

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



KOMPARASI PERFORMA MONITOR RADIASI GAMMA DALAM PEMANTAUAN RADIASI *REAL-TIME*

Rokhmat Arifianto¹, Robi Sulaiman², Slamet³, Ricard Parulian Hutabarat⁴,
Roni Cahya Ciputra⁵, Frederikus Dian Indrastomo⁵

¹Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia – BRIN

Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10340

²Pusat Riset Teknologi Industri Proses dan Manufaktur – BRIN,

K.S.T. B.J. Habibie Gd. Energi 625, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314

³Direktorat Politeknik Teknologi Nuklir – BRIN

Jl. Babarsasi PO Box 6101 YKBB, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

⁴Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi – BRIN

K.S.T. G. A. Siwabessy, Pasar Jumat, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12440

⁵Pusat Riset Teknologi Daur Bahan bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif – BRIN,

K.S.T. B.J. Habibie Gd. 720, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314

email: fred002@brin.go.id

(Naskah diterima: 02–09–2023, Naskah direvisi: 23–09–2023, Naskah disetujui: 08–10–2023)

ABSTRAK

KOMPARASI PERFORMA MONITOR RADIASI GAMMA DALAM PEMANTAUAN RADIASI *REAL-TIME*. Badan Riset dan Inovasi Nasional memiliki fasilitas riset yang digunakan untuk penelitian terhadap bahan nuklir yang memiliki potensi bahaya radiasi yang dapat membahayakan pekerja. Untuk mengurangi potensi bahaya radiasi, dilakukan pemantauan radiasi secara rutin oleh pekerja. Untuk mengoptimalkan pemantauan radiasi tersebut, dilakukan pengembangan 3 (tiga) buah monitor radiasi dengan menggunakan 1 (satu) detektor radiasi Sintilasi (S) dan 2 (dua) buah detektor GM (GM dan GMT) yang nantinya dapat terpasang dan memantau radiasi secara *real-time*. Pengujian terhadap 3 (tiga) monitor radiasi yang dikembangkan dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui keakuratan pengukuran masing-masing monitor radiasi. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian regresi linear untuk mendapatkan model konversi dari satuan cacah per detik ke satuan mikrosievert per jam. Selain itu, dilakukan pengujian ANOVA untuk melihat apakah ada perbedaan signifikan antara pengukuran laju dosis dari ketiga monitor radiasi dibandingkan dengan surveymeter yang telah terkalibrasi. Pengujian Tukey HSD dilakukan untuk menguji masing-masing monitor radiasi hasil pengembangan dan dibandingkan dengan surveymeter yang terkalibrasi. Hasil pengujian regresi linear antara surveymeter (GS) dengan ketiga monitor radiasi didapatkan koefisien determinasi diatas 0,95. Pengujian ANOVA yang dilakukan didapatkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata hasil pengukuran laju dosis radiasi yang signifikan dari masing masing monitor radiasi. Hasil pengujian Tukey HSD menunjukkan bahwa hanya salah satu monitor radiasi yang memiliki rata-rata nilai pengukuran laju dosis radiasi yang tidak berbeda secara signifikan dengan rata-rata nilai pengukuran laju dosis radiasi dari surveymeter terkalibrasi. Oleh karena itu monitor radiasi GMT yang telah dikembangkan merupakan monitor radiasi yang telah layak untuk digunakan dalam pemantauan radiasi pada fasilitas riset bahan nuklir.

Kata kunci: Detektor radiasi, regresi linear, ANOVA.

ABSTRACT

COMPARISON OF GAMMA RADIATION MONITOR PERFORMANCE IN REAL-TIME RADIATION MONITORING. *The National Research and Innovation Agency has a research facility used for research on nuclear materials that have potential radiation hazards that can endanger workers. To reduce the potential radiation hazard, radiation monitoring is carried out routinely by workers. To optimize radiation monitoring, three (3) radiation monitors were developed using 1 (one) Synthylation (S) radiation detector and 2 (two) GM detectors (GM and GMT) which can later be installed and monitor radiation in real-time. Testing of the 3 radiation monitors developed was carried out in this study to determine the measurement accuracy of each radiation monitor. The tests carried out were linear regression tests to obtain a conversion model from units of counts per second to units of microsivert per hour. In addition, ANOVA testing was conducted to see if there was a significant difference between the dose rate measurements from the three radiation monitors compared to the calibrated surveymeter. Tukey HSD testing was carried out to test each of the developed radiation monitors and compared with a calibrated surveymeter. The results of linear regression testing between the surveymeter (GS) and the three radiation monitors obtained a coefficient of determination above 0.95. ANOVA testing conducted found that there was a significant difference in the average radiation dose rate measurement results from each radiation monitor. Tukey HSD test results show that only one of the radiation monitors has an average radiation dose rate measurement value that is not significantly different from the average radiation dose rate measurement value of the calibrated surveymeter. Therefore, the GMT radiation monitors that have been developed are radiation monitors that are suitable for use in radiation monitoring at nuclear materials research facilities.*

Keywords: *Radiation detector, linear regression, ANOVA.*

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time*
(Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat,
Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

PENDAHULUAN

Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN)-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) merupakan organisasi non-struktural yang mewadahi penelitian dan pengembangan serta penyelenggaraan di bidang ketenaganukliran. Beberapa kawasan riset BRIN, salah satunya di lingkungan Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) memiliki beberapa fasilitas penunjang riset antara lain Laboratorium Kimia, Instalasi Pengolahan Limbah, dan *Pilot Plant* Pemisahan LTJ, Uranium dan Thorium (PLUTHO). Fasilitas tersebut dipergunakan untuk kegiatan riset bahan nuklir.

Setiap pelaksanaan riset di BRIN selalu didasarkan oleh analisis risiko keselamatan. Hampir setiap kegiatan ORTN-BRIN melibatkan sumber radioaktif. Bahaya sumber radioaktif dapat berefek bagi pekerja, karena dapat menyebabkan kanker pada organ tubuh [1]. Riset yang berhubungan dengan unsur uranium dan anak luruhnya dapat menyebabkan kerusakan pada organ seperti paru-paru yang diakibatkan dari paparan radiasi [2], kulit dan organ lainnya. Hal ini termasuk riset pada lokasi yang memiliki nilai radioaktivitas alami yang tinggi, seperti pada area eksplorasi uranium sebagai bahan nuklir di Kalan dan Mamuju juga memiliki risiko keselamatan [3]–[9]. Pada kasus fasilitas riset bahan nuklir, pada tahun 2020 hasil pemantauan radiasi gamma di fasilitas riset PLUTHO memiliki potensi bahaya radiasi paling tinggi, yaitu sebesar 11,63 mikrosievert/jam ($\mu\text{Sv/h}$), selain itu fasilitas pengolahan limbah memiliki potensi bahaya radiasi tertinggi kedua. Nilai tersebut lebih tinggi dibanding nilai batas laju dosis yang direkomendasikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), yaitu sebesar 10 $\mu\text{Sv/h}$ [10].

Untuk mengurangi potensi bahaya radiasi, maka kegiatan rutin yang dilakukan adalah pemantauan radiasi di fasilitas yang dikelola oleh DPFK agar lingkungan dan pekerja dapat terus terpantau dan melakukan respon yang cepat dalam penanganan bahaya radiasi. Untuk mengoptimalkan pemantauan radiasi tersebut, maka dilakukanlah kegiatan perkerjasama monitor radiasi *real-time* yang menghasilkan 3 (tiga) buah monitor radiasi gamma dari pengembangan, yaitu monitor radiasi dengan jenis detektor Sintilasi dan Geiger Mueller.

Pengembangan yang dilakukan antara lain membuat monitor radiasi tersebut dapat dipantau secara *real-time* dengan data yang langsung tersimpan pada komputer peladen.

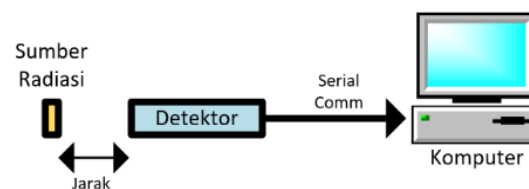
Sebelum monitor radiasi hasil pengembangan tersebut dipasang pada lokasi pemantauan, maka perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk melihat keandalan alat tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap ketiga monitor radiasi yang dikembangkan menggunakan pengujian regresi linear konversi dari satuan cacah per detik atau *count per second* (cps) ke satuan $\mu\text{Sv/h}$, pengujian ANOVA, dan pengujian Tukey HSD terhadap surveymeter standar. Tujuan dari pengujian ini adalah mendapatkan monitor radiasi yang akurat untuk mengukur laju dosis radiasi *real-time* di fasilitas riset bahan nuklir.

METODOLOGI

a. Data

Pengambilan data dilakukan secara terpisah untuk masing-masing monitor radiasi. Monitor radiasi yang digunakan berjumlah tiga unit. Ketiga monitor radiasi tersebut antara lain: monitor radiasi 1 menggunakan detektor sintilasi disebut monitor radiasi S; monitor radiasi 2 menggunakan detektor Geiger Mueller dinamakan monitor radiasi GM; dan monitor radiasi 3 menggunakan detektor Geiger Mueller tiga tabung dinamakan monitor radiasi GMT. Selanjutnya, ketiga monitor radiasi tersebut akan dibandingkan dengan surveymeter standar Gamma Scout (GS).

Beberapa peralatan pendukung lainnya yang digunakan antara lain: sumber radiasi standar, komputer dan pengukur jarak. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cs-137 yang merupakan pemancar gamma. Aktivitas sumber radiasi yang digunakan adalah 0,1 μCi pada tahun 2019. Tata laksana kegiatan ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata laksana pengambilan data

Pengambilan data dilakukan secara terpisah untuk masing-masing monitor radiasi. Setiap monitor radiasi akan diletakkan dengan jarak bervariasi dari sumber radiasi dengan

interval 1 cm, mulai dari 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, hingga 10 cm. Pengukuran dilakukan sebanyak 30 kali pada setiap interval jarak, sehingga pada pengukuran satu detektor akan diperoleh 330 data pengukuran. Penggunaan data tersebut dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah data pada interval jarak 0-2 cm dan 4-10 cm akan digunakan untuk perhitungan regresi linear. Kelompok data lainnya, yaitu data pengukuran pada interval 3 cm, digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi ketiga monitor radiasi bila dibandingkan dengan surveymeter standar. Pemisahan dilakukan agar data yang digunakan untuk evaluasi akurasi monitor radiasi tidak mengintervensi analisis regresi linear. Selain itu, pengukuran pada jarak 3 cm pada penelitian ini menghasilkan nilai cps yang tidak terlalu rendah dan tidak terlalu tinggi.

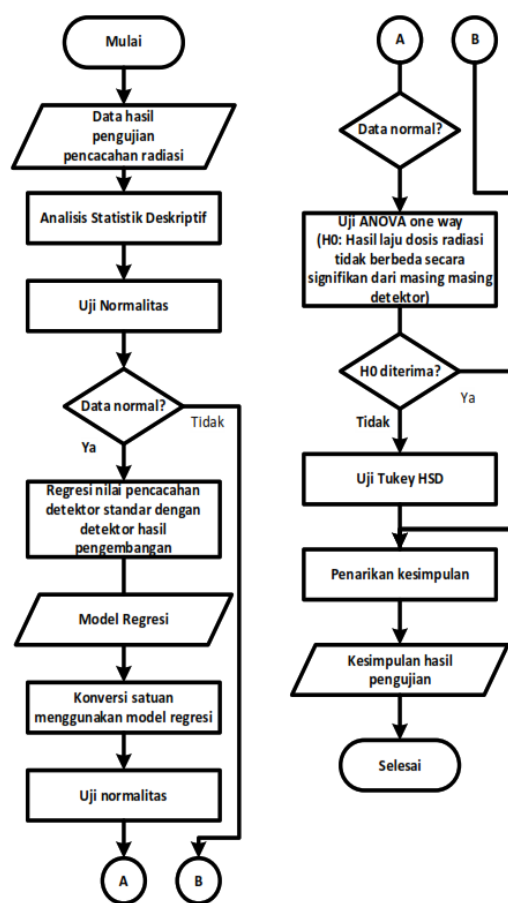
b. Metode

Data hasil pengukuran akan melalui beberapa pengujian dengan menggunakan metoda statistik, antara lain analisis statistik deskriptif, uji normalitas, uji regresi linear, uji ANOVA, dan uji *Tukey Honest Significant Difference* (Tukey-HSD). Tahapan pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengukuran nilai laju dosis radiasi pada surveymeter GS menggunakan satuan $\mu\text{Sv/h}$, sementara monitor radiasi S, GMT, dan GM menggunakan satuan cps. Pada umumnya, detektor untuk pemantauan atau proteksi radiasi memiliki keluaran pembacaan nilai dalam satuan $\mu\text{Sv/h}$, oleh karena itu hasil pembacaan pada detektor pengembangan harus dikonversi dari cps ke $\mu\text{Sv/h}$. Konversi satuan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian regresi linear. Sementara itu, untuk menguji keakuratan pengukuran monitor radiasi, maka perlu membandingkan hasil pengujian dengan surveymeter yang telah terkalibrasi. Pada kegiatan ini surveymeter yang telah terkalibrasi adalah surveymeter GS. Secara statistik, pengujian dilakukan dengan menggunakan uji ANOVA. Hasil pengukuran detektor pengembangan harus memiliki nilai rerata yang sama dengan detektor standar.

Tahapan awal yang dilakukan adalah pengumpulan data hasil pencacahan radiasi. Setelah data disiapkan, maka dilanjutkan dengan melakukan analisis statistik deskriptif. Tujuan dalam menganalisis secara deskriptif adalah untuk mengetahui nilai pemusatan (*mean*, median, modus) dan nilai penyebaran

(standar deviasi, varians). Selain itu, karakteristik data tersebut dapat dilihat berdasarkan *skewness* dan kurtosisnya. Nilai kurtosis digunakan untuk mengetahui keruncingan puncak suatu persebaran data. Apabila suatu kurva menunjukkan distribusi normal, maka kurtosis tersebut dapat disebut juga mesokurtik. Sedangkan apabila kurva meruncing akan disebut leptokurtik dan apabila lebih menyebar disebut juga platikurtik [11].



Gambar 2. Diagram alir metode pelaksanaan pengujian.

Selanjutnya, uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data tersebut tersebar secara normal. Pengujian dilakukan dengan metode *Shapiro-Wilk*. Metode tersebut memungkinkan digunakan karena setiap interval pengukuran memiliki 30 data, sehingga satu detektor akan memiliki 300 data. Perhitungan nilai uji kenormalan *Shapiro-Wilk* menggunakan persamaan (1).

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time*
 (Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat,
 Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{1}$$

Nilai a_i merupakan nilai dari tabel koefisien *Shapiro-Wilk*. Nilai x_i merupakan nilai cacahan radiasi pada pengujian ke i . Nilai \bar{x} merupakan nilai rata-rata dari laju cacahan radiasi. Sementara itu, W merupakan nilai *Shapiro-Wilk* [12]. Pada pengujian normalitas ini, level signifikan yang digunakan adalah 5% ($\alpha=0,05$). Ketentuan dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

- $H_0 : W < W_{0,05}$ (Data terdistribusi normal)
- $H_0 : W \geq W_{0,05}$ (Data terdistribusi tidak normal)

Data yang telah diuji normalitas, kemudian dilanjutkan ke tahap pengujian regresi apabila hasil uji normalitas adalah normal. Namun apabila data tidak normal maka data tersebut tidak dapat digunakan untuk mencari model regresi. Pengujian regresi dilakukan untuk mendapatkan model yang akan digunakan sebagai nilai konversi dari satuan cps ke satuan $\mu\text{Sv/h}$. Model regresi linear dapat dicari menggunakan persamaan (2)-(4) [13]. Setelah mendapatkan model regresi, pengujian *goodness of fit* menggunakan uji F dilakukan untuk menentukan jenis model yang paling sesuai. Uji tersebut digunakan untuk mengecek apakah keseluruhan model regresi signifikan secara statistic. [14] Untuk menghitung nilai F , maka perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (5). Nilai signifikansi untuk uji F dalam penentuan regresi ini adalah sebesar 5% ($\alpha=0,05$). Kriteria hipotesis diterima atau ditolak pada uji F adalah sebagai berikut.

- $H_0 : F < F_{0,05} (Y = b)$
- $H_0 : F \geq F_{0,05} (Y = b + m.X)$

Hipotesis nol (H_0) untuk uji F dalam regresi ini adalah bahwa nilai $Y = b$, sedangkan hipotesis alternatifnya (H_1) adalah $Y = b + m.X$. Hipotesis nol akan diterima apabila nilai F kurang dari batas kritis yang diharapkan, atau nilai $p\text{-value} > 0.05$.

$$m = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{2}$$

$$b = \frac{(\sum y)}{n} - m \frac{(\sum x)}{n} \tag{3}$$

$$y = mx + b \tag{4}$$

$$F = \frac{\text{Mean Square Regression}}{\text{Mean Square Residual}} \tag{5}$$

Selanjutnya, untuk mengetahui apakah nilai laju cacahan yang ditunjukkan oleh monitor radiasi hasil pengembangan dengan laju dosis radiasi yang ditunjukkan oleh surveymeter terkalibrasi saling berketerkaitan kuat, maka hal tersebut dapat dilihat dengan nilai koefisien determinasi (R^2), dengan perhitungan menggunakan persamaan (6). Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 mengindikasikan keterkaitan nilai laju cacahan radiasi dengan nilai laju dosis radiasi yang sangat kuat.

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \tag{6}$$

Model regresi linear yang telah didapat tidak sepenuhnya sama dengan nilai pembacaan sesungguhnya. Terdapat *error* antara nilai laju dosis radiasi yang dikalkulasikan dengan model regresi linear dengan nilai laju dosis sesungguhnya. *Error* dalam model regresi linear tersebut sering juga disebut *residual*. Untuk mengetahui sejauh mana *error* yang dihasilkan maka dilakukan pengujian *residual statistics*.

Apabila pengujian regresi telah selesai dilaksanakan, maka tahapan selanjutnya adalah pengujian ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat nilai *mean* laju dosis radiasi yang berbeda secara signifikan antara satu detektor dengan detektor lain. Pada pengujian ANOVA ini sampel yang digunakan adalah data hasil pengukuran radiasi oleh setiap monitor radiasi dengan jarak 3 cm dari sumber radiasi. Nilai laju cacahan dari monitor radiasi hasil pengembangan kemudian dimasukkan dalam model regresi yang telah didapatkan. Hal tersebut dilakukan agar data yang digunakan dalam uji ANOVA ini memiliki satuan yang sama, yaitu $\mu\text{Sv/h}$.

Namun, sebelum dilakukan uji ANOVA dilakukan pengujian normalitas data kembali untuk sampel yang akan diuji ANOVA. Pengujian normalitas data ini memiliki metode yang sama dengan yang telah dibahas sebelumnya, yaitu menggunakan metode *Shapiro-Wilk* dengan Persamaan 1. Apabila data tersebut normal, maka uji ANOVA dapat dilanjutkan. Pada pengujian ANOVA ini, diasumsikan bahwa data sampel memiliki varians yang sama.

Metode ANOVA yang digunakan adalah *One Way ANOVA*. Pengujian ini bertujuan mengetahui apakah terdapat perbedaan

pengukuran laju dosis radiasi dari satu monitor dengan monitor radiasi lainnya. Pengambilan keputusan anova diambil berdasarkan perhitungan RU_f seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 7. Nilai T adalah jumlah total sampel pengukuran dan k adalah jumlah populasi. Nilai n merupakan jumlah anggota sampel pengukuran laju dosis radiasi masing masing monitor radiasi dan \bar{x} merupakan *mean* dari sampel tersebut. Nilai $\bar{\bar{x}}$ merupakan nilai *mean* dari seluruh sampel yang ada. Nilai d merupakan *mean square error* dari masing masing sampel pengukuran laju dosis radiasi dari setiap monitor radiasi.

Hipotesis nol pada pengujian ANOVA ini adalah *mean* pengukuran laju dosis radiasi dari satu monitor radiasi dan monitor radiasi lain tidak memiliki perbedaan yang signifikan ($H_0: \mu_{GS} = \mu_S = \mu_{GMT} = \mu_{GM}$). Sementara itu, hipotesis alternatifnya adalah adanya perbedaan yang signifikan antara *mean* pengukuran dari monitor radiasi satu dan monitor radiasi lainnya ($H_1: \mu_{GS} \neq \mu_S \neq \mu_{GMT} \neq \mu_{GM}$). Pada pengujian ini level signifikansi yang diterapkan adalah sebesar 5% ($\alpha=0,05$). Penentuan batas kritis dari pengujian ini diambil dari tabel F dengan memperhitungkan derajat kebebasan pembilang ($df1 = k - 1$), derajat kebebasan penyebut 4 ($df2 = T - k$) dan tingkat signifikansi. Hipotesis nol akan diterima apabila nilai RU_f yang didapat masih dibawah dari batas kritis yang ditentukan ($H_0: RU_f < RU_{f(0,05)}$).

$$RU_f = \frac{\hat{\sigma}_{antara}}{\hat{\sigma}_{dalam}} = \frac{\frac{n_1(\bar{x}_1 - \bar{\bar{x}})^2 + n_k(\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2}{k-1}}{\frac{\sum d_1^2 + \sum d_k^2}{T-k}} \quad (7)$$

Apabila pengujian ANOVA mendapatkan hasil hipotesis nol ditolak, maka pengujian tambahan dilakukan. Pengujian yang dilakukan selanjutnya adalah untuk mengetahui monitor radiasi mana saja yang tidak memiliki *mean* pengukuran yang berbeda dari surveymeter terkalibrasi (GS). Metode pengujian yang digunakan adalah Tukey HSD, dengan level signifikansi sebesar 5% ($\alpha=0,10$). Tukey HSD menganalisis semua perbandingan pasangan himpunan data yang terbaik (*pair-wise*) di antara rata-rata [15]. Pengujian ini berfungsi untuk membandingkan hasil pengukuran detektor satu persatu. Hipotesis nol untuk pengujian ini adalah hasil pengukuran surveymeter terkalibrasi tidak berbeda secara signifikan dengan hasil pengukuran laju dosis radiasi dari monitor

radiasi S/GMT/GM ($H_0: \bar{x}_{GS} = \bar{x}_S, \bar{x}_{GS} = \bar{x}_S, \bar{x}_{GS} = \bar{x}_{GMT}, \bar{x}_{GS} = \bar{x}_{GM}$). Langkah pengujian metode tukey HSD adalah dengan cara menghitung nilai tukey menggunakan Persamaan 8.

$$Tukey = q \sqrt{\frac{\frac{\sum d_{GS}^2 + \sum d_S^2 + \sum d_{GMT}^2 + \sum d_{GM}^2}{T-k}}{n}} \quad (8)$$

Nilai q merupakan nilai yang didapatkan dari tabel q dengan mempertimbangkan level signifikansi, jumlah pengujian berdasarkan detektor, dan jumlah keseluruhan sampel pengukuran. Nilai Tukey yang didapat merupakan nilai kritis dari pengujian ini. Apabila nilai Tukey lebih besar dari nilai perbedaan *absolut mean* surveymeter GS dan monitor radiasi S/GMT/GM ($|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < Tukey$), maka hipotesis nol diterima.

Seluruh pengujian diakhiri dengan penarikan kesimpulan, apakah monitor radiasi hasil pengembangan memiliki nilai *mean* pengukuran laju dosis radiasi yang tidak berbeda secara signifikan dengan surveymeter yang telah terkalibrasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Statistik Deskriptif

Perhitungan yang dilakukan meliputi pemusatan data, persebaran data, serta bentuk persebaran data dengan menggunakan histogram. Nilai interval kelas untuk histogram didapatkan dari perhitungan mengikuti *Sturge's Rule* [16]. Pengujian statistik deskriptif menggunakan aplikasi SPSS.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *mean*, median dan modus dari pengukuran laju dosis radiasi yang dilakukan masing masing detektor memiliki nilai yang hampir sama (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai tersebut terpusat dan terdistribusi secara normal. Selain itu, distribusi persebaran data menunjukkan bahwa sebaran data mengikuti distribusi normal.

Persebaran data secara normal juga didukung dengan data *skewness* dan kurtosis. Nilai *skewness* yang didapatkan bervariasi namun masih dalam rentang $\pm 0,8$. *Skewness* dapat dikatakan normal apabila masih dalam rentang $\pm 0,5$. Beberapa data hasil pengukuran memiliki kemiringan pada bentuk distribusinya. Dari data yang ada, dapat dilihat bahwa data pengukuran laju dosis yang menggunakan monitor radiasi GM

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time*
 (Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat,
 Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

dengan jarak 2 cm memiliki nilai *skewness* paling besar, yaitu 0,889, hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi data lebih condong ke sebelah kanan. Distribusi data yang condong ke kanan disebut sebagai distribusi *positively skewed* atau *right-*

skewed dan mengarah ke arah nilai yang lebih besar pada sumbu nilai. Ini memberikan kesan bahwa distribusi data lebih panjang ke arah nilai-nilai yang lebih tinggi. Sehingga beberapa analisis perlu dilakukan penyesuaian sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

Tabel 1. Statistik deskriptif sederhana sampel pengukuran detektor GS, S, GMT, dan GM.

Jarak (cm)	0	1	2	4	5	6	7	8	9	10
Jumlah data	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Jenis Detektor	Gamma Scout									
Mean	16,5063	9,4771	5,16867	2,31293	1,90573	1,3408	1,06927	0,8965	0,8001	0,69387
Median	16,48667	9,4705	5,165	2,31067	1,9135	1,339	1,06317	0,88333	0,8	0,6915
Modus	16,426	9,168	5,107	2,112	1,873	1,373	1,033	0,876	0,717	0,717
Skewness	0,158	-0,046	-0,008	-0,023	-0,177	-0,016	0,353	0,659	-0,072	0,085
Kurtosis	-0,511	-1,099	-0,442	-0,398	-1,076	-0,617	0,556	0,028	-0,887	-0,497
Jenis Detektor	Sintilasi									
Mean	2472,277	1220,897	739,597	363,78	274,46	229,847	170,947	141,123	115,287	97,61
Median	2474,2	1222,3	739,15	364,2	275,1	230,05	171,133	141,65	114,7	97,65
Modus	2449,5	1224,8	723,2	354,2	274,9	229,1	168,8	144,5	113,7	97
Skewness	-0,213	-0,416	0,121	0,074	-0,436	0,066	-0,47	-0,068	0,326	-0,601
Kurtosis	-0,413	-0,191	-0,693	-0,578	0,463	-0,829	0,076	-0,888	-0,295	1,467
Jenis Detektor	GMT									
Mean	95,6	46,8667	28,5667	14,5333	11,6333	9,7333	7,9	6,8667	5,8	4,7667
Median	95	46,4	28,4286	14,3333	11,4667	9,5455	8	6,75	5,875	4,4615
Modus	85	43	28	14	11	9	8	6	6	4
Skewness	-0,012	0,115	0,097	0,512	0,258	0,217	-0,226	0,178	-0,332	0,717
Kurtosis	-1,079	-0,866	-0,168	0,071	-0,119	-0,563	0,069	-0,941	-0,271	0,388
Jenis Detektor	GM									
Mean	101,05	54,873	34,975	18,6413	15,552	12,361	9,939	9,085	7,4173	5,6077
Median	101,66	54,796	34,83	18,0825	16,1414	12,5657	10,066	9,33	7,385	5,7571
Modus	94	55	37,33	17,66	16,33	12,66	8,66	9,66	7	6
Skewness	0,37	0,567	0,889	0,12	-0,179	-0,044	-0,105	0,174	-0,153	-0,033
Kurtosis	-0,048	-0,081	1,629	-0,711	-0,673	-0,525	-0,933	-0,482	-0,376	-0,118

Nilai kurtosis didapatkan pada rentang -1 sampai dengan +1,6. Nilai tersebut diperoleh dari nilai *excess kurtosis*. Nilai tersebut merupakan hasil pengurangan sebanyak 3 angka dari nilai kurtosis sesungguhnya [17]. Dari keseluruhan nilai kurtosis yang didapatkan, Mayoritas data mendekati distribusi normal atau mesokurtik, namun, adanya beberapa bagian data yang menunjukkan nilai platikurtik dan leptokurtik

mengartikan variasi atau ekstremisme tertentu yang perlu diperhatikan saat melakukan analisis atau membuat interpretasi terkait data tersebut seperti yang ditunjukkan oleh nilai pengukuran dengan menggunakan monitor radiasi GM saat sumber berjarak 2 cm. Kurva distribusi yang terbentuk mendekati jenis platikurtik, karena nilai *excess kurtosis* yang didapatkan adalah sebesar 1,6.

b. Uji Normalitas

Setelah analisis statistik deskriptif, analisis pengujian normalitas dilakukan pada 30 sampel data tersebut. Analisis data menggunakan metode *Shapiro-Wilk* (W) di aplikasi SPSS. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian normalitas data menggunakan metode *Shapiro-Wilk* dengan level signifikansi 5%

Detektor	Jarak	W	<i>p-value</i>	Distribusi Data
Gamma Scout (GS)	0	0,969	0,511	Normal
	1	0,955	0,228	Normal
	2	0,973	0,623	Normal
	4	0,977	0,751	Normal
	5	0,959	0,294	Normal
	6	0,980	0,825	Normal
	7	0,972	0,602	Normal
	8	0,952	0,194	Normal
	9	0,976	0,707	Normal
	10	0,976	0,698	Normal
Sintilasi (S)	0	0,965	0,422	Normal
	1	0,965	0,406	Normal
	2	0,972	0,582	Normal
	4	0,973	0,615	Normal
	5	0,964	0,394	Normal
	6	0,964	0,385	Normal
	7	0,981	0,863	Normal
	8	0,973	0,630	Normal
	9	0,965	0,416	Normal
	10	0,964	0,398	Normal
Geiger Muller (GMT)	0	0,963	0,377	Normal
	1	0,957	0,255	Normal
	2	0,988	0,973	Normal
	4	0,956	0,249	Normal
	5	0,952	0,188	Normal
	6	0,960	0,301	Normal
	7	0,962	0,348	Normal
	8	0,933	0,058	Normal
	9	0,936	0,070	Normal
	10	0,944	0,116	Normal
Geiger Mueller (GM)	0	0,968	0,477	Normal
	1	0,959	0,284	Normal
	2	0,951	0,184	Normal
	4	0,975	0,696	Normal
	5	0,953	0,201	Normal
	6	0,970	0,536	Normal
	7	0,971	0,574	Normal
	8	0,954	0,219	Normal
	9	0,980	0,832	Normal
	10	0,982	0,878	Normal

Pengujian ini menggunakan level signifikansi sebesar 5% ($\alpha=0,05$), dengan hipotesis bahwa nilai nol menunjukkan data terdistribusi normal (H_0 : data normal). Sementara itu, hipotesis alternatifnya adalah data tidak terdistribusi normal (H_1 : data tidak normal). Ketentuan untuk menerima

hipotesis nol adalah nilai *p-value* harus lebih besar dibanding level signifikansi (*p-value* > 0,05). Hasil perhitungan nilai *Shapiro-Wilk* (W) kemudian dikonversi menjadi nilai *p-value* dengan bantuan tabel W *Shapiro-Wilk* [12]. Hasil pengujian menunjukkan nilai *p-value* berada pada kisaran 0,194–0,825 pada surveymeter GS, 0,385–0,863 pada monitor radiasi S, 0,058–0,973 pada monitor radiasi GMT, dan 0,184–0,832 pada monitor radiasi GM. Seluruh data yang diuji memiliki distribusi normal pada level signifikansi 5% (*p-value* > 0,05).

c. Uji Regresi Linear

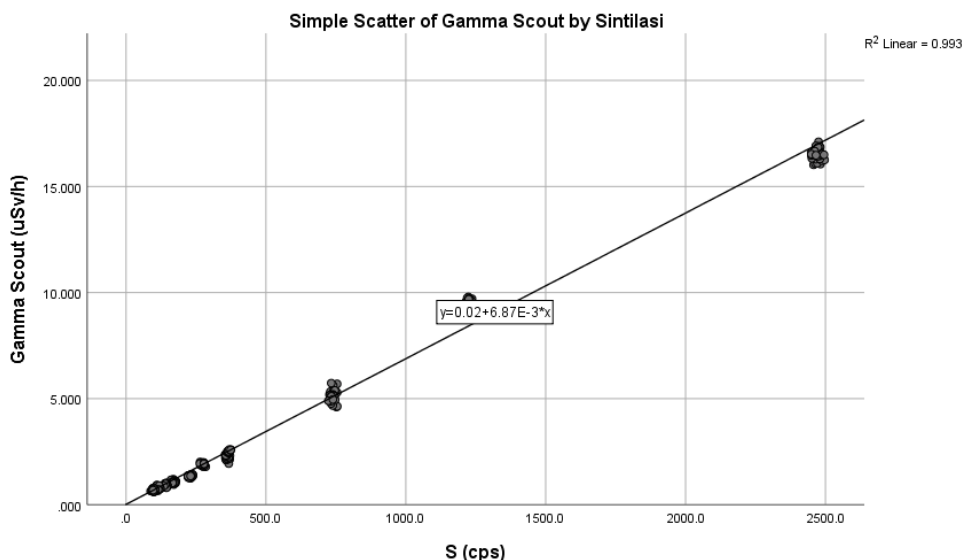
Ketiga monitor radiasi hasil pengembangan, masih menggunakan satuan cps dalam pengukuran laju dosis radiasi sehingga monitor radiasi tersebut harus memiliki faktor konversi satuan dari cps ke $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Untuk mendapatkan nilai konversi, maka hasil pengukuran laju dosis radiasi yang dilakukan oleh monitor radiasi harus dibandingkan dengan surveymeter yang telah terkalibrasi. Pada pengujian ini surveymeter yang digunakan adalah *Gamma Scout* (GS). Kemudian satu persatu monitor radiasi akan diregresikan dengan detektor standar, sehingga menghasilkan model regresi yang merupakan nilai konversi dari satuan cps ke $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Pada pengujian regresi tersebut, data hasil pengukuran surveymeter GS merupakan *dependent variable*, sedangkan data hasil pengukuran monitor radiasi adalah *independent variable*. Data yang digunakan untuk pengujian regresi adalah 300 data hasil pengukuran masing-masing monitor radiasi. Data tersebut telah diuji statistik deskriptif serta telah diuji kenormalan datanya menggunakan metode *Shapiro-Wilk*.

Pengujian regresi pertama dilakukan antara surveymeter GS (*dependent variable*) dengan monitor radiasi S sebagai *independent variable*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2 sampai 4 sehingga didapatkanlah model regresi untuk surveymeter GS dan monitor radiasi S yaitu $y = 0,00687x + 0,02$ seperti terlihat pada Gambar 3. Model tersebut menunjukkan bahwa untuk mengkonversi nilai cps hasil pengukuran monitor radiasi S, maka hasil pengukuran harus dikalikan dengan 0,00687 kemudian ditambah 0,02. Dari hasil pengujian regresi juga didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) yang dihitung menggunakan Persamaan 6 adalah sebesar

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time*
 (Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat,
 Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

0,993. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 99.3% variasi data sumbu y, dapat dijelaskan menggunakan sumbu x dengan menghitung berdasarkan model yang didapat. Koefisien

korelasi yang didapat dari regresi tersebut adalah sebesar $R = 0,9963$. Hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai x dan y memiliki korelasi yang sangat kuat.



Gambar 3. Hasil pengujian regresi antara detektor GS dan S.

Setelah pengujian regresi dilakukan, maka model yang telah didapatkan diuji dengan menggunakan *goodness of fit* menggunakan Persamaan 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai F adalah sebesar 40262,245 dengan $df_1 = 1$ dan $df_2 = 298$, maka nilai *p-value* yang didapatkan adalah 0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa Hipotesis nol ditolak, karna nilai *p-value* lebih kecil dibanding level signifikansi ($p-value < \alpha$, H_0 ditolak). Maka pengujian *goodness of fit* ini memberikan validasi bahwa model yang lebih fit untuk regresi ini adalah $Y = b + m.X$.

Tabel 3. Pengujian *goodness of fit* untuk regresi surveymeter GS dan monitor radiasi S

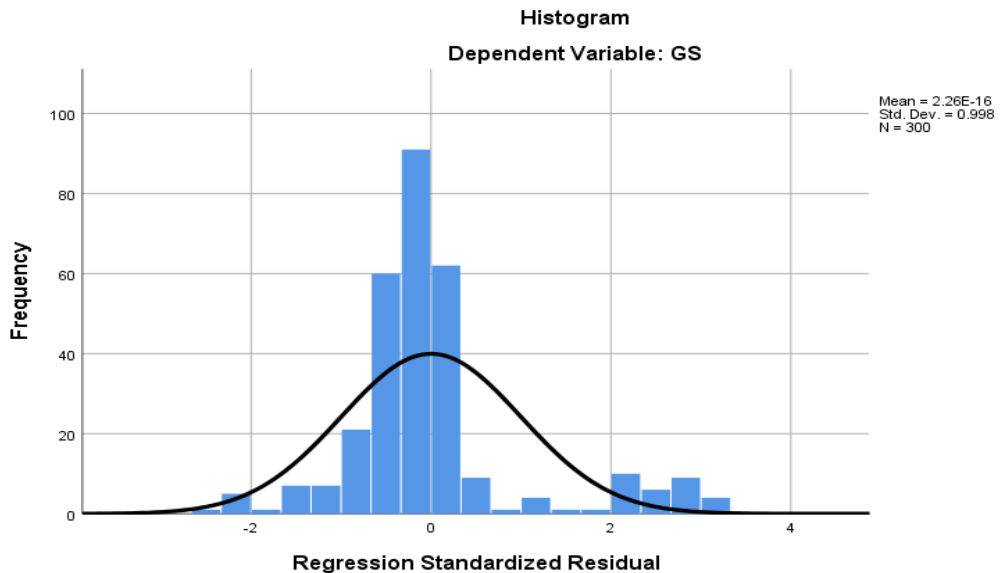
Model	Sum of Square	df	Mean Square	F	p-value
Regresi	7197,913	1	7197,913	40262,245	0
Residual	53,28	298	0,179		
Total	7251,188	299			

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk *residual statistic* dari model regresi yang didapatkan. Residual merupakan perbedaan nilai yang diprediksi oleh model dengan nilai sesungguhnya yang didapatkan oleh pengukuran dari detektor. Hasil pengujian residual ditunjukkan pada Gambar 4. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa residual yang ditunjukkan membentuk distribusi normal, namun tidak fit seluruhnya. Karena beberapa nilai terdapat *outlier* dari nilai nol. Semakin nilai residual mendekati nol, maka hasil model regresi dianggap sangat baik, karena semua titik pada hasil pengukuran dapat diprediksi dengan sesuai.

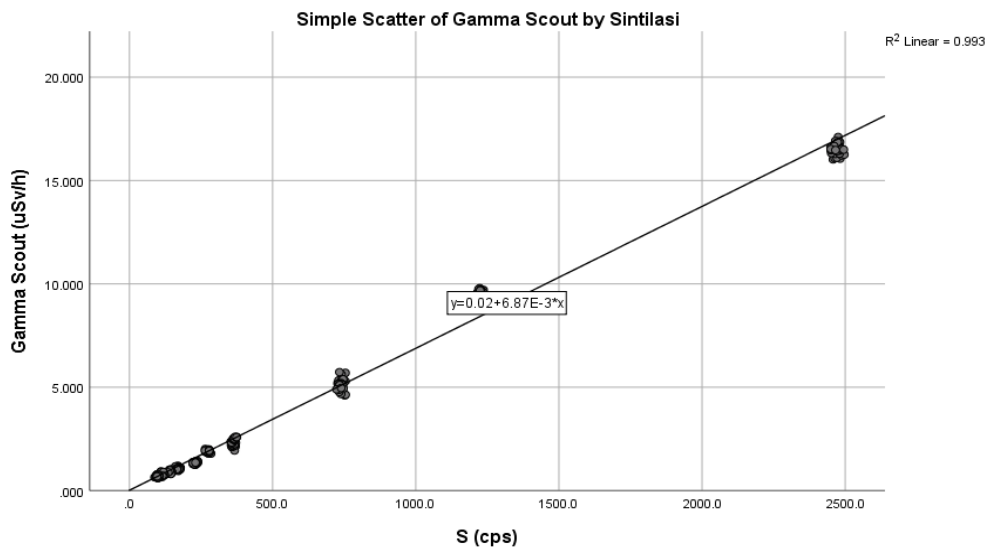
Pengujian regresi selanjutnya yaitu antara surveymeter GS (*dependent variable*) dengan monitor radiasi GMT (*independent variable*). Hasil pengujian regresi ditunjukkan pada Gambar 5. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkanlah model regresi untuk GS dan GMT yaitu $y = 0,18x - 0,11$. Model tersebut menunjukkan bahwa untuk mengkonversi nilai cps hasil pengukuran monitor radiasi GM, maka hasil pengukuran harus dikali kan dengan 0,18 kemudian dikurangi 0,11. Dari hasil pengujian regresi juga didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) yang dihitung menggunakan Persamaan 6 adalah sebesar 0,976. Nilai tersebut

menunjukkan bahwa 97,6% variasi data sumbu y, dapat dijelaskan menggunakan sumbu x dengan menghitung berdasarkan model yang didapat. Koefisien korelasi yang didapat dari regresi tersebut adalah sebesar $R=0.988$, hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai x dan y memiliki korelasi yang

sangat kuat. Setelah pengujian regresi dilakukan, maka model yang telah didapatkan diuji dengan menggunakan *goodness of fit*. Untuk mendapatkan nilai F pada uji *goodness of fit*, maka perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 5.



Gambar 4. Hasil pengujian *residual statistic* untuk model regresi GS vs S.



Gambar 5. Hasil pengujian regresi antara detektor GS dan GMT.

Hasil pengujian *goodness of fit* pada GS dan MT menunjukkan nilai F sebesar 11949,167 dengan $df_1 = 1$ dan $df_2 = 298$, sehingga nilai *p-value* yang didapatkan adalah 0 (Tabel 4). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa Hipotesis nol ditolak,

karna nilai *p-value* lebih kecil dibanding level signifikan ($p-value < \alpha$, H_0 ditolak). Maka pengujian *goodness of fit* ini memberikan validasi bahwa model yang lebih fit untuk regresi ini adalah $Y = b + m.X$.

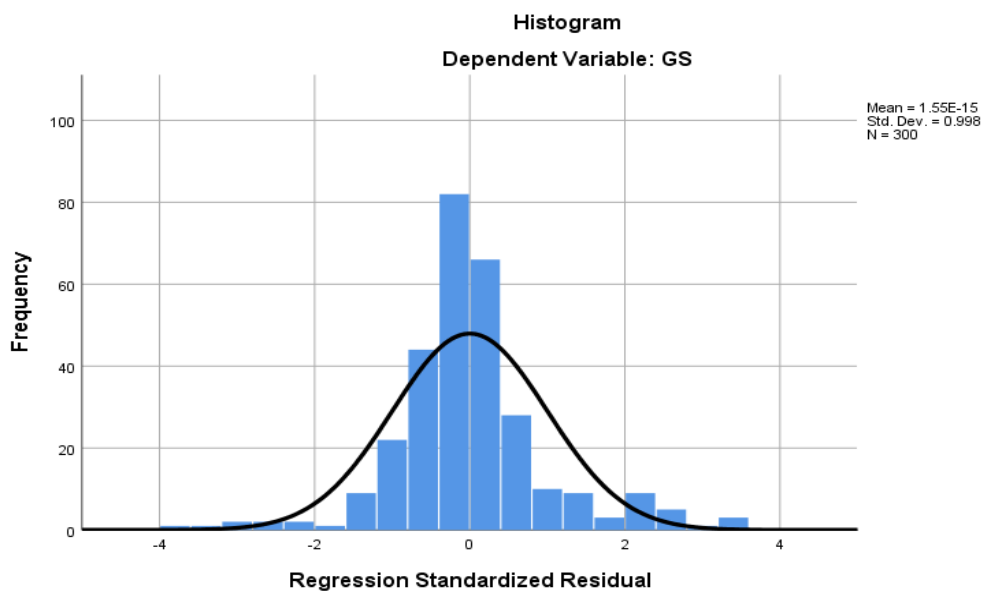
Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time* (Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat, Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

Pengujian *residual statistic* memperlihatkan bahwa residual yang ditunjukkan membentuk distribusi normal, namun tidak fit seluruhnya (Gambar 6) karena beberapa nilai terdapat *outlier* dari

nilai nol. Semakin nilai residual mendekati nol, maka hasil model regresi dianggap sangat baik, karena semua titik pada hasil pengukuran dapat diprediksi dengan sesuai.

Tabel 4. Pengujian *Goodness of Fit* untuk regresi GS dan GMT.

Model	Sum of Square	df	Mean Square	F	p-value
Regresi	7074,751	1	7074,751	11949,167	0
Residual	176,4371	298	0,592		
Total	7251,188	299			



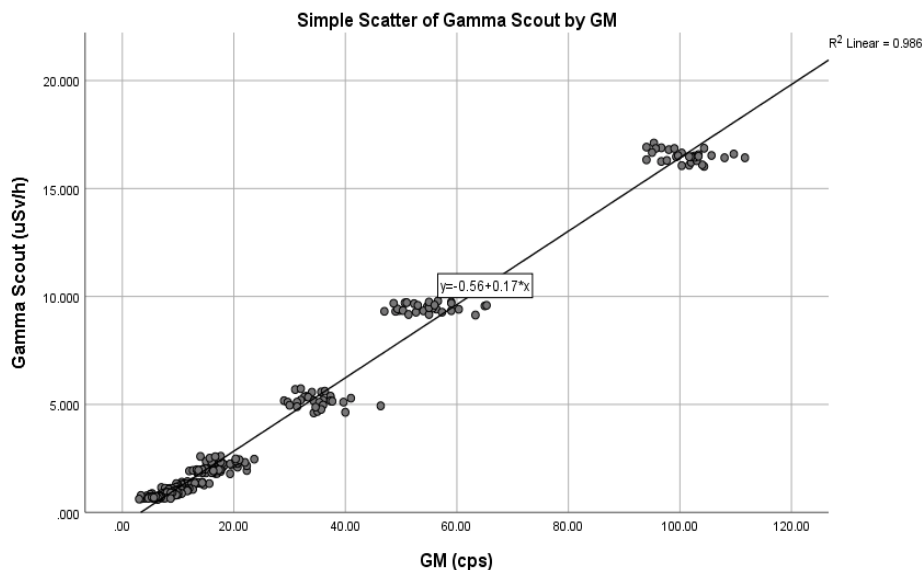
Gambar 6. Hasil pengujian *residual statistic* untuk model regresi GS vs GMT.

Pengujian regresi antara GS (*dependent variable*) dan GM (*independent variable*) menghasilkan model regresi $y = 0,17x - 0,56$ seperti terlihat pada Gambar 7. Model tersebut menunjukkan bahwa untuk mengkonversi nilai cps hasil pengukuran monitor radiasi GM, maka hasil pengukuran harus dikalikan dengan 0,17 kemudian dikurangi 0,56. Dari hasil pengujian regresi juga didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) yang dihitung menggunakan Persamaan 6 adalah sebesar 0,986. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 98,6% variasi data sumbu y, dapat dijelaskan menggunakan sumbu x dengan menghitung berdasarkan model yang didapat. Koefisien korelasi yang didapat sebesar $R = 0,993$. Hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai x dan y memiliki korelasi yang sangat kuat.

Hasil pengujian model menggunakan *goodness of fit* menggunakan Persamaan 5, didapatkan nilai F adalah sebesar 21104,753 dengan $df_1 = 1$ dan $df_2 = 298$, maka nilai

p-value yang didapatkan adalah 0 (Tabel 5). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa Hipotesis nol ditolak, karna nilai *p-value* lebih kecil dibanding level signifikan ($p-value < \alpha$, H_0 ditolak). Maka pengujian *goodness of fit* ini memberikan validasi bahwa model yang lebih fit untuk regresi ini adalah $Y = b + m.X$.

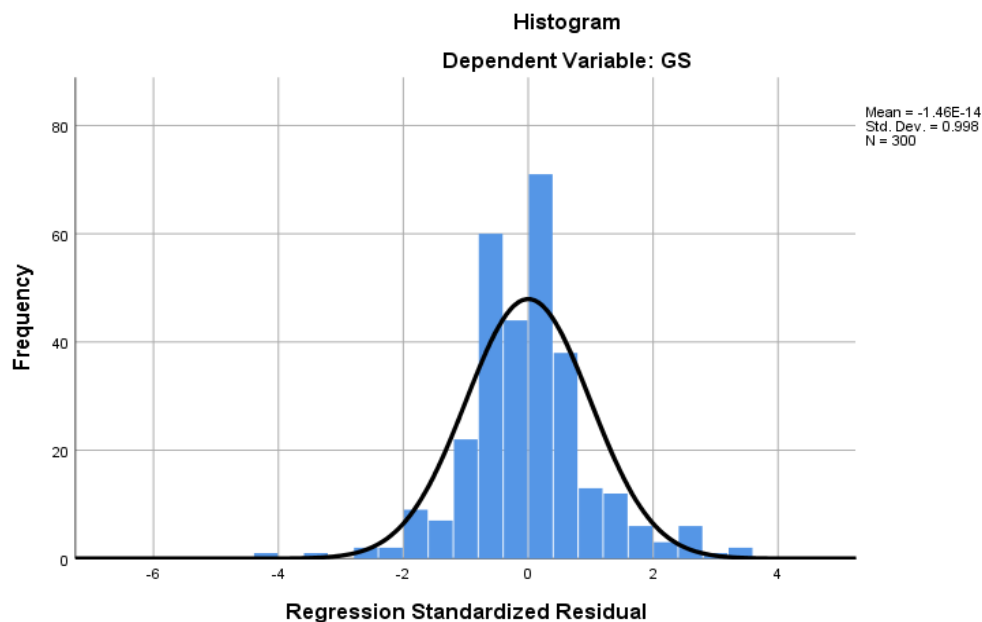
Selanjutnya, pengujian *residual statistic* dari model regresi yang telah diperoleh memperlihatkan bahwa residual yang ditunjukkan membentuk distribusi normal, namun tidak fit seluruhnya (Gambar 8). Karena beberapa nilai terdapat *outlier* dari distribusi normal yang seharusnya (garis hitam pada grafik). Semakin nilai residual mendekati nol, maka hasil model regresi dianggap sangat baik, karena semua titik pada hasil pengukuran dapat diprediksi dengan sesuai. Namun apabila nilai residual mendekati distribusi normal, maka dapat disimpulkan juga bahwa model regresi telah sesuai.



Gambar 7. Hasil pengujian regresi antara GS dan GM.

Tabel 5. Pengujian *Goodness of Fit* untuk regresi detektor GS dan GM.

Model	Sum of Square	df	Mean Square	F	p-value
Regresi	7150,227	1	7150,227	21104,753	0
Residual	100,962	298	0,339		
Total	7521,188	299			



Gambar 8. Hasil pengujian residual statistic untuk model regresi GS vs GM.

Setelah model regresi didapatkan, maka selanjutnya dilakukan pengujian pengukuran laju dosis radiasi kembali menggunakan semua detektor. Kali ini jarak dari sumber ke detektor ditentukan sejauh 3 cm. Hasil pengukuran tersebut kemudian

dimasukkan ke dalam model regresi yang telah didapatkan, maka selanjutnya semua hasil pengukuran memiliki satuan yang sama, yaitu mikrosievert per jam ($\mu\text{Sv/h}$). Hasil pengujian yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 6.

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time* (Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat, Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

Tabel 6. Hasil pengujian laju dosis radiasi dengan jarak 3 cm dari sumber.

GS ($\mu\text{Sv/h}$)	S ($\mu\text{Sv/h}$)	GMT ($\mu\text{Sv/h}$)	GM ($\mu\text{Sv/h}$)
3,523	3,309	3,310	3,520
3,341	3,399	2,770	3,690
3,370	3,373	2,950	3,802
2,784	3,351	2,770	4,426
2,995	3,377	3,310	4,370
2,611	3,319	3,670	4,200
2,861	3,246	3,490	2,670
2,746	3,386	2,950	3,122
2,851	3,340	3,490	3,632
2,822	3,360	3,310	3,010
2,842	3,302	2,770	4,256
2,918	3,357	2,410	3,520
2,976	3,399	2,770	3,236
3,043	3,310	2,950	4,200
2,909	3,311	2,590	3,746
3,024	3,381	3,850	3,520
3,149	3,360	4,570	4,426
2,966	3,275	2,410	3,632
2,976	3,267	3,310	3,576
3,053	3,325	4,030	3,462
3,043	3,351	2,590	3,632
3,091	3,341	3,130	4,256
3,139	3,329	3,310	3,520
3,197	3,340	2,770	3,860
3,178	3,313	2,950	2,896
3,139	3,276	3,670	3,406
3,130	3,366	3,490	3,690
2,746	3,338	4,030	3,292
3,168	3,319	2,950	4,142
2,822	3,441	3,130	4,256

d. Uji ANOVA

Sebelum dilakukan uji ANOVA, pengujian kenormalan data dilakukan terlebih dahulu menggunakan metode *Shapiro Wilk*. Langkah pengujian dilakukan dengan menguji 30 data dari setiap detektor pada jarak 3 cm, data ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil pengujian normalitas menunjukkan data terdistribusi normal, karena $p\text{-value} > \alpha = 0,05$ (Tabel 7).

Tabel 7. Hasil uji normalitas untuk data pengukuran sumber radiasi dengan jarak 3 cm dari detektor monitor radiasi.

Nama Alat	W	df	$p\text{-value}$	Distribusi Data
GS	0,98	30	0,831	Normal
S	0,99	30	0,988	Normal
GMT	0,953	30	0,198	Normal
GM	0,954	30	0,222	Normal

Setelah dilakukan pengujian normalitas data, maka dilanjutkan dengan pengujian ANOVA. Pada pengujian ANOVA ini, varians dari data yang digunakan diasumsikan sama. Langkah pengujian ANOVA adalah sebagai berikut.

- Menentukan hipotesis
 H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan *mean* hasil pencacahan yang dari masing masing detektor ($H_0: \bar{x}_{GS} = \bar{x}_S = \bar{x}_{GMT} = \bar{x}_{GM}$).
 H_1 : Ada perbedaan signifikan *mean* hasil pencacahan yang dari masing masing detektor ($H_1: \bar{x}_{GS} \neq \bar{x}_S \neq \bar{x}_{GMT} \neq \bar{x}_{GM}$).
- Menentukan level signifikasi $\alpha = 5\%$
- Menentukan jumlah sampel $k = 4$ (GS, S, GMT, GM)
- jumlah anggota sampel $T = 120$ sampel (30 sampel per detektor)
- Derajat kebebasan pembilang $df_1 = k - 1 = 3$
- Derajat kebebasan penyebut $df_2 = T - k = 120 - 4 = 116$
- Batas kritis:
 $F_{\alpha; df_1; df_2} = F_{0,05; 3; 116} = 2,68280945$

Perhitungan ANOVA menggunakan Persamaan 7 dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$RUF = \frac{\hat{\sigma}_{antara}}{\hat{\sigma}_{dalam}} = \frac{2,54}{0,13} = 19,3103$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai batas kritis (2,68280945) lebih kecil dari nilai Ruf (19,3103) sehingga H_0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil rata-rata pencacahan laju dosis radiasi pada keempat detektor tersebut.

e. Uji Tukey HSD

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa sebuah surveymeter dan tiga buah monitor radiasi yang diuji memiliki perbedaan nilai rata-rata yang signifikan. Namun, hasil tersebut memungkinkan ada nilai satu surveymeter dengan satu monitor radiasi yang memiliki nilai *mean* pengukuran yang tidak berbeda signifikan. Untuk mengetahui monitor radiasi mana saja yang memiliki rata-rata yang tidak berbeda signifikan dengan surveymeter GS, maka dilakukan pengujian tambahan yaitu pengujian *Tukey Honest Significant Difference* (Tukey-HSD). Tahapan pengujian yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

- Menentukan hipotesis $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ dan $H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$
- Menentukan level signifikansi: $5\% = 0,05$
- H_0 diterima apabila $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| < Tukey$
- Memasukan nilai tukey menggunakan Persamaan 8.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pasangan data hasil pengukuran surveymeter GS dan monitor radiasi GMT tidak ada perbedaan yang signifikan (Tabel 8). Hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai hasil pengukuran laju dosis radiasi dari kedua alat tersebut memiliki rata-rata yang sama ($H_0: \bar{x}_{GS} = \bar{x}_{GMT}$). Sementara itu, monitor radiasi hasil pengembangan lain seperti S dan GM masih ditemukan perbedaan hasil rata-rata pengukuran yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa monitor radiasi GMT memiliki performa yang cukup untuk digunakan dalam pemantauan radiasi. Selanjutnya untuk monitor radiasi G dan GM perlu dilakukan penyetelan ulang pada rangkaian elektronisnya.

Tabel 8. Hasil pengujian Tukey HSD.

Pasangan	$ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 $	Tukey	$ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 < Tukey$
GS-S	0,324816	0,24446	Ya
GS-GMT	0,17624	0,24446	Tidak
GS-GM	0,685193	0,24446	Ya

SIMPULAN

Pengujian *one way* ANOVA pada surveymeter radiasi dan ketiga monitor radiasi hasil pengembangan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil rata-rata pencacahan laju dosis radiasi. Pengujian Tukey HSD menunjukkan nilai pengukuran pada monitor radiasi GMT tidak menunjukkan perbedaan signifikan dengan surveymeter terkalibrasi (GS). Untuk saat ini, detektor pengembangan yang dapat digunakan untuk pemantauan radiasi *real-time* di fasilitas bahan nuklir adalah monitor radiasi GMT. Untuk selanjutnya, akan dilakukan konfigurasi ulang untuk kedua monitor radiasi lainnya agar dapat digunakan untuk pemantauan radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan seluruh staf di lingkungan BRIN yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Kontributor utama dalam makalah ini adalah Rokhmat Arifianto dan Robi Sulaiman, sedangkan Slamet, Ricard Parulian Hutabarat, Roni Cahya Ciputra dan Frederikus Dian Indrastomo sebagai kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- J. A. Jones, F. Karouia, O. Cristea, R. C. Casey, D. Popov, and V. Maliev, "Ionizing radiation as a carcinogen," 2018. doi: 10.1016/b978-0-12-801238-3.64295-2.
- R. O. McClellan, "Biomarkers of exposure and responses to ionizing radiation," *Biomarkers Toxicol.*, pp. 757–786, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-814655-2.00042-6.
- H. Syaeful, F. D. Indrastomo, and M. B. Garwan, "Application of UNFC for reassessment of uranium resources of the Eko Remaja and Rabau Sectors, Kalan Area, West Kalimantan, Indonesia," in *UNECE Energy Series 58 Application of the United Nations Framework Classification for Resources: Case Study*, Geneva: United Nation Publication, 2019, pp. 137–147.
- R. Ciputra, S. Suharji, D. Kamajati, and H. Syaeful, "Application of geostatistics to complete uranium resources estimation of Rabau Hulu Sector, Kalan, West Kalimantan," in *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 200. doi: 10.1051/e3sconf/202020006001.
- R. C. Ciputra, M. N. Heriawan, H. Syaeful, D. Kamajati, and P. Rahmawati, "Geostatistical ore body modeling on uranium mineralization in Remaja Sector, Kalan Area, West Kalimantan," *Eksplorium*, vol. 43, no. 1, pp. 41–58, 2022, doi: 10.17146/eksplorium.2022.43.1.6622.
- H. Syaeful, I. G. Sukadana, and A. Sumaryanto, "Radiometric mapping for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) assessment in Mamuju, West Sulawesi," *Atom Indones.*, vol. 40, no. 1, p. 35, May 2014, doi: 10.17146/aij.2014.263.
- I. Rosianna *et al.*, "Natural radioactivity of laterite and volcanic rock sample for radioactive mineral exploration in Mamuju, Indonesia," *Geosci.*, vol. 10,

Komparasi Performa Monitor Radiasi Gamma dalam Pemantauan Radiasi *Real-time*
(Rokhmat Arifianto, Robi Sulaiman, Slamet, Ricard Parulian Hutabarat,
Roni Cahya Ciputra, Frederikus Dian Indrastomo)

- no. 9, pp. 1–13, 2020, doi: 10.3390/geosciences10090376.
- [8] I. G. Sukadana and H. Syaeful, "Uranium exploration in Sulawesi," in *MGEI 8th Annual Convention*, 2016, pp. 117–120.
- [9] H. Syaeful, I. G. Sukadana, F. D. Indrastomo, A. G. Muhammad, and Ngadenin, "Uranium exploration, deposit and resources: The key of nuclear power plant development program in Indonesia," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2048, no. 012003, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2048/1/012003.
- [10] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir
- [11] E. O. Cannon, F. Nigsch, and J. B. Mitchell, "A novel hybrid ultrafast shape descriptor method for use in virtual screening," *Chem. Cent. J.*, vol. 2, no. 1, 2008, doi: 10.1186/1752-153X-2-3.
- [12] S. S. Shapiro and M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, p. 591, 1965, doi: 10.2307/2333709.
- [13] H. Weyl, "Philosophy of mathematics and natural science," *Philos. Math. Nat. Sci.*, no. May, 2021, doi: 10.2307/j.ctv1t1kftd.
- [14] O. Sureiman and C. Mangera, "F-test of overall significance in regression analysis simplified," *J. Pract. Cardiovasc. Sci.*, vol. 6, no. 2, p. 116, 2020, doi: 10.4103/jpcs.jpcs_18_20.
- [15] A. Nanda, D. B. B. Mohapatra, A. P. K. Mahapatra, A. P. K. Mahapatra, and A. P. K. Mahapatra, "Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error," *Int. J. Stat. Appl. Math.*, vol. 6, no. 1, pp. 59–65, 2021, doi: 10.22271/math.2021.v6.i1a.636.
- [16] H. A. Sturges, "The Choice of a Class" *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 21, no. 153, pp. 65–66, 1926.
- [17] H.-Y. Kim, "Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis," *Restor. Dent. Endod.*, vol. 38, no. 1, p. 52, 2013, doi: 10.5395/rde.2013.38.1.52.

HALAMAN INI DIBIARKAN KOSONG