5>
- Ratnawati, I. G. A. A., Suandayani, N. K. T., & Sutapa, G. N. **2019**. The Linearity Of X-Ray Devices Radiation Output And Its Relationship With Patient Thickness. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(3), 1–6. <https://doi.org/10.29332/ijpse.v3n3.351>
- Sari, F. R., Astuty, S. D., & Dewang, S. **2022**. Analisis Keluaran Radiasi Dan Mean Glandular Dose Berdasarkan Kombinasi Target/Filter Pesawat Mammografi Di RSUD Syekh Yusuf Gowa. *Berkala Fisika*, 25(3). pp80-88. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/50737