

## **Uji Linieritas Keluaran Sebagai Indikator Kinerja Alat Radiografi Panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung**

**Oktarina Damayanti\*, Ardiana**

Politeknik Al Islam Bandung, Indonesia

Email: oktarina.st@gmail.com\*, ardiana.kampustro@gmail.com

---

**Keywords:**

*exposure parameters; output  
linearity; Piranha multimeter;  
panoramic radiography;  
radiology equipment  
performance.*

---

**Abstract**

*Panoramic radiography plays an important role in assisting in establishing a comprehensive diagnosis in the oral cavity and jaw area. This study aimed to test the output linearity of the panoramic radiography device performance in the Diagnostic Radiology Installation of Santosa Kopo Hospital, Bandung. The research method used was descriptive quantitative with an observational approach. The test was conducted using a Piranha Multimeter measuring instrument on a Genoray Papaya brand panoramic radiography device. The test parameters used a tube voltage of 70 kV and an exposure time of 12 seconds with variations in tube current (mA) of 5.0 mA, 6.5 mA, 8.0 mA, 10.0 mA, and 12.0 mA. The data obtained in the form of radiation output and normalized air kerma values were then analyzed based on the linearity test tolerance standards. The results showed that the radiation output increased proportionally to changes in exposure parameters. The normalized air kerma value is in the range of 0.015–0.016 mGy/mAs with a linearity deviation of 0.032. This value is still below the tolerance limit of  $\leq 0.100$ , so the linearity test results are declared to meet radiology QC standards. Overall the implementation of Quality Assurance on panoramic radiography equipment at Santosa Kopo Hospital, Bandung has been running well based on the output linearity test parameters.*

---

**Kata Kunci:**

kinerja alat radiologi; linieritas  
keluaran; multimeter piranha;  
parameter eksposi; radiografi  
panoramik

---

**Abstrak**

Radiografi panoramik memiliki peranan penting dalam membantu penegakan diagnosis secara menyeluruh pada area rongga mulut dan rahang. Penelitian ini bertujuan untuk uji linieritas keluaran terhadap kinerja alat radiografi panoramik di Instalasi Radiologi Diagnostik Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan observasional. Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur Multimeter Piranha pada alat radiografi panoramik merek Genoray Papaya. Parameter pengujian menggunakan tegangan tabung 70 kV dan waktu eksposi 12 detik dengan variasi arus tabung (mA) yaitu 5,0 mA, 6,5 mA, 8,0 mA, 10,0 mA, dan 12,0 mA. Data yang diperoleh berupa nilai output radiasi dan kerma udara ternormalisasi kemudian dianalisis berdasarkan standar toleransi uji linieritas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa output radiasi mengalami peningkatan yang sebanding terhadap perubahan parameter eksposi. Nilai kerma udara ternormalisasi berada pada rentang 0,015–0,016

mGy/mAs dengan nilai penyimpangan linieritas sebesar 0,032. Nilai tersebut masih berada di bawah batas toleransi  $\leq 0,100$  sehingga hasil uji linieritas dinyatakan sesuai standar QC radiologi. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pelaksanaan Quality Assurance pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung telah berjalan dengan baik berdasarkan parameter uji linieritas keluaran.

---

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi radiologi kedokteran gigi, khususnya radiografi panoramik, memiliki peranan penting dalam membantu penegakan diagnosis secara menyeluruh pada area rongga mulut dan rahang (Jain et al. 2019). Pemeriksaan radiografi panoramik banyak digunakan karena mampu menghasilkan gambaran anatomi gigi, mandibula, maksila, serta jaringan pendukung lainnya dalam satu kali eksposi dengan cakupan yang luas (Albassal et al., 2021). Kemampuan tersebut menjadikan radiografi panoramik sebagai salah satu modalitas pencitraan utama dalam bidang kedokteran gigi dan bedah mulut, terutama untuk membantu proses diagnosis, perencanaan tindakan, serta evaluasi hasil perawatan (Bilgir et al., 2021). Oleh karena itu, kualitas citra yang dihasilkan harus memenuhi standar diagnostik agar informasi klinis yang diperoleh akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Kualitas citra radiografi sangat bergantung pada performa alat yang digunakan. Ketidakstabilan keluaran radiasi (output), ketidaksesuaian parameter eksposi, maupun penurunan fungsi komponen alat dapat menyebabkan penurunan kualitas citra yang berpotensi mengakibatkan kesalahan interpretasi dan diagnosis (Barai et al., 2022). Selain memengaruhi akurasi diagnosis, kondisi tersebut juga dapat meningkatkan paparan radiasi yang tidak diperlukan akibat pengulangan pemeriksaan, sehingga bertentangan dengan prinsip proteksi radiasi dan keselamatan pasien. Oleh karena itu, pengawasan terhadap kinerja alat radiografi menjadi aspek yang sangat penting dalam menjamin mutu pelayanan radiologi.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk menjaga kualitas dan keamanan penggunaan peralatan radiologi adalah melalui penerapan program Quality Assurance (QA). Quality Assurance merupakan serangkaian kegiatan yang dirancang untuk memastikan bahwa seluruh sistem radiologi beroperasi secara optimal, konsisten, dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan (Al Bego et al. (2024). Program QA meliputi berbagai pengujian, seperti pengujian akurasi tegangan tabung, waktu eksposi, kesesuaian output radiasi, linieritas output, reproduksibilitas, serta evaluasi kualitas citra. Penerapan QA secara berkala diharapkan mampu mempertahankan performa alat, meningkatkan kualitas citra diagnostik, mengurangi risiko kesalahan diagnosis, serta menekan paparan radiasi yang tidak diperlukan bagi pasien maupun tenaga kesehatan (Mekonin & Deressu, 2023).

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan quality control (QC) dan kinerja alat radiografi panoramik menunjukkan bahwa aspek keluaran radiasi merupakan parameter penting dalam menjamin kualitas citra dan keselamatan pasien. (Alahmad & Alnafea, 2023) melakukan survei terhadap 64 alat radiografi panoramik di klinik gigi Arab Saudi dan menemukan bahwa 17% alat tidak memenuhi uji akurasi tegangan tabung (kVp), meskipun sebagian besar parameter QC lainnya masih berada dalam batas toleransi. Penelitian tersebut menegaskan pentingnya program quality control secara berkala pada alat radiografi panoramik. Selanjutnya, (Konst et al., 2021) mengembangkan metode quality control berbasis pengukuran

air kerma untuk memverifikasi keluaran tabung sinar-X dengan membandingkan keluaran radiasi terukur terhadap keluaran teoritis berdasarkan parameter eksposi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran air kerma dapat digunakan sebagai indikator yang andal untuk mengevaluasi performa sistem radiografi dan fluoroskopi. Selain itu, pedoman Quality Assurance yang diterbitkan oleh ACPSEM pada tahun 2024 menekankan bahwa linieritas keluaran (output linearity) merupakan salah satu parameter utama dalam evaluasi kinerja tabung sinar-X, karena keluaran radiasi harus meningkat secara linier terhadap perubahan mA atau mAs. Ketidak linieran keluaran dapat menyebabkan kualitas citra yang tidak konsisten dan paparan radiasi yang tidak sesuai kepada pasien. Penelitian lain mengenai quality control radiografi dental di Riyadh juga menyoroti pentingnya kompetensi dan program QA dalam pengelolaan peralatan radiografi digital untuk menjamin optimasi dosis dan mutu citra. (Almutairi et al., 2024). Sementara itu, berbagai penelitian terkini pada radiografi panoramik lebih banyak berfokus pada kualitas citra dan pemanfaatan kecerdasan buatan untuk interpretasi citra panoramik, seperti deteksi kelainan gigi, segmentasi gigi, dan peningkatan akurasi diagnosis, dibandingkan evaluasi linieritas keluaran radiasi alat. Oleh karena itu, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait analisis hubungan linier antara variasi mA dan keluaran radiasi (air kerma) pada alat radiografi panoramik, sehingga penelitian “Uji Linieritas Keluaran terhadap Kinerja Alat Radiografi Panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung” memiliki kontribusi ilmiah yang penting dalam pengembangan program quality control dan optimasi keselamatan pasien.

Berbeda dengan penelitian penelitian sebelumnya yang memancarkan linieritas keluaran pada pesawat radiografi konvensional, penelitian ini mengkaji karakteristik linieritas keluaran pada sistem radiografi panoramik digital dengan mengintegrasikan analisis regresi, koefisien determinasi ( $R^2$ ), dan kesesuaian terhadap standar jaminan mutu. Pendekatan tersebut menghasilkan model evaluasi kinerja alat yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan program kendali mutu berbasis data kuantitatif pada radiografi panoramik.

Penulis melaksanakan penelitian ini di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung yang merupakan salah satu fasilitas pelayanan kesehatan yang menggunakan radiografi panoramik secara rutin untuk menunjang pelayanan kedokteran gigi dan bedah mulut. Tingginya frekuensi penggunaan alat menuntut adanya evaluasi berkala terhadap konsistensi keluaran radiasi guna memastikan bahwa alat tetap bekerja sesuai standar keselamatan dan mutu pelayanan. Hingga saat ini, evaluasi implementasi uji linieritas output pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung belum pernah dilaporkan secara ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kontribusi dalam menyediakan data dasar mengenai kondisi performa alat berdasarkan parameter linieritas output sebagai bagian dari program Quality Assurance yang dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan pengambilan keputusan dalam pemeliharaan peralatan radiologi.

Berdasarkan telaah pustaka, penelitian mengenai uji linieritas keluaran pada radiografi panoramik digital masih terbatas, khususnya yang menggunakan analisis hubungan antara parameter eksposi dan kerma udara sebagai indikator kinerja alat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi linieritas keluaran radiasi pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung sebagai bagian dari program quality assurance dan quality control. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi implementasi uji linieritas output pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo

Bandung, menganalisis konsistensi keluaran radiasi yang dihasilkan, serta menilai kesesuaiannya dengan standar Quality Assurance yang berlaku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam upaya peningkatan mutu pelayanan radiologi kedokteran gigi, mendukung keselamatan pasien, serta menjadi referensi bagi pelaksanaan program Quality Assurance pada peralatan radiografi panoramik di fasilitas pelayanan kesehatan lainnya.

## **METODE PENELITIAN**

### **Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental dengan pendekatan pengukuran langsung (direct measurement) yang bertujuan untuk mengevaluasi implementasi uji linieritas output sebagai salah satu parameter dalam program Quality Assurance (QA) pada alat radiografi panoramik. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pada parameter eksposi mA, sedangkan parameter tegangan tabung (kV) dan waktu eksposi dipertahankan tetap untuk mengetahui konsistensi keluaran radiasi yang dihasilkan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret tahun 2025 di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung.

### **Populasi dan Sampel Penelitian**

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peralatan radiografi panoramik yang digunakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung. Sampel penelitian berupa satu unit alat radiografi panoramik digital *Genoray Papaya* yang masih digunakan secara aktif dalam pelayanan radiologi. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu. Adapun kriteria alat yang digunakan meliputi kondisi operasional yang baik, masih digunakan dalam pelayanan klinis, telah melalui proses pemanasan (*warming-up*), serta tidak mengalami gangguan teknis pada saat pengujian dilakukan.

### **Instrumen Penelitian**

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas:

- a. Alat radiografi panoramik digital Genoray Papaya sebagai objek penelitian untuk pelaksanaan uji linieritas output. seperti gambar berikut



Gambar 1 alat radiografi panoramik

- b. Multimeter Piranha, yang digunakan untuk mengukur keluaran radiasi sinar-X, meliputi dosis radiasi, tegangan tabung (kV), waktu eksposi, dan parameter lainnya yang diperlukan dalam pengujian Quality Control. Multimeter Piranha merupakan alat ukur yang banyak digunakan dalam pengujian mutu peralatan radiologi karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengevaluasi performa generator sinar-X (Hassan, 2020). Seperti pada gambar berikut :



Gambar 2 Multimeter Piranha

- c. Komputer terhubung dengan sistem radiografi panoramik dan perangkat lunak Ocean. Komputer digunakan untuk mengatur parameter eksposi, menjalankan sistem radiografi digital, serta merekam dan menyimpan hasil pengukuran yang diperoleh selama penelitian (Jain et al., 2019). Seperti dalam gambar



Gambar 3 Komputer

### Prosedur Penelitian

Sebelum pengujian dilakukan, alat radiografi panoramik dipastikan berada dalam kondisi operasional yang baik dan telah melalui proses *warming-up* sesuai prosedur yang direkomendasikan oleh pabrikan. Selanjutnya sistem radiografi panoramik beserta komputer diaktifkan, kemudian identitas pengujian dimasukkan ke dalam perangkat lunak Ocean.

Pengujian linieritas *output* dilakukan dengan mempertahankan nilai tegangan tabung (kV) dan waktu eksposi tetap, sedangkan nilai arus tabung (mA) divariasikan pada beberapa tingkat eksposi sesuai protokol pengujian. Sebelum proses eksposi dilakukan, jarak antara fokus tabung sinar-X dengan permukaan detektor (*Source to Surface Distance* atau SSD) diukur menggunakan alat ukur. Selanjutnya panjang detektor diukur untuk menentukan titik tengah sebagai posisi penempatan dose probe pada Multimeter Piranha.

*Dose probe* diposisikan tepat pada titik tengah detektor sesuai garis crosshair sehingga seluruh pengukuran dilakukan pada posisi yang konsisten. Setelah posisi alat dipastikan sesuai, eksposi dilakukan pada setiap variasi nilai mA. Nilai keluaran radiasi yang ditampilkan melalui perangkat lunak Ocean kemudian dicatat ke dalam lembar hasil uji (LHU). Seluruh pengukuran dilakukan menggunakan prosedur yang sama untuk menjaga konsistensi hasil pengujian.

## Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi arus tabung (mA) yang digunakan selama proses eksposi, sedangkan Variabel terikat nya adalah output radiasi sinar-X yang dihasilkan oleh alat radiografi panoramik dan diukur menggunakan Multimeter Piranha.

## Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui pengukuran langsung terhadap output radiasi sinar-X menggunakan Multimeter Piranha pada setiap variasi parameter eksposi. Seluruh hasil pengukuran dicatat dalam lembar observasi penelitian sebagai data primer yang selanjutnya digunakan dalam proses analisis.

## Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk menggambarkan perubahan nilai output radiasi pada setiap variasi parameter eksposi. Selanjutnya dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk mengetahui hubungan antara parameter eksposi sebagai variabel bebas dengan output radiasi sebagai variabel terikat. Selain itu, nilai linieritas output dihitung menggunakan rumus Coefficient of Linearity (COL) sebagai berikut:

$$COL = \frac{MAX - MIN}{MAX + MIN}$$

COL = Coefficient of Linearity

MAX = Nilai output radiasi terbesar (mGy/mA)

MIN = Nilai output radiasi terkecil (mGy/mA)

Nilai Coefficient of Linearity (COL) yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas toleransi yang ditetapkan dalam standar Quality Assurance untuk menentukan apakah performa keluaran radiasi alat radiografi panoramik masih memenuhi persyaratan mutu yang berlaku

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi spesifikasi teknis alat radiografi panoramik yang menjadi objek penelitian. Identifikasi ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai karakteristik peralatan yang digunakan sehingga hasil pengujian linieritas keluaran dapat diinterpretasikan secara tepat. Spesifikasi alat meliputi identitas alat, sistem pencitraan, tahun penggunaan, serta parameter eksposi yang digunakan selama pengukuran. Informasi tersebut menjadi dasar dalam evaluasi kinerja alat radiografi panoramik.

### Spesifikasi Alat Panoramik

- |                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| 1. Merek / Tipe            | : Genoray papaya |
| 2. tahun Penggunaan        | : 2023           |
| 3. Kapasitas Tegangan (kV) | : 90             |
| 4. Arus Tabung (mA)        | : 12             |

5. Sistem pencitraan : DR

6. Kondisi pemeliharaan alat : -

Setelah dilakukan identifikasi spesifikasi alat radiografi panoramik, tahap selanjutnya adalah pengujian keluaran radiasi (*output*) untuk mengevaluasi kinerja alat. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan parameter eksposi sesuai prosedur yang telah ditetapkan, kemudian mengukur keluaran radiasi menggunakan alat ukur yang terkalibrasi. Data keluaran radiasi yang diperoleh digunakan untuk mengetahui hubungan antara parameter eksposi dan respons keluaran alat, serta untuk menilai tingkat linieritas output sebagai salah satu indikator kualitas kinerja alat radiografi panoramik. Tahapan pengujian output yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi

- a. Memasukkan identitas uji linieritas out put pada perangkat computer panoramic
- b. Mengukur SSD dari focus spot ke permukaan DR
- c. Mengukur terlebih dahulu Panjang DR dari atas kebawah kemudian cari nilai Tengah untuk memposisikan dose probe, seperti gambar berikut:



Gambar 4 Pengukuran Panjang DR

- d. memposisikan dose probe yang sudah “on” dipermukaan DR dan letakan di pertengahan cross hare, seperti gambar berikut :



Gambar 5 Posisi dose probe

- e. Melakukan eksposi dengan kV tetap, waktu tetap dan kemudian memvariasikan mA, seperti gambar berikut :



Gambar 6 Eksposi dengan kV

- f. Mencatat hasil keluaran radiasi yang terdapat pada aplikasi ocean dan masukkan ke LHU.
- g. Menentukan variasi factor eksposi dimana Linieritas output diuji dengan mengubah salah satu parameter eksposi (kV, mA dan S).

Uji linieritas output dilakukan dengan variasi arus tabung (mA) pada nilai tegangan tetap. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pada setiap variasi eksposi untuk memperoleh nilai rata-rata output radiasi, dapat di lihat pada tabel berikut.

**Tabel 1. Hasil Pengukuran Output Radiasi**

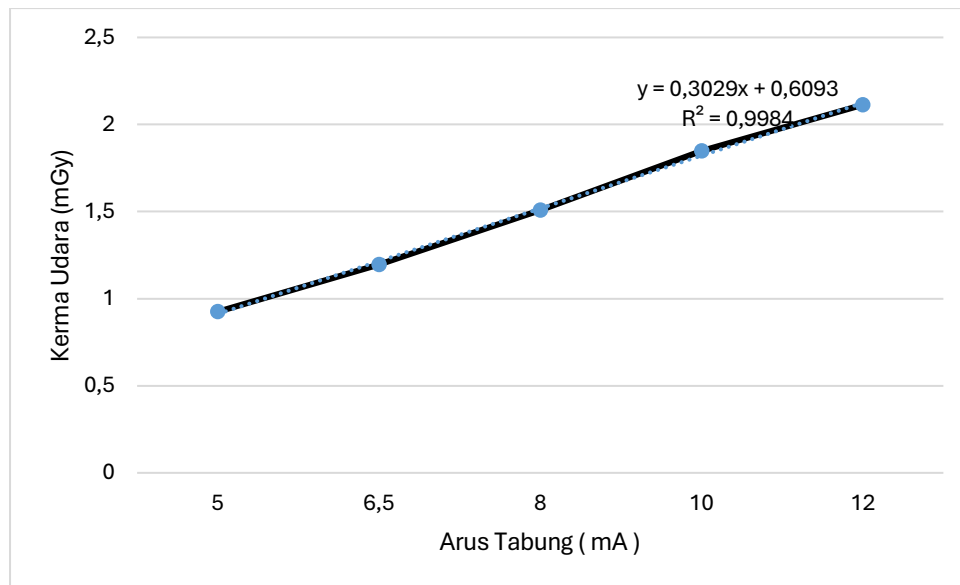
| Pengaturan                                                |           |        |           |     | Kerma udara hasil ukur (mGy) | Air Kerma ternormalisasi (mGy/mAs) | R <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------------|-----------|--------|-----------|-----|------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Tegangan (kV)                                             | Arus (mA) | Tabung | Waktu (s) | mAs |                              |                                    |                |
| 70                                                        | 5         |        | 12        | 60  | 0,925                        | 0,015                              | 0,9984         |
|                                                           | 6,5       |        |           | 78  | 1,195                        | 0,015                              |                |
|                                                           | 8         |        |           | 96  | 1,509                        | 0,016                              |                |
|                                                           | 10        |        |           | 120 | 1,848                        | 0,015                              |                |
|                                                           | 12        |        |           | 144 | 2,113                        | 0,015                              |                |
|                                                           |           |        |           |     |                              | 0,032                              |                |
| Toleransi                                                 |           |        |           |     |                              | 0,1                                |                |
| Keterangan: Jarak detektor dari titik fokus (SDD) = 60 cm |           |        |           |     |                              | Sesuai                             |                |

$$COL = \frac{X_{MAX} - X_{menit}}{X_{MAX} + X_{menit}}$$

$$COL = \frac{0,016 - 0,015}{0,016 + 0,015} = \frac{0,001}{0,031} = 0,032$$

Grafik berikut menunjukkan hubungan antara arus tabung (mA) dan kerma udara (mGy) yang dihasilkan oleh alat radiografi panoramik pada kondisi tegangan tabung tetap 70 kV dan waktu eksposi 12 detik. Grafik ini disusun berdasarkan hasil pengukuran output radiasi menggunakan multimeter pada beberapa variasi nilai mA. Tujuan penyajian grafik ini adalah

untuk melihat pola perubahan output radiasi serta mengevaluasi linieritas keluaran radiasi sebagai salah satu parameter *Quality Control* (QC) dalam program *Quality Assurance* (QA).



Gambar 7 Grafik Linieritas Output Radiasi

Berdasarkan hasil pengukuran output radiasi pada Tabel 1, diperoleh bahwa peningkatan nilai arus tabung (mA) pada tegangan tetap 70 kV dan waktu eksposi 12 detik menyebabkan peningkatan nilai mAs dan kerma udara hasil ukur secara bertahap. Nilai kerma udara meningkat dari 0,925 mGy pada arus 5,0 mA menjadi 2,113 mGy pada arus 12,0 mA. Hal ini menunjukkan bahwa output radiasi yang dihasilkan alat radiografi panoramik mengalami peningkatan yang sebanding terhadap perubahan parameter eksposi. Hasil pengukuran kerma udara ternormalisasi menunjukkan nilai yang relatif konstan, yaitu berkisar antara 0,015–0,016 mGy/mAs. Nilai penyimpangan yang diperoleh sebesar 0,032 masih berada di bawah batas toleransi yang ditetapkan, yaitu  $\leq 0,100$ . Dengan demikian, hasil uji linieritas output pada alat radiografi panoramik dinyatakan memenuhi standar quality control radiologi. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa alat radiografi panoramik di Instalasi Radiologi Diagnostik Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung masih memiliki kestabilan output radiasi yang baik dan mampu menghasilkan keluaran radiasi secara konsisten pada setiap perubahan parameter eksposi. Kondisi ini menunjukkan bahwa performa alat masih optimal dan layak digunakan untuk pemeriksaan radiografi panoramik dalam menunjang pelayanan diagnostik radiologi. Selain itu, kestabilan output radiasi yang sesuai standar juga berpengaruh terhadap kualitas citra radiograf yang dihasilkan serta membantu menjaga keselamatan pasien dengan meminimalkan kemungkinan terjadinya paparan radiasi berlebih akibat pengulangan pemeriksaan. Oleh karena itu, pelaksanaan quality control secara berkala tetap diperlukan guna mempertahankan kualitas dan kinerja alat radiografi panoramik.

Berdasarkan grafik Linieritas Output Radiasi terlihat bahwa nilai kerma udara mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya nilai mA. Pada arus tabung 5 mA diperoleh kerma udara sebesar 0,925 mGy, kemudian meningkat menjadi 1,195 mGy pada 6,5 mA, 1,509 mGy pada 8 mA, 1,848 mGy pada 10 mA, dan mencapai 2,113 mGy pada 12 mA.

Pola garis yang terus meningkat menunjukkan adanya hubungan positif antara nilai mA dan output radiasi. Semakin besar nilai mA yang digunakan, semakin besar pula jumlah elektron yang mengalir dalam tabung sinar-X sehingga menghasilkan lebih banyak foton sinar-X. Akibatnya, output radiasi yang diukur dalam bentuk kerma udara juga meningkat. Grafik tersebut menunjukkan bahwa peningkatan output radiasi berlangsung secara relatif linear dan proporsional terhadap peningkatan nilai mA. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa generator dan tabung sinar-X pada alat radiografi panoramik masih bekerja secara stabil dan konsisten. Kondisi ini didukung oleh hasil uji linieritas yang menghasilkan nilai koefisien linieritas sebesar 0,032, yang masih berada di bawah batas toleransi 0,100.

Dengan demikian, grafik tersebut menunjukkan bahwa alat radiografi panoramik memiliki karakteristik output yang baik, memenuhi standar uji linieritas, serta mendukung kualitas citra diagnostik dan keselamatan pasien sebagai bagian dari pelaksanaan program Quality Assurance (QA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat radiografi panoramik di Instalasi Radiologi Diagnostik Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung masih memiliki kestabilan output radiasi yang baik dan mampu menghasilkan keluaran radiasi secara konsisten pada setiap perubahan parameter eksposi. Temuan ini sesuai dengan temuan Abdallah (2021) tentang Pengaruh Quality Assurance terhadap Kinerja Alat Radiografi yang menyatakan bahwa pelaksanaan Quality Assurance (QA) dan Quality Control (QC) secara berkala berfungsi untuk menjaga kestabilan performa alat radiografi sehingga mampu menghasilkan output radiasi yang optimal dan konsisten.

Konsistensi keluaran radiasi pada setiap perubahan parameter eksposi menunjukkan bahwa generator tabung sinar-X masih bekerja secara baik dan linear. Hal ini sejalan dengan temuan laporan penelitian Honey et al., 2018 tentang uji kesesuaian untuk memastikan bahwa perubahan nilai parameter eksposi, khususnya arus tabung (mA) dan menghasilkan perubahan output radiasi yang proporsional sesuai standar toleransi yang berlaku. Nilai penyimpangan linieritas yang masih berada di bawah batas toleransi menunjukkan bahwa performa alat masih optimal dan layak digunakan dalam pelayanan radiologi diagnostik. Selain itu, kestabilan output radiasi yang sesuai standar juga mendukung hasil penelitian Abbasi & Karim, 2018 dan Belgin & Serindere, 2019, tentang Implementasi Quality Assurance dalam Alat Radiografi Panoramik, yang menyebutkan bahwa penerapan QA dapat membantu menghasilkan kualitas citra radiografi yang optimal dan meminimalkan risiko kesalahan diagnosis. Output radiasi yang stabil akan menghasilkan densitas dan kontras citra yang lebih konsisten sehingga kualitas citra panoramik menjadi lebih baik untuk keperluan diagnostik. Temuan penelitian ini juga berkaitan dengan penelitiannya Monita, 2021 tentang standar dan regulasi QA radiologi yang menjelaskan bahwa pengujian QC perlu dilakukan secara berkala untuk menjamin keselamatan pasien dan tenaga kesehatan. Dengan kestabilan output radiasi yang baik, kemungkinan terjadinya pengulangan pemeriksaan akibat ketidaksesuaian citra dapat diminimalkan sehingga paparan radiasi terhadap pasien tetap berada dalam batas aman. Oleh karena itu, pelaksanaan quality control secara rutin tetap diperlukan untuk mempertahankan kualitas, kestabilan performa, dan keamanan penggunaan alat radiografi panoramik.

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh nilai kerma udara ternormalisasi pada rentang 0,015–0,016 mGy/mAs dengan nilai koefisien linieritas (Coefficient of Linearity/COL) sebesar 0,032. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan keluaran radiasi yang dihasilkan alat radiografi panoramik masih bersifat linier terhadap

perubahan parameter eksposi yang diberikan. Peningkatan nilai arus tabung (mA) menyebabkan peningkatan keluaran radiasi secara proporsional, sehingga menunjukkan bahwa generator dan tabung sinar-X masih bekerja secara stabil serta mampu menghasilkan output radiasi yang konsisten pada setiap tingkat eksposi. Konsistensi keluaran radiasi ini merupakan salah satu indikator penting dalam program Quality Assurance (QA) dan Quality Control (QC) karena berpengaruh langsung terhadap kualitas citra radiografi dan keselamatan pasien.

Hasil penelitian ini sejalan juga dengan penelitian Alahmad dan Alnafea (2023) yang melakukan survei quality control terhadap alat radiografi panoramik di klinik gigi swasta Arab Saudi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar alat radiografi panoramik yang memenuhi parameter quality control mampu menghasilkan performa yang stabil dan sesuai standar operasional. Meskipun fokus penelitian Alahmad dan Alnafea lebih menitikberatkan pada pengujian akurasi kVp, reproduksibilitas eksposi, dan parameter QA lainnya, hasil penelitian ini memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa kestabilan keluaran radiasi juga dapat dibuktikan melalui pengujian linieritas output. Dengan demikian, kualitas kinerja alat radiografi panoramik tidak hanya ditentukan oleh ketepatan parameter eksposi, tetapi juga oleh kemampuan alat menghasilkan keluaran radiasi yang konsisten pada berbagai variasi eksposi.

Temuan penelitian ini juga mendukung hasil penelitian Konst et al. (2021) yang mengembangkan metode quality control berbasis pengukuran air kerma untuk mengevaluasi performa sistem radiografi dan fluoroskopi. Konst et al. menyatakan bahwa kestabilan keluaran radiasi dapat dinilai melalui hubungan antara parameter eksposi dan nilai air kerma yang dihasilkan. Pada penelitian ini, nilai kerma udara meningkat secara bertahap dari 0,925 mGy hingga 2,113 mGy seiring peningkatan arus tabung, sedangkan nilai kerma udara ternormalisasi tetap relatif konstan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara parameter eksposi dan keluaran radiasi bersifat proporsional sehingga dapat digunakan sebagai indikator bahwa sistem generator sinar-X masih bekerja dengan baik dan memenuhi prinsip quality assurance.

Selain itu, hasil penelitian ini sesuai dengan rekomendasi ACPSEM (2024) yang menyatakan bahwa uji linieritas keluaran (output linearity) merupakan salah satu parameter penting dalam program quality assurance peralatan radiografi digital. ACPSEM menjelaskan bahwa keluaran radiasi yang baik harus menunjukkan peningkatan yang linier terhadap perubahan nilai mA atau mAs. Ketidaklinieran keluaran dapat menyebabkan variasi kualitas citra dan ketidakpastian dosis radiasi yang diterima pasien. Pada penelitian ini, pola peningkatan output radiasi yang relatif linier dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang tinggi menunjukkan bahwa alat radiografi panoramik masih mampu mempertahankan kestabilan keluaran radiasi sesuai dengan standar mutu yang direkomendasikan.

Nilai koefisien linieritas (COL) sebesar 0,032 yang diperoleh pada penelitian ini masih berada di bawah batas toleransi  $\leq 0,100$ . Secara matematis, nilai COL menggambarkan tingkat variasi keluaran radiasi ternormalisasi antara nilai maksimum dan minimum. Semakin kecil nilai COL yang diperoleh, semakin baik tingkat keseragaman dan konsistensi keluaran radiasi alat. Nilai 0,034 menunjukkan bahwa perbedaan keluaran radiasi ternormalisasi antar variasi eksposi sangat kecil, sehingga keluaran radiasi yang dihasilkan masih berada dalam rentang yang dapat diterima menurut standar quality control radiologi. Karena nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan batas toleransi 0,100, maka alat radiografi panoramik di Rumah Sakit

Santosa Kopo Bandung dinyatakan memenuhi persyaratan uji linieritas output dan masih layak digunakan untuk pelayanan radiologi diagnostik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem generator, tabung sinar-X, dan komponen eksposi lainnya masih bekerja secara optimal sehingga mampu mendukung kualitas citra diagnostik yang baik sekaligus menjaga keselamatan pasien melalui pemberian dosis radiasi yang konsisten dan terkendali.

## KESIMPULAN

Pelaksanaan uji generator tabung pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung dilakukan melalui pengujian Quality Control berupa uji linieritas output radiasi menggunakan alat ukur Multimeter Piranha. Pengujian dilakukan dengan variasi parameter arus tabung (mA) pada tegangan tabung 70 kV dan waktu eksposi 12 detik untuk mengetahui kestabilan keluaran radiasi alat radiografi panoramik.

Hasil uji Quality Control menunjukkan bahwa output radiasi mengalami peningkatan yang sebanding terhadap perubahan parameter eksposi. Nilai kerma udara ternormalisasi berada pada rentang 0,015–0,016 mGy/mAs dengan nilai penyimpangan linieritas sebesar 0,032. Nilai tersebut masih berada di bawah batas toleransi  $\leq 0,100$  sehingga hasil uji linieritas dinyatakan sesuai standar QC radiologi. Hal ini menunjukkan bahwa alat radiografi panoramik masih memiliki kestabilan output radiasi yang baik dan performa alat masih optimal untuk digunakan dalam pelayanan radiologi diagnostik.

Kendala yang dihadapi dalam pelaksanaan Quality Assurance pada alat radiografi panoramik meliputi keterbatasan waktu pelaksanaan pengujian karena tingginya penggunaan alat dalam pelayanan pasien, belum optimalnya pelaksanaan QA secara rutin dan terjadwal, keterbatasan alat ukur QA/QC, serta keterbatasan sumber daya manusia yang memahami prosedur pengujian QA dan QC secara mendalam.

Implementasi Quality Assurance dan Quality Control secara berkala sangat penting untuk menjaga kestabilan performa alat radiografi panoramik, mempertahankan kualitas citra radiografi, serta meningkatkan keselamatan pasien dan petugas radiologi. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pelaksanaan Quality Assurance pada alat radiografi panoramik di Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung telah berjalan dengan baik berdasarkan parameter uji linieritas keluaran.

## REFERENSI

- Alahmad, H., & Alnafea, M. (2023). Survey of quality control of panoramic X-ray machines in private dental clinics in Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16(2), 100571.
- Albassal, A., Al-Khanati, N. M., & Harfouch, M. (2021). Could a digital panoramic X-ray not detect a displaced fracture of the mandible? *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 11(8), 3890–3892. <https://doi.org/10.21037/qims-20-1053>
- Al Bego, M. A., El Zuki, M. A., & Abdelwakel Elbego, A. A. (2024). Clinical image quality evaluation for panoramic radiography: Clinical audit. *International Dental Journal* 74(Suppl. 1), S41. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.07.696>
- Almutairi, F., Alqahtani, S., & Alnafea, M. (2024). Survey of quality control of dental X-ray machines in private clinics in Riyadh. *American Journal of PharmTech Research*, 14(5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14168320>
- Barai, J., Tivaskar, S., Sable, A., & Luharia, A. (2022). Dose optimization and image quality

- in digital radiography. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(3), 1076–1080. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.03.174>
- Bilgir, E., Bayrakdar, İ. Ş., Çelik, Ö., Orhan, K., Akkoca, F., Sağlam, H., Odabaş, A., Aslan, A. F., Ozcetin, C., Kılı, M., & Rozylo-Kalinowska, I. (2021). An artificial intelligence approach to automatic tooth detection and numbering in panoramic radiographs. *BMC Medical Imaging*, 21, Article 124. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00656-7>
- Ireland, T., Perdomo, A., Lee, K. L., Jones, A., Barnes, P., Greig, T., & Reynolds, S. E. (2024). ACPSEM position paper: Recommendations for a digital general X-ray quality assurance program. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 47(3), 789–812. <https://doi.org/10.1007/s13246-024-01431-y>
- Jain, S., Choudhary, K., & Grover, D. (2019). New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: Combining digital technologies. *Imaging Science in Dentistry*, 49(3), 179–190. <https://doi.org/10.5624/isd.2019.49.3.179>
- Konst, B., Nøtthellen, J., Bilet, E., & Båth, M. (2021). Radiographic and fluoroscopic X-ray systems: Quality control of the X-ray tube and automatic exposure control using theoretical spectra to determine air kerma and dose to a homogenous phantom. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 22(8), 204–218. <https://doi.org/10.1002/acm2.13329>
- Mekonin, T. S., & Deressu, T. T. (2023). Image quality and radiation dose assessment for the clinically applied 16-slice CT scanner using PMMA phantom and quality assurance phantom. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 54(1). <https://doi.org/10.1186/s43055-023-01038-5>
- Napitupulu, R., Amaliah, R. U., & Dewita, T. (2023). Analisis keselamatan radiasi berdasarkan Perka BAPETEN No. 04 Tahun 2020 di Instalasi Radiologi RSUD Kota Tanjungpinang Tahun 2022. *Jurnal Kesehatan Ibnu Sina (J-KIS)*, 4(2), 1–9. <https://doi.org/10.36352/j-kis.v4i2.404>
- Notohamiprodjo, S., Roeper, K. M., Mueck, F. G., Maxien, D., & Wanninger, F. (2022). Advances in multiscale image processing and its effects on image quality in skeletal radiography. *Scientific Reports*, 12, Article 4588. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08699-8>
- Perdomo, A. (2018). Standardised quality control and quality assurance activities in radiology across Australia and New Zealand: In search of the Holy Grail. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 41(4), 775–777. <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0709-3>
- Sekkat, H., Khallouqi, A., El O., Halimi, A., Elmansouri, K., & Madkouri, Y. (2025). Quality management and certified medical physicist's role in radiology for radiation dose optimisation. *Radioprotection*, 60(1), 9–19. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2024024>
- Yeom, H. G., Kim, J. E., Huh, K. H., Yi, W. J., & Heo, M. S. (2020). Development of panorama resolution phantom for comprehensive evaluation of the horizontal and vertical resolution of panoramic radiography. *Scientific Reports*, 10, Article 16384. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73639-3>