

Analisis Konfigurasi Sistem Kalibrasi Pyranometer di Luar Ruang Menggunakan Metode ISO 9874:1992 di Lembang

Agus Sail¹, Agus Sofwan², Abdul Multi³

¹Alumni Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional

^{2,3} Prodi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia, 12640

Email 1agus.sail@bmgk.go.id, 2asofwan@istn.ac.id, 3amulti@istn.ac.id

Abstrak

Pyranometer sebagai alat pengukur harus dikalibrasi secara teratur, karena keandalan alat pengukuran sangat penting. Kalibrasi pyranometer di dalam ruangan kurang efektif dalam jumlah besar, sehingga perlu diimplementasikan kalibrasi di luar ruangan yang mampu melakukan kalibrasi pyranometer dalam jumlah yang banyak. Penelitian ini melakukan kalibrasi pyranometer ke pyranometer menggunakan ISO 9847:1992 di luar ruangan dengan konfigurasi jeda 30 detik, maka didapatkan 21 data set dan 15 data seri untuk menghasilkan nilai sensitivitas, yang dilaksanakan di Lembang, Bandung dalam kondisi langit stabil menggunakan 1 pyranometer standar dan 4 pyranometer UUT. Sensitivitas hasil penelitian dibandingkan dengan hasil kalibrasi di dalam ruangan yang menjadi referensi karena telah terakreditasi oleh KAN dengan persamaan *percentage difference*. Hasil penelitian di Lembang menunjukkan bahwa persentase MBD yang tertinggi 3.1% terendah 1,17%. Perbedaan hasil kalibrasi diluar ruangan terhadap referensi yang cukup kecil pada kedua tempat ujicoba pada akhirnya dapat disimpulkan sebagai rujukan pembuatan kegiatan kalibrasi pyranometer di luar ruangan. Dan juga memberikan antusias bagi peneliti untuk melanjutkan pengembangan sistem kalibrasi luar ruangan, yang belum dikembangkan secara maksimal di Indonesia, khususnya di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Kata kunci: kalibrasi, pyranometer, ISO 9847

Abstract

Atmospheric pressure is one of the weather parameters Pyranometer, as a measuring instrument, needs to undergo regular calibration, as the reliability of measurement tools is paramount. Indoor pyranometer calibration is less effective on a large scale, hence the need for outdoor calibration implementation capable of calibrating pyranometers in large quantities. This study conducted pyranometer calibration outdoors using ISO 9847:1992 with a 30-second interval configuration, resulting in 21 data sets and 15 data series to generate sensitivity values. The calibration was carried out in Lembang, Bandung under stable sky conditions using one standard pyranometer and four UUT pyranometers. The sensitivity values obtained from the research were then compared with indoor calibration results, which served as the reference, as they had been accredited by the National Accreditation Committee (KAN) using the percentage difference equation. The research results in Lembang showed that the highest MBD percentage was 3.1%, while the lowest was 1.17%. The relatively small differences between outdoor calibration results and the reference at both test locations ultimately led to the conclusion that outdoor calibration can serve as a benchmark for conducting pyranometer calibration activities outdoors. Additionally, it instills enthusiasm among researchers to further develop outdoor calibration systems that have not been fully maximized in Indonesia, especially at the Meteorology Climatology and Geophysics Agency (BMKG).

Keywords: calibration, pyranometer, ISO 9847

1. Pendahuluan

Indonesia, yang terletak di sepanjang garis khatulistiwa, memiliki potensi energi surya yang sangat besar. Radiasi matahari yang mencapai Indonesia selalu tersedia sepanjang tahun, dengan perkiraan potensi sinar matahari yang mencapai daratan Indonesia sekitar $0,9 \times 10^8$ kJ/Tahun (Aljanad, 2021). Berdasarkan hal tersebut, penting untuk secara berkelanjutan meneliti dan mengembangkan pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan. Dalam upaya mendukung eksploitasi potensi radiasi matahari, informasi yang terkait dengan energi matahari memiliki peran penting. Salah satu alat penting untuk mengukur intensitas radiasi matahari total ialah pyranometer (Habte et.al, 2016). Pengukuran yang akurat terhadap radiasi global sangat penting untuk aplikasi energi surya, karena radiasi global diperlukan untuk memprediksi hasil dari produksi listrik fotovoltaik (PV) (CIMO, 1992).

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Nomor 23 Tahun 2015, menginstruksikan semua peralatan yang digunakan untuk operasional harus dilakukan proses kalibrasi. Kalibrasi pyranometer perlu selalu dikembangkan karena pergeseran nilai sensitivitas dalam jangka waktu 1 hingga 2 tahun pada kasus tertentu dapat bernilai hingga 5% dari sensitivitas yang dikeluarkan oleh pabrik (Silalahi et. al, 2021). BMKG memiliki fasilitas kalibrasi pyranometer di dalam ruangan yang telah mendapatkan akreditasi dari Komite Akreditasi Nasional (KAN). Namun, kalibrasi pyranometer yang dilakukan di dalam ruangan memiliki keterbatasan, terutama dalam hal jumlah alat yang dapat dikalibrasi dalam satu waktu. Untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi kegiatan kalibrasi, akan dilakukan eksperimen metode kalibrasi pyranometer di luar ruangan. Metode di luar ruangan mengacu pada ISO 9847:1992 dan dapat melakukan kalibrasi pyranometer dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu tergantung pada instrumen pendukung. Melalui penelitian

ini, diharapkan akan diperoleh validasi kualitas kalibrasi di luar ruangan dibandingkan dengan metode kalibrasi di dalam ruangan yang telah terakreditasi. Hasil penelitian ini diharapkan juga dapat memberikan pemahaman tentang kualitas data kalibrasi di luar ruangan dibandingkan dengan hasil kalibrasi di dalam ruangan yang telah terakreditasi sesuai standar ISO 9847.

Penelitian dilaksanakan di Stasiun Observasi Pos Lembang, Bandung, Jawa Barat dengan jarak +/- 100 km dari Jakarta. Pengambilan data dilaksanakan sejak tanggal 7 hingga 11 Agustus 2023, dengan pengambilan data saat elevasi matahari lebih dari 20 derajat, dimulai dari pukul 09.00 hingga 15.00 Waktu Indonesia Barat.



Gambar 1. Konfigurasi Proses Pengambilan Data

Beberapa instrumen yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 1 dan disebutkan pada Tabel 1

Tabel 1. Daftar Instrumen

Keterangan	Merk	Tipe	Serial Number
Standard	Kipp Zonen	CMP21	110763
UUT 1	Kipp Zonen	CMP 6	151033
UUT 2	Kipp Zonen	CMP 6	133745
UUT 3	Vaisala	QMS 102	211227
UUT 4	Vaisala	QMS 102	211224
Data logger	Cambell Scientific	CR 3000	-
Leptop	MSI	-	-

Dalam penelitian ini, konfigurasi peralatan didasarkan pada Tabel 1 yang diberikan dan terdiri dari satu sensor standar dan empat sensor UUT. CMP 21 dipilih sebagai sensor standar karena klasifikasinya sebagai sensor kelas pertama (*first class*) menurut standar ISO 9060:1990. Data dari kelima sensor akan dikumpulkan ke dalam data logger untuk kemudian diolah menggunakan komputer.

2. Metode Penelitian

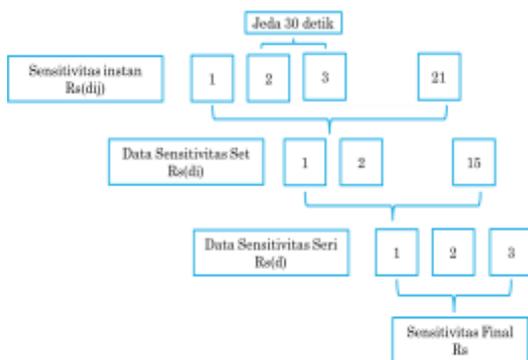
Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara nilai responsivitas hasil kalibrasi di dalam ruangan yang dijadikan acuan karena sudah terakreditasi KAN dan di luar ruangan yang metodenya akan divalidasi.

Kalibrasi di dalam ruangan

Kalibrasi di dalam ruangan dilakukan di kantor pusat BMKG Jakarta, dengan menggunakan sumber radiasi berupa lampu berintensitas 500W/m². Ruangan telah dipersiapkan dengan pengecatan hitam pekat, rapat dari cahaya luar, dan suhu ruangan dikendalikan sesuai persyaratan. Proses kalibrasi melibatkan perbandingan antara pyranometer uji dan pyranometer referensi dari model yang sama. Pentingnya kalibrasi terutama pada sensor thermopile pyranometer, yang memerlukan perbandingan dengan pyranometer serupa.

Kalibrasi di luar ruangan

Dengan Membandingkan pyranometer standar dengan Pyranometer Unit Under Test (UUT) yang menggunakan matahari sebagai sumber radiasi, dalam kondisi paparan alami (Blum et al., 2021).



Gambar 2. Konsep Pengambilan Data

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada kondisi langit cerah dengan pengambilan data selama 3 hari untuk

menghasb. ilkan Responsivitas final (R_s) yang didapatkan dari rata-rata Responsivitas seri $R_s(d)$, Responsivitas harian didapatkan dari 15 data Responsivitas set $R_s(d_i)$ yang dirata-rata, setiap $R_s(d_i)$ didapatkan dari merata-rata 21 data Responsivitas instan $R_s(d_{ij})$, pada penelitian ini pengambilan $R_s(d_{ij})$ berjeda 30 detik. secara visual pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 2 [6].

Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan $R_s(d_{ij})$, $R_s(d_i)$, $R_s(d)$ dan R_s

$$R_s(d_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_s(d_{ij}) \quad (1)$$

$$R_s(d) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_s(d_i) \quad (2)$$

$$R_s = \frac{1}{m} \sum_{d=1}^m R_s(d) \quad (3)$$

$R_s(d_{ij})$ adalah data data sensitivitas instan

$R_s(d_i)$ adalah data sensitivitas set

$R_s(d)$ adalah sensitivitas seri

n adalah banyaknya data

Persamaan 1, 2 dan 3 merupakan persamaan yang digunakan untuk melakukan pengolahan data intensitas radiasi yang dihasilkan oleh sensor UUT dan sensor Standar.

Validasi metode di luar ruangan

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil sensitivitas yang dihasilkan oleh kalibrasi di luar ruangan $RS_{outdoor}$ dan kalibrasi di dalam ruangan RS_{indoor} , lalu dilakukan perhitungan dengan menggunakan *difference percentage* [7].

$$difference \% = \left(\frac{RS_{indoor} - RS_{outdoor}}{RS_{indoor}} \right) * 100\% \quad (4)$$

Filtering data

Untuk menunjang data yang dihasilkan kalibrasi berkualitas dilakukan filter pada data yang dihasilkan dari sensor, berikut adalah beberapa sensor yang diterapkan pada penelitian di bawah ini:

F_1 : Data yang diakuisisi memiliki nilai GHI > 500 W/m² dan berturut-turut sesuai dengan jumlah data set.

F_2 : Pengukuran dilakukan ketika elevasi matahari lebih dari 20°.

F_3 : Data set yang memiliki standard deviasi lebih dari 5 % akan dihapus.

Pengolahan data mentah

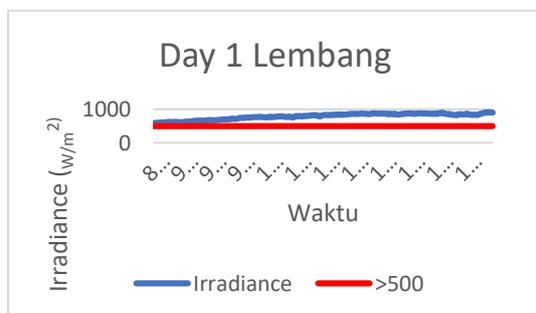


Gambar 3. Proses Pengolahan Data

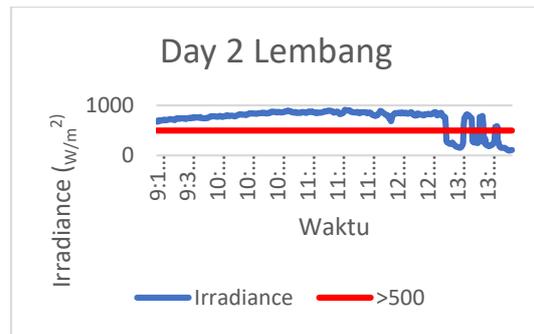
Mengacu Gambar 3, data mentah yang diterima oleh komputer dari data logger berupa data dengan format .dat, jenis data ini sulit untuk dilakukan pengolahan sehingga harus dirubah dalam bentuk format .csv, tahap kedua ini diperlukan, karena jika langsung dirubah ke format .xlsx maka susunan datanya terdapat kerusakan, selanjutnya file dalam bentuk format .xlsx akan dilakukan filtrasi terhadap nilai energi radiasi dibawah 500 w/m², ketentuan ini merujuk pada ISO 9847:1992, setelah semua data telah sesuai dengan ketentuan maka data instan ($Rs_{(dij)}$) dilakukan pengelompokan 21 data kemudian dilakukan perata-rata, rata-rata dari 21 data ini dinamakan data set ($Rs_{(di)}$), selanjutnya dari 15 ($Rs_{(di)}$) akan dilakukan perata-rataan sehingga didapat nilai sensitivitas seri ($Rs_{(d)}$).

3. Hasil dan Pembahasan

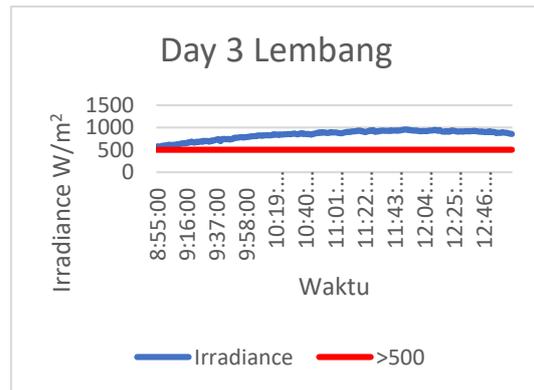
Selama 3 hari pengambilan data di Lembang dihasilkan grafik energi radiasi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4, 5 dan 6 berikut:



Gambar 4. Irradiasi hari 1



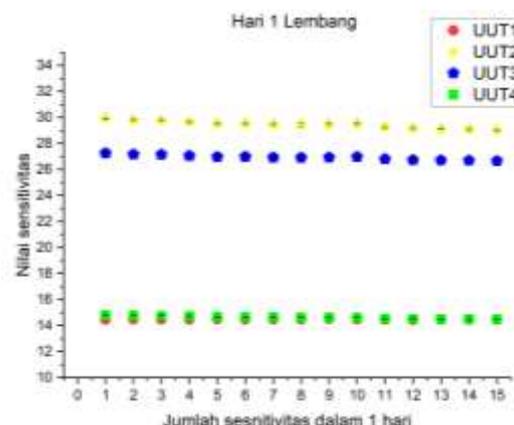
Gambar 5. Irradiasi hari 2



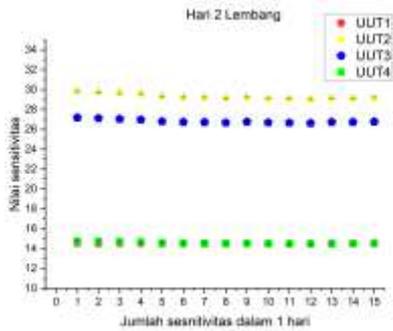
Gambar 6. Irradiasi hari 3

Gambar 4, 5 dan 6 merupakan penggambaran hasil pengambilan data sejak tanggal 9 hingga 11 Agustus 2023 di Lembang, Bandung oleh sensor pyranometer standar yang telah dikalibrasi di dalam ruangan, dari 3 hari pengambilan data hanya data pada hari ke 2 pengambilan data terganggu diakibatkan oleh kondisi awan yang tidak stabil, oleh karenanya data yang dibawah 500W/m² akan dieliminasi.

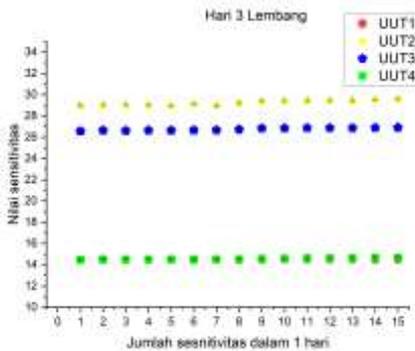
Data yang telah dikumpulkan kemudian dikalkulasi dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3. Sehingga bisa didapatkan persebaran data responsivitas set dari ke 4 sensor UUT yang digambarkan pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7 Rs_{di} UUT Hari 1

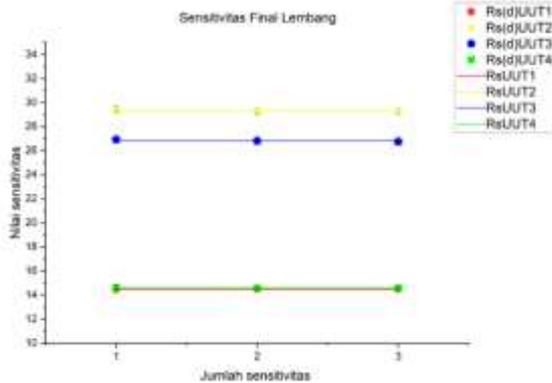


Gambar 8. UUT Hari 2



Gambar 9. UUT Hari 3

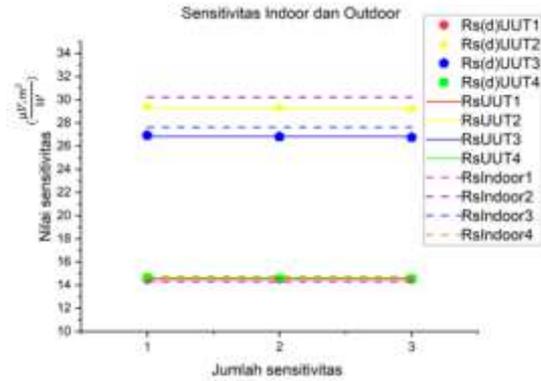
Gambar 7, 8 dan 9 adalah nilai $R_s(d_i)$ yang didapatkan dari $R_s(d_{ij})$, pada gambar diatas tidak terdapat perubahan responsivitas yang mencolok, hal ini mengindikasikan pengambilan data dilakukan dengan baik.



Gambar 10. R_{s_d} dan R_s final

Gambar 10 adalah R_s final dari masing masing UUT, digambarkan dalam bentuk garis yang didapatkan dari rata rata 3 nilai $R_s(d)$.

Nilai responsivitas dari masing-masing UUT dari metode kalibrasi di luar ruangan akan dibandingkan dengan UUT yang sama yang telah dikalibrasi di laboratorium kalibrasi pyranometer di dalam ruangan di BMKG yang digambarkan pada grafik di Gambar 11 berikut :



Gambar 11. dan $R_{s_{outdoor}}$

Pada Gambar 11 ditampilkan $R_{s_{outdoor}}$ dan $R_{s_{indoor}}$ yang telah didapatkan lalu dibandingkan untuk mengetahui berapa besar perbedaan hasil yang didapat dari kedua metode ini. Perbedaan R_s dirangkumkan dalam bentuk di Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2

No	Identitas	R_s Indoor	R_s Outdoor	% difference
1	UUT 1	14.28	14.50	1.52%
2	UUT 2	30.22	29.31	3.10%
3	UUT 3	27.63	26.83	2.98%
4	UUT 4	14.76	14.59	1.17%

Berdasarkan hasil eksperimen di Lembang yang dituangkan didalam tabel didapatkan R_s di luar ruangan UUT 1 hingga 4 berturut 14.50, 29.31, 26.83 dan 14.59 dan nilai R_s di dalam ruangan yang didapatkan dari kegiatan kalibrasi di dalam ruangan UUT1 hingga 4 berturut-turut 14.28, 30.22, 27.63 dan 14.76, nilai sensitivitas yang didapatkan dibandingkan menggunakan persamaan MBD sehingga menghasilkan persentase perbedaan dari UUT 1 hingga 4 berturut turut 1.52%, 3.1%, 2.98% dan 1.17%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan nilai sensitivitas di dalam ruangan yang dijadikan acuan dan di luar ruangan pada kegiatan kalibrasi pyranometer di Lembang menunjukkan perbedaan tertinggi bernilai 3.1% dan yang terendah 1.17%. perbedaan hasil kalibrasi di luar ruangan terhadap referensi yang cukup kecil berdasarkan data persentase diatas, maka didapatkan hasil yang memuaskan, dan memberikan antusias bagi peneliti untuk dapat melanjutkan pengembangan

sistem kalibrasi di luar ruangan yang belum dikembangkan di Indonesia, dan juga menjadikan tulisan ini sebagai rujukan pembuatan kegiatan kalibrasi pyranometer di luar ruangan dimasa yang akan datang.

Daftar Pustaka

- Aljanad N., Tan M. L., Agelidis V. G., and Shareef H., 2021** "Neural network approach for global solar irradiance prediction at extremely short-time-intervals using particle swarm optimization algorithm," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 4, Feb. 2021, doi: 10.3390/en14041213.
- Blum N. B. et al., 2022**, "Measurement of diffuse and plane of array irradiance by a combination of a pyranometer and an all-sky imager," *Solar Energy*, vol. 232, pp. 232-247, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.solener.2021.11.064.
- "CIMO_Guide_2014_en_I_7".** ISO 9847, "Solar energy — Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer," 1992.
- Habte, M. Sengupta, A. Andreas, I. Reda, and J. Robinson, 2016**, "The Impact of Indoor and Outdoor Radiometer Calibration on Solar Measurements: Preprint," 2016. [Online]. Available: www.nrel.gov/publications
- Mudike R., Barbate I., Tripathi A. K., Nikhil P. G., and Banerjee C., 2021**, "Calibration of solar radiometers with traceability to the world radiometric reference using an absolute cavity radiometer," *Measurement (Lond)*, vol. 179, Jul. 2021, DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109475.
- Silalahi D. F., Blakers A., Stocks M., Lu B., Cheng C., and Hayes L., 2021**, "Indonesia's vast solar energy potential," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/en14175424.