

Kalibrasi Sistem Pengukuran Laju Alir Pendingin Primer (JE-01 CF831) Reaktor RSG-GAS

(Calibration of the Primary Coolant Flow Rate Measurement System JE-01 CF831 of the RSG-GAS Reactor)

Rhamdiani Syafitri

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314

Abstrak

Sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 pada reaktor RSG-GAS merupakan bagian dari Sistem Proteksi Reaktor (SPR) yang berfungsi memberikan sinyal keselamatan berupa SCRAM jika laju alir berada di bawah batas minimum. Pada kondisi operasi, sistem ini mengalami gangguan berupa pembacaan laju alir yang sangat tinggi (over scale) pada meter di Ruang Kendali Utama (RKU), sehingga menyulitkan operator untuk memantau kondisi sebenarnya. Kegiatan ini bertujuan memperbaiki dan mengkalibrasi kembali kanal pengukuran laju alir JE-01 CF831 agar penunjukan sesuai dengan nilai ideal. Metode perbaikan dilakukan dengan simulasi tekanan menggunakan kalibrator pada rentang kerja 0–500 mBar dan pengukuran keluaran arus transduser pada rentang 0–20 mA, diikuti pengaturan ulang potensiometer zero dan span pada transduser. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum pengaturan ulang, pada tekanan 500 mBar keluaran transduser mencapai 21,73 mA, lebih tinggi dari nilai ideal 20 mA dan menyebabkan tampilan over scale pada meter RKU. Setelah dilakukan pengaturan ulang, keluaran transduser menjadi 20,02 mA pada 500 mBar (mendekati nilai ideal) dan menghasilkan nilai error rata-rata sebesar 4,54%. Dengan demikian, sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 telah kembali beroperasi dengan baik dan dapat digunakan untuk mendukung fungsi keselamatan reaktor.

Kata Kunci : Laju alir pendingin primer, transduser tekanan diferensial, SPR, kalibrasi, RSG-GAS

Abstract

The JE-01 CF831 primary coolant flow measurement system of the RSG-GAS reactor is part of the Reactor Protection System (RPS), which provides a safety signal in the form of a SCRAM when the flow rate falls below the minimum allowable limit. During operation, the system experienced a malfunction in which the flow rate indication on the Main Control Room (MCR) panel showed an excessively high (over-scale) value, making it difficult for the operators to monitor the actual condition. This activity aims to repair and recalibrate the JE-01 CF831 flow measurement channel so that its indication corresponds to the ideal characteristics. The repair method was carried out by simulating pressure using a calibrator within 0–500 mBar and measuring the transducer output current (0–20 mA), followed by readjustment of the zero and span potentiometers. The results show that, prior to readjustment, at a pressure of 500 mbar the transducer output reached 21.73 mA, which is higher than the ideal value of 20 mA and caused the over-scale indication on the MCR meter. After readjustment, the transducer output became 20.02 mA at 500 mbar (close to the ideal value), and produces an average error value of 4.54%. Thus, the JE-01 CF831 primary coolant flow measurement system has resumed proper operation and can be reliably used to support the reactor safety function.

Keyword : Primary coolant flow rate, differential pressure transducer, RPS, calibration, RSG-GAS reactor.

*Penulis Korespondensi. Telp: +6285520747635

Alamat E-mail : rhamdianisyafitri@gmail.com (Rhamdiani Syafitri)

1. Pendahuluan

Reaktor RSG-GAS menggunakan sistem pendingin primer untuk mengangkut panas dari teras reaktor ke sistem pembuangan panas. Keandalan pengukuran laju alir pendingin primer merupakan salah satu faktor penting dalam menjamin keselamatan operasi reaktor, karena laju alir yang terlalu rendah dapat menyebabkan kenaikan temperatur bahan bakar dan beresiko terhadap keselamatan.

Sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 merupakan bagian dari Sistem Proteksi Reaktor (SPR) yang berfungsi memantau laju alir dan memberikan sinyal keselamatan berupa SCRAM ke sistem batang kendali apabila laju alir terdeteksi lebih kecil dari batas minimum. Sistem ini dirancang dengan tiga kanal redundan, di mana dua dari tiga kanal yang mengalami kondisi trip akan menghasilkan sinyal SCRAM ke 6 kontak sistem magnet batang kendali.

Gangguan terjadi ketika pompa pendingin primer dioperasikan dan pengukuran laju alir pada meter di panel tegak RKU menunjukkan nilai sangat tinggi (over scale). Kondisi ini menyulitkan operator dalam memantau besaran laju alir yang sebenarnya dan berpotensi mengurangi tingkat keandalan pengambilan keputusan operasi reaktor. Mengingat sistem ini dikategorikan sebagai perangkat nuklir kelas I yang terkait langsung dengan keselamatan reaktor, gangguan tersebut harus segera diatasi dan dilakukan tindakan perbaikan atau kalibrasi sistem pengukuran.

Sistem pengukuran laju alir JE-01 CF831 menggunakan sensor differential pressure dengan rentang 0–500 mBar yang dikonversi oleh transduser menjadi sinyal arus 0–20 mA. Sinyal ini kemudian diproses oleh sistem proteksi reaktor (RPS) dan didistribusikan ke berbagai perangkat, seperti meter di RKU, rekorder, dan PLC. Ketidaksesuaian antara tekanan masukan dan arus keluaran transduser akan mengakibatkan kesalahan penunjukan laju alir.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan perbaikan dan kalibrasi sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 sehingga penunjukan laju alir di RKU kembali akurat dan sistem dapat menjalankan fungsi keselamatan reaktor secara andal.

Kegiatan yang dilakukan meliputi identifikasi dan analisis penyebab gangguan pembacaan laju alir pada kanal JE-01 CF831 yang

mengakibatkan penunjukan over scale di RKU, kegiatan perbaikan dan kalibrasi transduser tekanan diferensial yang digunakan dalam sistem pengukuran laju alir pendingin primer termasuk pengujian hubungan antara tekanan masukan dan arus keluaran, dan evaluasi kinerja sistem pengukuran setelah perbaikan ditinjau dari linearitas respon, kedekatan terhadap nilai ideal, serta implikasinya terhadap fungsi keselamatan SPR.

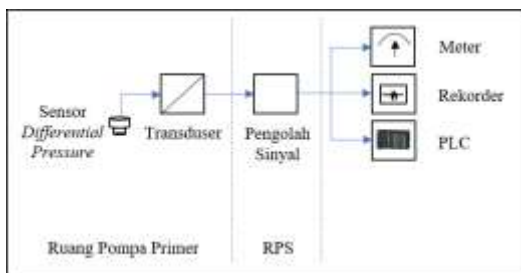
Setelah dilakukan kalibrasi diharapkan akan diperoleh karakteristik baru hubungan antara tekanan dan arus pada kanal JE-01 CF831 yang menunjukkan bahwa keluaran transduser telah kembali berada dalam rentang kerja 0–20 mA untuk tekanan 0–500 mBar. Selain itu, diharapkan terjadi pengurangan deviasi keluaran transduser terhadap nilai ideal pada setiap titik uji, sehingga penunjukan laju alir di RKU tidak lagi mengalami over scale dan dapat diandalkan dalam pemantauan operasi reaktor.

2. Teori Dasar

Sistem pengukuran laju alir pendingin primer pada reaktor riset umumnya menggunakan prinsip beda tekanan (differential pressure) yang dihasilkan oleh elemen penghambat alir (misalnya orifice atau venturi). Beda tekanan ini kemudian dikonversi oleh transduser menjadi sinyal listrik, biasanya dalam bentuk arus 4–20 mA atau 0–20 mA, untuk diproses lebih lanjut oleh sistem instrumentasi dan proteksi.

Keakuratan sistem pengukuran sangat dipengaruhi oleh kalibrasi sensor dan transduser. Drift atau perubahan karakteristik transduser terhadap waktu, kondisi lingkungan, dan beban kerja dapat menyebabkan pergeseran titik nol (zero) dan rentang (span), sehingga diperlukan kalibrasi berkala dan penyesuaian ulang potensiometer zero dan span untuk menjaga keandalan pengukuran.

Sistem pengukuran laju alir JE-01 CF831 dikategorikan sebagai perangkat nuklir kelas I. Adapun diagram alir sinyal dari sistem ini adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir sinyal sistem pengukuran laju air pendingin primer

Berdasarkan diagram alir diatas dapat dilihat bahwa sistem ini menggunakan sensor laju alir berupa *differential pressure* yang membandingkan beda tekanan antara kedua sisi. Nilai perbedaan tekanan ini kemudian diolah transduser sehingga menghasilkan output berupa arus listrik. Pada sistem ini jangkauan kerja sensor laju alir adalah pada 0 – 500 mBar yang kemudian dihasilkan keluaran transduser sebesar 0 -20 mA. Keluaran arus listrik dari transduser kemudian diolah RPS dan didistribusikan untuk keperluan keselamatan reaktor dan untuk dikirim ke beberapa perangkat seperti meter pada panel tegak RKU, rekorder dan PLC.

3. Metodologi

Persiapan Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam kegiatan perbaikan dan kalibrasi kanal pengukuran laju alir JE-01 CF831 adalah sebagai berikut:

1. Sistem pengukuran laju alir JE-01 CF831 (sensor differential pressure dan transduser).
2. Kalibrator tekanan dengan rentang sesuai daerah kerja 0–500 mBar.
3. Multimeter untuk pengukuran arus keluaran transduser.
4. Toolset (alat kerja mekanik dan elektrik) untuk pembongkaran dan penyesuaian perangkat.

Prosedur Perbaikan dan Kalibrasi

Kegiatan perbaikan dan kalibrasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menutup semua jalur masukan air pada transduser laju alir.
2. Melepas penutup sensor dan transduser laju alir JE-01 CF831.
3. Membuka jalur masukan udara untuk melakukan simulasi tekanan pada transduser.
4. Melakukan simulasi tekanan dalam rentang kerja sensor (0–500 mBar) menggunakan kalibrator tekanan.
5. Mengukur keluaran arus transduser menggunakan multimeter pada setiap titik tekanan simulasi.
6. Mencatat hasil hubungan antara tekanan masukan (mBar) dan arus keluaran (mA).

7. Membandingkan nilai keluaran aktual dengan nilai ideal sesuai spesifikasi (0–500 mBar setara dengan 0–20 mA).
8. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, melakukan pengaturan ulang transduser dengan memutar potensiometer zero dan span.
9. Mengulangi simulasi tekanan dan pengukuran arus keluaran untuk memverifikasi hasil pengaturan ulang.
10. Setelah nilai keluaran sesuai dengan nilai ideal, menutup kembali penutup transduser.
11. Melepas kalibrator tekanan dan menutup jalur masukan udara.
12. Membuka kembali jalur masukan air dan melakukan venting udara pada transduser guna memastikan tidak ada gelembung udara yang terperangkap.

Evaluasi Kegiatan

Evaluasi dilakukan untuk menilai kelayakan alat dan bahan yang digunakan termasuk status kalibrasi peralatan ukur, kesesuaian pelaksanaan perbaikan dengan prosedur yang berlaku dan kompetensi personil pelaksana, dan kinerja sistem pengukuran pasca perbaikan ditinjau dari kedekatan hasil pengukuran dengan nilai ideal dan linearitas respon sensor–transduser.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perbaikan sistem pengukuran laju alir pendingin primer (JE-01 CF831) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Pengukuran Laju Alir

No	Input Kalibrator (mBar)	Output Transduser (mA)	
		Sebelum Pengaturan	Setelah Pengaturan
1	0	0	0
2	100	7,25	7,62
3	200	13,83	12,03
4	300	16,56	15,02
5	400	19,33	17,87
6	500	21,73	20,02

Sebelum dilakukan pengaturan ulang diperoleh hasil keluaran arus yang lebih tinggi dibandingkan nilai idealnya. Pada saat diberikan tekanan masukan sebesar 500 mBar, seharusnya diperoleh keluaran sebesar 20 mA. Akan tetapi, transduser memberikan keluaran 21,73 mA, hal ini yang membuat penunjukkan pada meter RKU sangat tinggi (*over scale*). Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan pengaturan ulang transduser dengan mengatur potensiometer *zero* dan *span*. Setelah dilakukan pengaturan ulang, diperoleh hasil keluaran transduser yang sesuai.

Grafik data hasil kalibrasi pengukuran laju alir ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Grafik Hasil Kalibrasi Pengukuran Laju Alir JE-01 CF831

Pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 menggunakan prinsip *differential pressure* sehingga laju alir didasarkan pada perbedaan tekanan. Untuk mengetahui besaran perubahan tekanan terhadap laju alir digunakan rumus sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1).

$$F = C\sqrt{\Delta P} \quad \dots (1)$$

Berdasarkan spesifikasi dari transduser nilai laju alir maksimum dan input tekanan maksimum adalah $F_{maks} = 3400 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan $P_{maks} = 500 \text{ mBar}$ sehingga didapatkan konstanta seperti ditunjukkan pada persamaan (2) berikut.

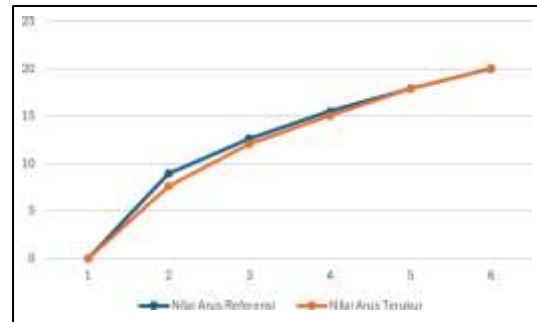
$$C = \frac{F}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{3400}{\sqrt{500}} = 152,053 \quad \dots (2)$$

Dengan menggunakan konstanta tersebut diperoleh nilai laju alir referensi yang dikonversikan terhadap keluaran arus 0-20 mA sehingga didapatkan nilai referensi yang menjadi acuan dalam kegiatan kalibrasi. Tabel referensi tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Referensi Nilai Keluaran Arus Transduser

No	Input Tekanan (mBar)	Laju Alir (m^3/h)	Arus Keluaran Referensi (mA)	Arus Keluaran Terukur (mA)
1	0	0	0	0
2	100	1520	8,94	7,62
3	200	2150	12,65	12,03
4	300	2633	15,49	15,02
5	400	3041	17,89	17,87
6	500	3400	20	20,02

Adapun grafik perbandingan antara nilai arus yang terukur setelah kalibrasi terhadap nilai referensi hasil perhitungan. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Nilai Arus Terukur Terhadap Nilai Referensi

Dari grafik diperoleh bahwa data hasil pengukuran setelah kalibrasi sesuai dengan nilai referensi dengan nilai error rata-rata sebesar 4,54%

5. Kesimpulan

Berdasarkan kegiatan kalibrasi sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE01 CF831 di reaktor RSG-GAS, dapat ditarik kesimpulan bahwa gangguan penunjukan laju alir berupa nilai yang sangat tinggi (over scale) pada meter di RKU disebabkan oleh deviasi keluaran arus transduser, khususnya pada tekanan mendekati batas atas rentang kerja (500 mBar) yang menghasilkan arus hingga 21,73 mA.

Melalui simulasi masukan tekanan menggunakan kalibrator dan pengaturan ulang potensiometer zero dan span pada transduser, hubungan antara tekanan masukan (0–500 mBar) dan arus keluaran (0–20 mA) berhasil dikembalikan sesuai karakteristik ideal dengan nilai error rata-rata sebesar 4,54%.

Setelah perbaikan, sistem pengukuran laju alir pendingin primer JE-01 CF831 kembali beroperasi dengan baik dan normal, sehingga dapat mendukung fungsi keselamatan Sistem Proteksi Reaktor pada reaktor RSG-GAS.

Daftar Pustaka

- [1] [BRIN] Pusat Reaktor Serba Guna. Blue Print Manual Sistem Proteksi Reaktor RSG-GAS. Serpong: PRSG-BRIN.
- [2] Fraden J. Differential Pressure Sensors. In: Fraden J, editor. *Handbook of Modern Sensors*. Cham: Springer; hal. 250–270. 2020.
- [3] [IAEA] *Safety of Research Reactors: Specific Safety Requirements SSR-3*. Vienna: International Atomic Energy Agency. 2016.
- [4] [BAPETEN] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Standar Keselamatan Reaktor Riset. Jakarta: BAPETEN.