

Makalah Ilmiah Populer

Evaluasi Kestabilan Tegangan *Output Function Generator* terhadap Variasi Suhu sebagai Dasar Penentuan Rentang Operasional yang Direkomendasikan pada Instrumentasi Nuklir

*Artikel ilmiah ini disusun dalam rangka
untuk pemenuhan capaian kinerja mahasiswa*



Disusun pada tanggal 10 Juli 2026 oleh :
Denta Jaya Marcha / Elektronika Instrumentasi / 022300002

Dosen Pengampu/Pembimbing :

Risky Nurseila Karthika, M.Sc.

**POLITEKNIK TEKNOLOGI NUKLIR INDONESIA
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
YOGYAKARTA
2026**

**LEMBAR PERSETUJUAN
MAKALAH ILMIAH**

**EVALUASI KESTABILAN TEGANGAN *OUTPUT FUNCTION GENERATOR*
TERHADAP VARIASI SUHU SEBAGAI DASAR PENENTUAN RENTANG
OPERASIONAL YANG DIREKOMENDASIKAN PADA INSTRUMENTASI NUKLIR**

Disusun oleh
Denta Jaya Marcha / Elektronika Instrumentasi / 022300002

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 14 Juli 2026 oleh:

Dosen Pembimbing/Dosen Pengampu Matakuliah



TT ELEKTRONIK

Risky Nurseila Karthika, M.Sc.

NIP. 199409132020122008

EVALUASI KESTABILAN TEGANGAN *OUTPUT FUNCTION GENERATOR* TERHADAP VARIASI SUHU SEBAGAI DASAR PENENTUAN RENTANG OPERASIONAL YANG DIREKOMENDASIKAN PADA INSTRUMENTASI NUKLIR

STABILITY EVALUATION OF FUNCTION GENERATOR OUTPUT VOLTAGE UNDER TEMPERATURE VARIATION AS A BASIS FOR DETERMINING THE RECOMMENDED OPERATIONAL RANGE IN NUCLEAR INSTRUMENTATION

Denta Jaya Marcha

Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia – Jl. Babarsari Kotak POB 6101/YKKB, Ngentak, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

E-mail: dentajaya252@gmail.com

ABSTRAK

Evaluasi Kestabilan Tegangan Output Function Generator terhadap Variasi Suhu sebagai Dasar Penentuan Rentang Operasional yang Direkomendasikan pada Instrumentasi Nuklir. Function generator merupakan instrumen elektronika yang berfungsi sebagai sumber sinyal referensi pada kegiatan pengujian, kalibrasi, dan evaluasi kinerja sistem instrumentasi nuklir. Kestabilan tegangan output menjadi salah satu parameter penting karena dipengaruhi oleh perubahan karakteristik komponen elektronik akibat variasi suhu yang dapat menyebabkan thermal drift. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kestabilan tegangan output function generator GW Instek GFG-8015G terhadap variasi suhu sebagai dasar penentuan rentang operasional yang direkomendasikan pada aplikasi instrumentasi nuklir. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan memberikan variasi suhu pada rentang 23,5°C hingga 50,9°C, kemudian tegangan output diukur menggunakan osiloskop, sedangkan suhu dipantau menggunakan termokopel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan output meningkat dari 18,2 V menjadi 18,6 V dengan deviasi maksimum sebesar 2,1%. Rentang suhu 23,5–35,5°C menghasilkan deviasi 0% sehingga menunjukkan kondisi operasi paling stabil. Pada suhu hingga 50,9°C, function generator masih beroperasi dengan baik meskipun mulai menunjukkan pengaruh thermal drift. Berdasarkan hasil tersebut, rentang suhu 23,5–35,5°C direkomendasikan sebagai kondisi operasi untuk penggunaan function generator pada aplikasi instrumentasi nuklir yang memerlukan akurasi dan kestabilan tegangan output yang tinggi.

Kata kunci: function generator, tegangan output, variasi suhu, thermal drift, instrumentasi nuklir.

ABSTRACT

Stability Evaluation of Function Generator Output Voltage Under Temperature Variation as a Basis for Determining the Recommended Operational Range in Nuclear Instrumentation. A function generator is an electronic instrument that serves as a reference signal source for testing, calibration, and performance evaluation of nuclear instrumentation systems. Output voltage stability is an important parameter because it is affected by changes in the electrical characteristics of electronic components due to temperature variations, which may cause thermal drift. This study aims to evaluate the stability of the output voltage of the GW Instek GFG-8015G function generator under temperature variations as a basis for determining the recommended operational range for nuclear instrumentation applications. The study was conducted experimentally by varying the temperature from 23.5°C to 50.9°C. The output voltage was measured using an oscilloscope, while the temperature was monitored using a thermocouple. The results showed that the output voltage increased from 18.2 V to 18.6 V, with a maximum deviation of 2.1%. The temperature range of 23.5–35.5°C exhibited 0% deviation, indicating the most stable operating condition. At temperatures up to 50.9°C, the function generator continued to operate properly although the effects of thermal drift began to appear. Based on these findings, the temperature range of 23.5–35.5°C is recommended as the operating condition for function generator applications in nuclear instrumentation requiring high output voltage accuracy and stability.

Keywords: function generator, output voltage, temperature variation, thermal drift, nuclear instrumentation.

PENDAHULUAN

Function generator merupakan salah satu instrumen elektronika yang banyak digunakan sebagai sumber sinyal referensi pada kegiatan pengujian, kalibrasi, dan evaluasi kinerja rangkaian elektronika. Pada bidang instrumentasi nuklir, *function generator* berperan penting dalam proses pengujian sistem akuisisi data, pengondisi sinyal (*signal conditioning*), penguat (*amplifier*), serta sistem pencacah radiasi sebelum dilakukan pengujian menggunakan sumber radiasi sebenarnya. Penggunaan sumber sinyal yang stabil diperlukan untuk memastikan bahwa perubahan karakteristik keluaran sistem berasal dari objek yang diuji, bukan dari instrumen pembangkit sinyal itu sendiri [3], [4]. Oleh karena itu, keandalan tegangan *output function generator* menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kualitas pengujian maupun proses kalibrasi pada sistem instrumentasi nuklir.

Kestabilan tegangan *output* suatu *function generator* dipengaruhi oleh karakteristik komponen elektronik penyusunnya. Perubahan suhu lingkungan dapat mengubah parameter listrik pada resistor, dioda, referensi tegangan, maupun komponen semikonduktor lainnya sehingga menyebabkan fenomena *thermal drift*, yaitu perubahan karakteristik keluaran akibat perubahan temperatur [6], [8]. Selain itu, perubahan temperatur juga dapat memengaruhi keandalan rangkaian elektronika melalui perubahan karakteristik elektrotermal komponen sehingga menyebabkan penyimpangan terhadap nilai keluaran yang diharapkan [9]. Oleh karena itu, pengaruh suhu terhadap kestabilan tegangan *output* perlu dievaluasi untuk mengetahui karakteristik kerja *function generator* pada berbagai kondisi lingkungan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penggunaan *pulse signal generator* sebagai sumber sinyal pada sistem spektrometer sinar gamma dan menunjukkan bahwa kestabilan sinyal keluaran merupakan faktor penting dalam memperoleh hasil pengukuran yang akurat [3]. Nugraha *et al.* [4] juga mengevaluasi performa *pulse generator* sebagai alat uji sistem pemantau radiasi dan menunjukkan bahwa karakteristik keluaran generator sinyal berpengaruh terhadap kinerja sistem instrumentasi. Penelitian lain membahas pengaruh temperatur terhadap karakteristik komponen elektronika, seperti koefisien temperatur pada dioda regulator tegangan [6], karakteristik *Positive Temperature Coefficient* (PTC) thermistor [7], serta mekanisme *temperature drift* pada referensi tegangan [8]. Wang *et al.* [9] juga menunjukkan bahwa perubahan temperatur dapat memengaruhi karakteristik elektrotermal sehingga berdampak pada keandalan perangkat elektronika. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengevaluasi perubahan tegangan *output function generator* akibat variasi suhu sebagai dasar penentuan rentang operasional yang direkomendasikan pada aplikasi instrumentasi nuklir masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada evaluasi kestabilan tegangan *output function generator* GW Instek GFG-8015G terhadap variasi suhu. Penelitian dibatasi pada analisis perubahan tegangan *output* akibat kenaikan suhu pada rentang 23,5°C hingga 50,9°C, sedangkan parameter lain seperti frekuensi, bentuk gelombang, dan distorsi sinyal tidak dibahas. Pengujian dilakukan dengan asumsi bahwa jenis gelombang, amplitudo awal, catu daya, serta konfigurasi pengukuran dipertahankan tetap selama proses pengujian sehingga perubahan tegangan *output* yang diamati terutama dipengaruhi oleh variasi suhu.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kestabilan tegangan *output function generator* terhadap variasi suhu serta menentukan rentang operasional yang direkomendasikan berdasarkan kestabilan tegangan *output* pada aplikasi instrumentasi nuklir. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam penggunaan *function generator* sebagai sumber sinyal pada kegiatan pengujian, kalibrasi, dan evaluasi sistem instrumentasi nuklir yang memerlukan tingkat akurasi dan kestabilan tegangan *output* yang tinggi.

METODOLOGI

Evaluasi kestabilan tegangan *output* dalam penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental terhadap satu unit *function generator* GW Instek GFG-8015G yang berperan sebagai objek uji. Rangkaian pengujian disusun dengan melibatkan tiga instrumen pendukung, yaitu osiloskop digital yang berfungsi sebagai alat ukur tegangan *output*, termometer digital yang bertugas memantau suhu permukaan alat secara kontinu selama pengujian berlangsung, serta *heat gun* yang digunakan sebagai sumber pemanasan terkendali untuk membangkitkan variasi suhu pada rentang yang telah ditentukan.

Seluruh parameter kelistrikan dan spesifikasi teknis *function generator* yang dijadikan acuan mengikuti *GW Instek GFG-8015G User Manual* dan *Datasheet* resmi dari produsen [1], [2]. Pemilihan variasi suhu sebagai variabel bebas dalam pengujian ini didasarkan pada pertimbangan bahwa tegangan *output* suatu *function generator* pada dasarnya dibangun oleh rangkaian referensi tegangan berbasis komponen semikonduktor, sehingga karakteristik keluarannya berpotensi bergeser akibat perubahan suhu lingkungan.

Menurut Widlar [11], rangkaian referensi tegangan semikonduktor memiliki koefisien suhu tertentu yang menyebabkan nilai keluarannya bergeser seiring perubahan temperatur meskipun telah diberi kompensasi pada

tingkat rangkaian. Hal ini diperkuat oleh Lee [12], yang menegaskan bahwa akurasi suatu referensi tegangan tidak dapat dipandang sebagai nilai tetap, melainkan sebagai nilai dengan batas toleransi tertentu terhadap variasi suhu operasional. Landasan teori inilah yang mendasari pemilihan variasi suhu sebagai variabel utama dalam evaluasi kestabilan tegangan *output* pada penelitian ini.

Prosedur pengujian dilaksanakan dengan memberikan variasi suhu secara bertahap pada *function generator* menggunakan *heat gun*, mulai dari kondisi suhu ruang sebesar 23,5°C hingga 50,9°C. Pada setiap titik suhu yang diuji, proses pemanasan dihentikan sementara hingga pembacaan pada termometer digital menunjukkan kondisi yang relatif konstan, yang mengindikasikan bahwa alat telah mencapai kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*) dengan lingkungan pengujian.

Tegangan *output* pada kondisi tersebut kemudian dibaca dan dicatat melalui osiloskop digital, sehingga nilai yang diperoleh merepresentasikan respons aktual alat terhadap suhu pengujian dan bukan kondisi transien akibat proses pemanasan yang masih berlangsung. Prosedur pencatatan ini diulang pada setiap titik suhu sepanjang rentang pengujian sehingga diperoleh rangkaian data tegangan *output* yang berkesesuaian dengan tiap kondisi suhu. Nilai tegangan pada suhu awal (23,5°C) ditetapkan sebagai nilai acuan (*baseline*) untuk menghitung besarnya deviasi tegangan pada setiap titik pengujian berikutnya menggunakan Persamaan (1).

$$Deviasi(\%) = \frac{V_T - V_0}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan V_T adalah tegangan output pada suhu pengujian (V), sedangkan V_0 adalah tegangan output pada suhu awal (23,5°C) sebagai nilai acuan (V). Selanjutnya, data hubungan antara variasi suhu dan tegangan *output* yang diperoleh dianalisis secara deskriptif-kuantitatif dengan menyajikan hasil dalam bentuk tabel dan grafik, untuk mengamati pola perubahan tegangan *output* terhadap kenaikan suhu sekaligus mengidentifikasi rentang suhu yang menghasilkan deviasi tegangan paling kecil. Rentang suhu dengan deviasi terkecil tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengevaluasi kestabilan *function generator* serta ditetapkan sebagai rentang operasional yang direkomendasikan untuk aplikasi instrumentasi nuklir yang menuntut akurasi dan kestabilan tegangan *output* yang tinggi.

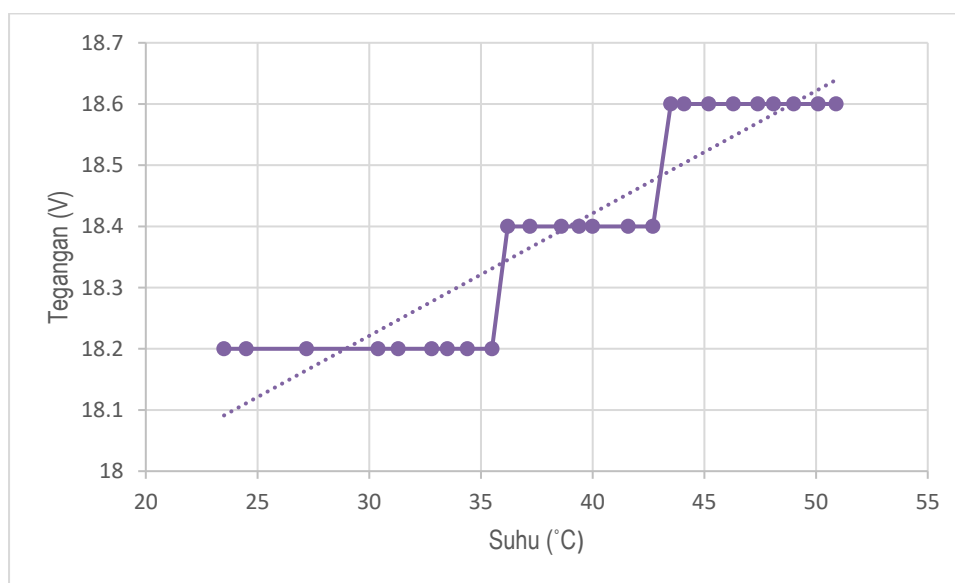
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada *function generator* GW Instek GFG-8015G dengan variasi suhu 23,5°C–50,9°C. Tegangan output diamati menggunakan osiloskop, kemudian dibandingkan terhadap kondisi awal untuk memperoleh deviasi tegangan. Deviasi tegangan dihitung menggunakan Persamaan (1).

Tabel 1. Hasil Pengujian Tegangan Output *Function Generator* terhadap Variasi Suhu

SUHU (°C)	RATA-RATA TEGANGAN OUTPUT (V)	DEVIASI (%)
23,5	18,2	0,00
24,5	18,2	0,00
27,2	18,2	0,00
30,4	18,2	0,00
31,3	18,2	0,00
32,8	18,2	0,00
33,5	18,2	0,00
34,4	18,2	0,00
35,5	18,2	0,00
36,2	18,4	1,09
37,2	18,4	1,09
38,6	18,4	1,09
39,4	18,4	1,09
40,0	18,4	1,09
41,6	18,4	1,09

SUHU (°C)	RATA-RATA TEGANGAN OUTPUT (V)	DEVIASI (%)
42,7	18,4	1,09
43,5	18,6	2,10
44,1	18,6	2,10
45,2	18,6	2,10
46,3	18,6	2,10
47,4	18,6	2,10
48,1	18,6	2,10
49,0	18,6	2,10
50,1	18,6	2,10
50,9	18,6	2,10



Gambar 1. Hubungan antara Suhu dan Tegangan *Output Function Generator*

Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa tegangan *output* mengalami peningkatan seiring bertambahnya suhu. Pada rentang 23,5–35,5°C, tegangan *output* tetap sebesar 18,2 V dengan deviasi 0%, sehingga menunjukkan kondisi operasi yang paling stabil. Ketika suhu meningkat menjadi 36,2–42,7°C, tegangan *output* naik menjadi 18,4 V dengan deviasi 1,09%, sedangkan pada rentang 43,5–50,9°C tegangan *output* mencapai 18,6 V dengan deviasi maksimum 2,1%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenaikan suhu memengaruhi kestabilan tegangan *output*, meskipun perubahan yang terjadi relatif kecil.

Peningkatan tegangan *output* tersebut menunjukkan adanya pengaruh *thermal drift*, yaitu perubahan karakteristik listrik komponen elektronik akibat kenaikan suhu. Fenomena ini sesuai dengan teori bahwa perubahan temperatur dapat memengaruhi karakteristik resistor, referensi tegangan, serta komponen semikonduktor sehingga menyebabkan pergeseran tegangan keluaran [6], [7], [8], [9]. Selain itu, perubahan karakteristik termal material juga dapat memengaruhi respons komponen elektronik terhadap kenaikan suhu [10]. Meskipun demikian, deviasi maksimum yang diperoleh hanya sebesar 2,1%, sehingga *function generator* tetap beroperasi dengan baik dengan perubahan tegangan *output* yang relatif kecil selama pengujian.

Hasil penelitian ini mendukung penelitian Guo *et al.* [3] dan Nugraha *et al.* [4] yang menyatakan bahwa kestabilan keluaran *signal generator* merupakan aspek penting dalam pengujian dan kalibrasi sistem instrumentasi nuklir. Penelitian ini melengkapi hasil tersebut dengan menunjukkan bahwa variasi suhu lingkungan turut memengaruhi tegangan *output function generator*. Berdasarkan hasil pengujian, *function generator* masih menunjukkan kestabilan yang baik terhadap variasi suhu karena tetap mampu beroperasi pada seluruh rentang suhu yang diuji. Namun, peningkatan deviasi mulai terlihat pada suhu di atas 35,5°C, sehingga penggunaan pada suhu yang lebih tinggi perlu mempertimbangkan kebutuhan akurasi sistem. Pada rentang suhu 23,5–35,5°C,

tegangan *output* tetap konstan dengan deviasi 0%, sehingga memberikan kestabilan terbaik. Hasil ini konsisten dengan spesifikasi operasi *function generator* GW Instek GFG-8015G [1], [2], sehingga rentang suhu tersebut layak direkomendasikan sebagai kondisi operasi pada aplikasi instrumentasi nuklir yang memerlukan akurasi dan kestabilan tegangan *output* yang tinggi.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian pembangkit sinyal pulsa yang dirancang khusus untuk aplikasi instrumentasi nuklir presisi tinggi turut memperkuat pemahaman terhadap batas kestabilan yang diperoleh. Menurut Arnaboldi *et al.* [13], pembangkit pulsa kalibrasi yang dirancang khusus untuk sistem spektrometri nuklir mampu mencapai kestabilan keluaran hingga orde *part per million* melalui penerapan rangkaian referensi tegangan presisi tinggi disertai kompensasi suhu aktif. Sejalan dengan hal tersebut, Carniti *et al.* [14] melaporkan bahwa sistem pembangkit pulsa presisi untuk eksperimen bolometrik mampu mempertahankan kestabilan termal hingga orde 0,1 ppm/°C melalui desain rangkaian referensi tegangan dan tahap keluaran yang dioptimalkan khusus terhadap pengaruh suhu. Dibandingkan dengan capaian tersebut, deviasi tegangan *output function generator* GW Instek GFG-8015G sebesar 2,1% pada rentang suhu 23,5–50,9°C tergolong jauh lebih besar, mengingat instrumen ini merupakan alat serbaguna yang tidak dirancang dengan kompensasi suhu presisi tinggi sebagaimana pembangkit pulsa kalibrasi pada eksperimen fisika nuklir. Meskipun demikian, hasil ini tetap relevan sebagai dasar penentuan rentang operasional yang aman bagi penggunaan *function generator* serbaguna pada kegiatan pengujian dan kalibrasi rutin di laboratorium instrumentasi nuklir, yang pada umumnya tidak menuntut tingkat presisi seketat aplikasi penelitian fisika partikel.

Dari sisi penerapan, hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis terhadap prosedur pengujian dan kalibrasi yang melibatkan *function generator* sebagai sumber sinyal referensi. Pada rentang suhu 23,5–35,5°C, alat dapat digunakan tanpa memerlukan koreksi tambahan karena deviasi tegangan *output* yang teramati sebesar 0%. Namun, pada rentang suhu di atas 35,5°C, potensi pergeseran tegangan *output* akibat *thermal drift* perlu diperhitungkan sebagai bagian dari anggaran ketidakpastian pengukuran, khususnya pada aplikasi pengujian sistem akuisisi data dan pengondisi sinyal yang menuntut akurasi tinggi. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, pengendalian suhu ruang pengujian atau pemberian waktu pemanasan (*warm-up time*) yang cukup sebelum pengambilan data dapat menjadi salah satu langkah mitigasi untuk menjaga validitas hasil pengujian maupun kalibrasi yang menggunakan alat ini.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya mengevaluasi perubahan tegangan *output* pada satu unit *function generator* GW Instek GFG-8015G, sehingga hasil yang diperoleh belum tentu dapat digeneralisasikan pada unit lain dari model yang sama maupun pada merek dan tipe *function generator* lainnya, mengingat karakteristik komponen elektronik pada tiap unit dapat berbeda meskipun berasal dari lini produksi yang sama, sebagaimana dijelaskan Wang *et al.* [9] terkait variasi keandalan komponen elektrotermal antarunit. Selain itu, penelitian ini juga belum mengevaluasi pengaruh variasi suhu terhadap parameter keluaran lain, seperti frekuensi, bentuk gelombang, dan distorsi sinyal, yang berpotensi turut dipengaruhi oleh *thermal drift*. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang melibatkan replikasi pengujian pada beberapa unit *function generator* serta evaluasi terhadap parameter keluaran lainnya diperlukan untuk memperkuat generalisasi rentang operasional yang direkomendasikan pada aplikasi instrumentasi nuklir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi suhu memengaruhi tegangan *output function generator* GW Instek GFG-8015G, namun alat tetap menunjukkan kestabilan yang baik pada seluruh rentang suhu pengujian, yaitu 23,5–50,9°C. Kenaikan suhu menyebabkan terjadinya *thermal drift* yang ditunjukkan oleh peningkatan deviasi tegangan *output* hingga maksimum 2,1%, tanpa mengakibatkan kegagalan fungsi alat selama pengujian.

Rentang suhu 23,5–35,5°C memberikan kestabilan tegangan *output* terbaik dengan deviasi 0%. Hasil ini konsisten dengan spesifikasi operasi *function generator* GW Instek GFG-8015G [1], [2], sehingga rentang suhu tersebut direkomendasikan untuk penggunaan pada aplikasi instrumentasi nuklir yang memerlukan akurasi dan kestabilan tegangan *output* yang tinggi. Sementara itu, pengoperasian hingga suhu 50,9°C masih memungkinkan karena alat tetap beroperasi dengan baik, namun deviasi maksimum sebesar 2,1% perlu dipertimbangkan pada aplikasi dengan persyaratan akurasi yang lebih ketat, misalnya dengan menerapkan kontrol suhu ruang pengujian atau pemberian waktu pemanasan (*warm-up time*) yang cukup sebelum pengambilan data.

Penelitian ini hanya mengevaluasi satu unit *function generator* GW Instek GFG-8015G, sehingga hasil dan rekomendasi rentang operasional di atas berlaku secara spesifik untuk unit yang diuji. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar penentuan rentang operasional yang aman bagi penggunaan unit *function generator* tersebut pada aplikasi instrumentasi nuklir yang memerlukan akurasi dan kestabilan tegangan *output* yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga karya tulis ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Risky Nurseila Karthika, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan karya tulis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada keluarga atas doa dan dukungan yang tiada henti, dan kepada seseorang yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, dan dukungan selama proses penulisan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GW Instek, *GFG-8015G User Manual*. New Taipei City, Taiwan: GW Instek, 2018.
- [2] GW Instek, *GFG-8015G Function Generator Datasheet*. New Taipei City, Taiwan: GW Instek.
- [3] C. Guo *et al.*, "Pulse Signal Generator for Simulated Gamma-ray Spectrometer Detection," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2747, no. 1, Art. no. 012053, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2747/1/012053.
- [4] L. Nugraha, Subiharto, and R. Gusman, "Pengujian Output Pulse Generator PB-5 sebagai Alat Penguji Sistem Pemantau Radiasi Terpasang RSG-GAS," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, Yogyakarta, Indonesia, 2013, pp. 217–223.
- [5] Y. Qiang *et al.*, "A Novel Analog Power Supply for Gain Control of the Multi-Pixel Photon Counter (MPPC)," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 2016.
- [6] Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation, "What Is the Temperature Coefficient of the Zener Diode (Voltage Regulator Diode, Constant Voltage Diode)?" Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation.
- [7] TDK Electronics, *PTC Thermistors: General Technical Information*. Munich, Germany: TDK Electronics AG, Jan. 2016.
- [8] J. Yan and M. Onabajo, "Understanding Voltage-Reference Temperature Drift," *Analog Devic*, 2024.
- [9] L. Wang, Q. Zhang, and Z. Xiao, "Low-Temperature Reliability Enhancement of System-in-Package with Silicon-Based Resistors and Its Electrothermal Analysis," *Microelectronics Reliability*, vol. 145, Art. no. 114999, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.microrel.2023.114999.
- [10] Warsito and O. Dewanto, "Analisis Efisiensi Thermistor sebagai Dasar Realisasi Alat Ukur Konduktivitas Panas," *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*, vol. 13, no. 3, pp. 216-220, 2007.
- [11] R. J. Widlar, "New Developments in IC Voltage Regulators," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 6, no. 1, pp. 2-7, Feb. 1971, doi: 10.1109/JSSC.1971.1050151.
- [12] M. Lee, "Understanding and Applying Voltage References," *Application Note 82*, Linear Technology Corporation, Milpitas, CA, USA, Nov.1999.
- [13] C. Arnaboldi, G. Pessina, and E. Previtali, "A Programmable Calibrating Pulse Generator with Multi-Outputs and Very High Stability," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 50, no. 4, pp. 979-986, Aug. 2003, doi: 10.1109/TNS.2003.815346.
- [14] P. Carniti, L. Cassina, A. Giachero, C. Gotti, and G. Pessina, "A High Precision Pulse Generation and Stabilization System for Bolometric Experiments," *Journal of Instrumentation*, vol. 13, Art. No. P02029, Feb. 2018, doi: 10.1088/1748-0221/13/02/P02029,