

EVALUASI KESALAHAN PEMBACAAN PARAMETER UKUR RASIO DARI JEMBATAN KOMPARATOR ARUS SEARAH DI RENTANG 0,1 SAMPAI DENGAN 10

READING ERROR EVALUATION OF THE RATIO MEASUREMENT PARAMETER FROM THE DIRECT CURRENT COMPARATOR BRIDGE IN THE RANGE OF 0.1 UP TO 10

Lukluk Khairiyati¹, Retno Wigajatri², Agah Faisal¹

¹ Pusat Penelitian Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Tangerang Selatan

² Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok

Email: lukluk.khairiyati@gmail.com

ABSTRAK

Pemeliharaan nilai ketelitian resistor standar tingkat nasional ditentukan oleh proses kalibrasi yang didukung oleh kemampuan baca parameter ukur rasio alat standar jembatan komparator arus searah (*direct current comparator bridge*, DCC bridge). Kesalahan pembacaan parameter ukur rasio ini diterapkan pada jembatan DCC tipe *Guildline 6675A* yang dapat diukur menggunakan metode generik dan pengembangan metode basis interkoneksi resistor. Pengukuran ini mencakup parameter ukur rasio dari rentang 0,1:1 sampai dengan 10:1. Dari kedua metode ini telah diperoleh hasil evaluasi kesalahan pembacaan dari parameter ukur rasio berdasarkan metode generik dengan ketidaklinieran sebesar $(0,14 \pm 1,68)$ ppm dan berdasarkan metode basis interkoneksi resistansi sebesar $(0,99 \pm 1,78)$ ppm.

Kata kunci: Jembatan DCC, kesalahan pembacaan, parameter ukur rasio, resistor

ABSTRACT

The maintenance of the standard resistor value for the national level resistor is determined by the calibration process supported by the readability of the standard direct current comparator bridge (DCC bridge). The reading error of the ratio measurement parameter from Guildline 6675A DCC Bridge has been measured using generic method and method of interconnection-resistor base. The measurement covers the parameter ration range from 0.1:1 to 10:1. Based on the two methods, the reading error of the measurement parameter using the generic method was found to have a nonlinearity of (0.14 ± 1.68) ppm, while the reading error of the measurement parameter using the interconnection-resistor base method as found to have a nonlinearity of (0.99 ± 1.78) ppm.

Keywords: DCC Bridge, reading error, ratio measurement parameter, resistor

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan alat ukur kelistrikan mengalami kemajuan yang sangat pesat. Keakuratan sebuah alat ukur yang merupakan kemampuan alat ukur untuk memberikan nilai mendekati nilai yang sebenarnya sangat diperlukan berdasarkan dokumen JCGM 200, 2008. Selain itu, ketelitian dalam sistem pengukuran juga perlu diperhatikan karena merupakan bagian penting dari mekanisme penilaian kesesuaian sekaligus mekanisme kunci agar suatu produk dapat diterima oleh industri secara nasional dan internasional.

Untuk dapat mengakses keakuratan pembacaan alat ukur kelistrikan, diperlukan

perangkat sebagai representasi standar untuk satuan yang tertelusur pada sistem internasional untuk satuan (SI). Representasi standar ini dapat berupa resistor standar, seperti *fixed standard resistor* model Thomas, tegangan standar, seperti *zener diode dc voltage standard*, multi-parameter standar, seperti *multifunction calibrator*, dan lainnya.

Salah satu besaran penting pada bidang kelistrikan adalah besaran resistansi. Resistor dengan satuannya, yaitu ohm, sebagai komponen pasif dengan nilai resistansi tertentu banyak digunakan sebagai standar. Resistor yang disusun menjadi pembagi tegangan standar digunakan untuk menelusurkan nilai tegangan multirentang kepada tegangan standar yang

direpresentasikan oleh *zener diode dc voltage standard*. Resistor yang dirancang memiliki nilai yang rendah dengan daya kerja yang tinggi dijadikan sebagai *current shunt* standar yang digunakan untuk menelusurkan nilai arus multirentang kepada nilai tegangan. Dengan diperolehnya berbagai nilai multirentang pada besaran resistansi, tegangan dan arus yang tertelusur ke resistor standar acuan, asesmen terhadap keakuratan, dan ketelitian pembacaan alat ukur kelistrikan dapat dipenuhi secara lengkap.

Diseminasi nilai resistansi di Puslit Metrologi LIPI mengacu pada nilai kalibrasi resistor standar 1 k Ω (Azzumar & Faisal., 2015). Proses diseminasi tersebut dilakukan dengan menggunakan jembatan komparator arus searah (*direct current comparator bridge*). Hingga saat ini, Puslit Metrologi-LIPI belum pernah melaksanakan evaluasi terhadap kesalahan pembacaan parameter ukur rasio yang ditunjukkan oleh jembatan DCC dan berapa besar pengaruhnya terhadap hasil pengukuran resistor standar yang dilakukan. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengevaluasi jembatan DCC tersebut agar operasi sistem pengukuran resistor dapat dilakukan dengan benar dan akurat (Walker, 2011).

Metode yang telah digunakan untuk menguji kesalahan parameter ukur rasio adalah metode *resistance bridge calibrator* (RBC), yang memiliki empat pasang resistor yang dapat dihubungkan dengan berbagai macam konfigurasi dan menghasilkan 35 kombinasi nilai resistansi. RBC ini juga dapat diukur dengan ketidakpastian di bawah 100 $\mu\Omega$ (Isotech). Metode yang juga dilakukan adalah metode generik, yaitu metode panduan teknis penggunaan jembatan komparator arus searah (Guildline, 2007). Metode generik memiliki derajat kebebasan yang bergantung pada jumlah resistor standar yang digunakan dan setiap resistor yang digunakan perlu nilai yang terkalibrasi, sedangkan metode RBC dapat memiliki derajat kebebasan yang lebih tinggi karena menggunakan kombinasi penghubungan yang variatif dan metode ini tidak memerlukan nilai yang terkalibrasi. Sehubungan dengan belum tersedianya RBC di lab saat ini, maka pengembangan dilakukan dengan memanfaatkan

jenis resistor transfer standar tipe Hamon atau yang disebut sebagai metode basis interkoneksi resistansi.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kesalahan pembacaan parameter ukur rasio pada jembatan DCC dengan menggunakan metode generik dan metode basis interkoneksi resistansi.

2. TEORI DASAR

Pengukuran adalah suatu proses secara eksperimental untuk memperoleh nilai besaran yang dapat secara bersamaan berkaitan pada sifat dari suatu fenomena (Joint & Fiona, 2008). Jenis resistor standar sekunder dengan tipe *manganin wire-wound* digunakan pada pengukuran untuk lingkup resistensi di mana elemen bahannya memiliki kestabilan jangka panjang, koefisien suhu yang rendah serta ditempatkan pada bahan *low dielectric loss* (rugi rugi dielektrik rendah) sebagai pelindung atau disebut resistor tipe Thomas (Melville, 1985). Resistor jenis ini digunakan sebagai resistor standar acuan dalam penelitian ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Jenis resistor transfer standar yang digunakan pada metode basis interkoneksi resistansi adalah



Gambar 1. Resistor Standar

resistor standar tipe Hamon. Standar resistor tipe Hamon ini memiliki beberapa kelebihan, yaitu didesain mampu membangun nilai nominal resistansi dengan menggunakan hubungan seri, paralel atau kombinasi dari seri-paralel (Guildline, 2007). Resistor transfer standar ini berisi sepuluh resistor dengan nominal yang sama dan dapat digunakan dengan mengkombinasikan seri maupun paralel. Sebagai ilustrasi, membangun resistor transfer standar dengan nominal $25\ \Omega$ dapat dilakukan dengan menghubungkan empat resistor dengan nominal $100\ \Omega$ secara paralel (Guildline, 2007). Skematik diagram resistor tipe Hammon dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.

Kedua jenis resistor tersebut digunakan sebagai standar dalam evaluasi jembatan DCC. Komponen utama dari jembatan DCC antara lain modulator inti magnetik toroidal ganda, perisai magnetik (*magnetic shield*) yang mengelilingi inti modulator, dan dua gulungan rasio yang menghubungkan kedua modulator dan perisai magnetik serta membawa arus untuk dibandingkan (Moore & Mijanich, 1988).

Ketika keluaran modulator nol, maka rasio arus sama dengan rasio pada belitan pada tingkat akurasi yang tinggi. Tujuan dari perisai magnetik adalah meningkatkan akurasi instrumen dua kali lipat dengan membuat instrumen sensitif terhadap medan magnet ambiens, baik secara internal maupun eksternal. Hal ini juga dapat

mengurangi *coupling* antara gulungan rasio dan modulator. Satu hal yang diharapkan adalah sensitivitas modulasi yang tidak tergantung pada tingkat impedansi dalam rasio lilitan dan perisai magnetik dengan permeabilitas bahan yang tinggi.

Skematik diagram dari *direct current comparator* ditunjukkan pada Gambar 3 yang merupakan hubungan antara dua sumber arus terisolasi dengan dua resistor dan lilitan rasio komparator arus. Keseimbangan dicapai ketika galvanometer dan keluaran modulator magnetik pada posisi nol (Guildline, 2007).

Persamaan (1) adalah persamaan pada saat *ampere-turn* dalam keadaan seimbang. Beberapa belitan tersebut terdiri dari belitan primer, belitan sekunder, dan belitan detektor. Lengan pertama, yaitu belitan sekunder yang sejumlah N_s lilitan (*turns*) dan lengan kedua, yaitu belitan primer yang sejumlah N_x lilitan (*turns*) membawa aliran arus untuk diperbandingkan.

$$(N_x) \times (I_x) = (N_s) \times (I_s) \dots\dots\dots (1)$$

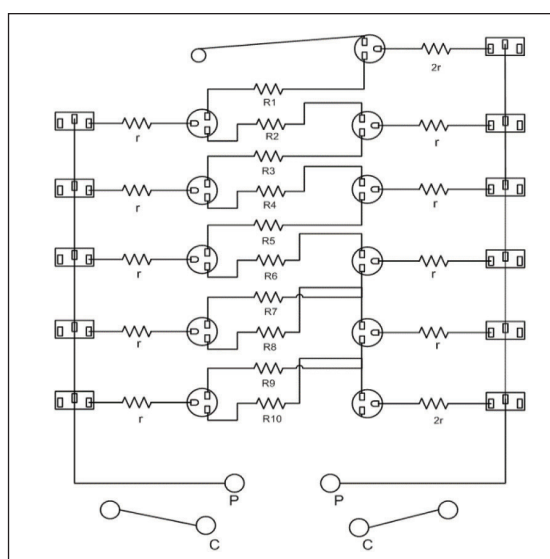
dengan :

N_x = jumlah variable lilitan primer

N_s = jumlah lilitan sekunder

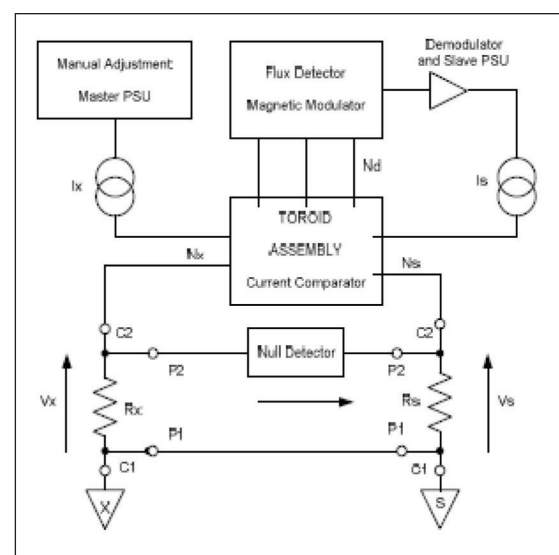
I_x = arus yang mengalir pada lilitan primer dan R_x

I_s = arus yang mengalir pada lilitan sekunder dan R_s



Sumber: Guildline (2007)

Gambar 2. Skematik Resistor Transfer Standar Tipe 9350



Sumber: Guildline (2007)

Gambar 3. Skematik Direct Current Comparator

Keadaan seimbang yang kedua (Guildline, 2007) dicapai dengan mengatur jumlah putaran lilitan N_X sampai keluaran dari *null* detektor jembatan sama dengan nol dan saat kondisi tegangan *null* ditunjukkan pada persamaan (2).

$$V_d = 0 \text{ dan } (I_X) \times (R_X) = (I_S) \times (R_S) \dots\dots\dots (2)$$

Kondisi ketika flux dan tegangan seimbang dicapai ditunjukkan pada persamaan (3) (Guildline, 2007).

$$R_X = (R_S) \times \frac{(N_S)}{(N_X)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

V_d = tegangan di null detektor

R_X = adalah resistor standar yang diuji

R_S = adalah resistor standar acuan

3. METODOLOGI

Konfigurasi sistem pengukuran untuk mengevaluasi parameter ukur rasio ditunjukkan pada Gambar 4. Pengukuran parameter ukur rasio ini menggunakan dua metode, yaitu metode generik dan basis interkoneksi resistansi.

Sistem pengukuran parameter ukur rasio dengan metode generik menggunakan resistor standar 1 Ω , 1,9 Ω , 10 Ω , 25 Ω , dan 100 Ω untuk menghasilkan sebelas kombinasi rasio R_X/R_S sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Metode ini mensyaratkan penggunaan resistor standar (R_S dan R_X) yang sudah diketahui nilai aktualnya dari serangkaian kalibrasi. Sementara itu, sistem pengukuran parameter ukur rasio dengan metode basis interkoneksi

resistansi standar (R_S) menggunakan resistor standar 100 Ω tipe 742A Fluke, sedangkan resistor standar (R_X) menggunakan resistor transfer standar 100 Ω tipe Hamon (model 9350). Resistor transfer standar ini dapat dikombinasikan dengan konfigurasi, baik secara seri maupun paralel sehingga resistor Hamon ini dapat menghasilkan 84 kombinasi nilai nominal resistansi. Dengan demikian, jika dilakukan pengukuran terhadap R_X/R_S , akan didapatkan rasio dari 0,1 sampai dengan 10.

Kesalahan parameter ukur rasio dengan menggunakan metode generik dapat dihitung dengan persamaan (4). Hasil tersebut diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran (*measured value/MV*) dengan nilai perhitungan (*calculated value/CV*). Hasil kalkulasi merupakan perbandingan dari R_X terhadap R_S yang masing-masing diperoleh berdasarkan nilai sertifikat kalibrasi dari resistor yang digunakan.

$$\delta = \frac{r_{MV} - r_{CV}}{r_{CV}} 10^6 \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

δ = kesalahan pembacaan jembatan DCC dalam *parts per million* (ppm)

r_{MV} = rasio terukur (*measured value*)

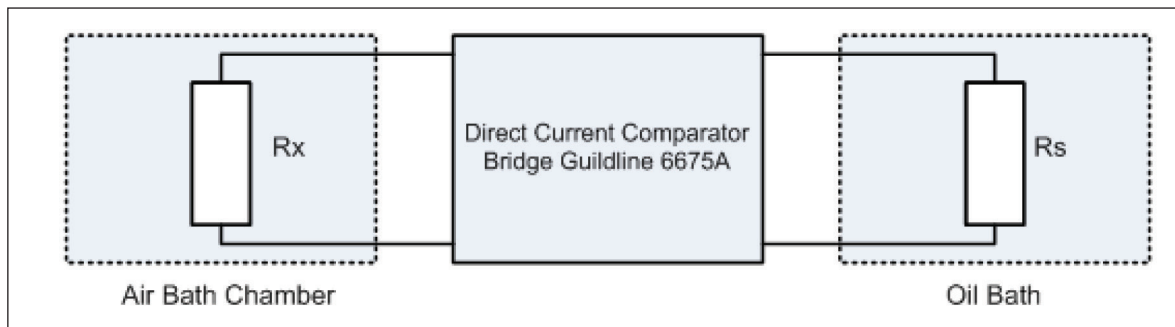
r_{CV} = rasio dikalkulasi dari nilai sebenarnya (*calculated value*)

Pada metode basis interkoneksi resistansi, nilai perhitungan berdasarkan hasil pengukuran dari sepuluh rasio basis resistor, yaitu R_1/R_2 , R_2/R_2 hingga R_{10}/R_S . Selanjutnya, sejumlah nilai rasio kombinasi untuk konfigurasi hubungan seri atau paralel dapat dihitung dari sepuluh pembacaan rasio basis resistor tersebut. Nilai rasio yang dihitung tersebut dinyatakan sebagai nilai kalkulasi (*calculated value*, CV). Kemudian, setiap konfigurasi hubungan seri atau paralel diukur untuk mendapatkan nilai rasio hasil pengukuran (*measured value*, MV). Kesalahan pembacaan jembatan DCC dapat ditentukan dengan persamaan [4] (Walker, 2011).

Sistem pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 terdiri dari resistor standar yang dijadikan acuan (R_S) dikondisikan pada suhu $23^\circ\text{C} \pm 0,03^\circ\text{C}$. Pengondisian ini merujuk pada salah satu prosedur kalibrasi

Tabel 1. Sebelas Kombinasi Rasio Metode Generik

Rasio	R_X/R_S
0,1	10 Ω /100 Ω
0,19	1,9 Ω /10 Ω
0,25	10 Ω /25 Ω
0,4	25 Ω /100 Ω
0,52	1 Ω /1,9 Ω
1	100 Ω /100 Ω
1,9	1,9 Ω /1 Ω
2,5	25 Ω /10 Ω
4	100 Ω /25 Ω
5,2	10 Ω /1,9 Ω
10	100 Ω /10 Ω



Gambar 4. Skematik Diagram Pengukuran Resistor Standar

yang dikeluarkan oleh *European Co-operation for Accreditation* (EA-4/02 M:2013). Hal ini dilakukan untuk mengurangi pergeseran nilai resistansi standar acuan dikarenakan perubahan suhu selama proses pengukuran berlangsung. Resistor standar R_X dikondisikan pada suatu *air bath chamber* yang memiliki kestabilan suhu $0,03^\circ\text{C}$ (Guildline, 2007). Kedua resistor standar tersebut dihubungkan dengan jembatan DCC.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran parameter ukur rasio jembatan DCC dinyatakan dalam nilai kesalahan pembacaan rasio jembatan DCC. Hasil evaluasi dengan menggunakan metode generik didapatkan dengan menggunakan persamaan [4]. Sebagai ilustrasi, hasil pengukuran untuk rasio 1:1 digambarkan dengan penggunaan dua buah resistor standar $100\ \Omega$ sebagai R_X dan R_S dalam pengukuran. Berdasarkan sertifikat kalibrasi di Puslit Metrologi LIPI, nilai aktual $R_S = 99,999688\ \Omega$, sedangkan $R_X = 100,002960$. Dari sertifikat tersebut, rasio R_X/R_S hasil perhitungan (CV) diperoleh sebesar 1,00000608, sedangkan rata-rata rasio dari lima kali pengukuran (MV) diperoleh sebesar 1,000007097. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, nilai kesalahan pembacaan rasio dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4).

$$\delta = \frac{1,00000608 - 1,000007097}{1,000007097} \cdot 10^6$$

$$\delta = 1,02\ \text{ppm}$$

Sebuah pendekatan, yaitu dengan metode kuadrat terkecil, digunakan dengan tujuan untuk

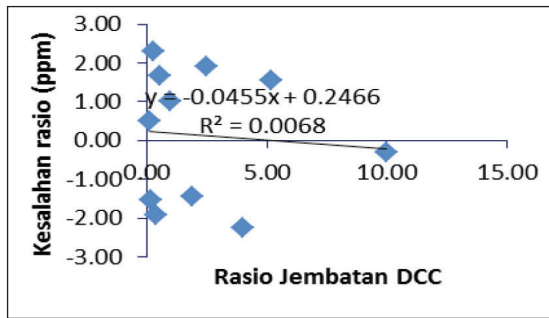
Tabel 2. Rasio dan Nilai Kesalahan Pembacaan Rasio

Rasio	Kesalahan pembacaan rasio (δ) (ppm)
0,1	0,51
0,19	-1,53
0,25	2,30
0,4	-1,91
0,52	1,67
1	1,02
1,9	-1,43
2,5	1,92
4	-2,24
5,2	1,54
10	-0,32

mengetahui ketidaklinieran parameter ukur rasio jembatan DCC pada semua kombinasi rasio dalam rentang rasio 0,1:1 sampai dengan 10:1 yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Ditunjukkan bahwa kesalahan rasio dengan menggunakan metode generik memiliki nilai dari jangkauan -2,24 ppm sampai dengan 2,30 ppm. Selanjutnya, grafik hubungan antara perubahan kesalahan rasio (sumbu y) terhadap perubahan nilai rasio (sumbu x) dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tampilan nilai R^2 pada grafik Gambar 5 dapat digunakan untuk menentukan keandalan tren dan keakuratan ramalan dari data jika didekatkan dengan metode kuadrat terkecil. Faktor korelasi yang didapat adalah sebesar 0,01 sehingga $R = \sqrt{(0,01)} = 0,08$, yang artinya bahwa korelasi antara kenaikan nilai rasio terhadap perubahan nilai kesalahan rasio tidak tepat linier, yakni hanya sebesar 7,7 %.



Gambar 5. Grafik sebaran data kesalahan nilai rasio jembatan DCC dengan menggunakan metode generik

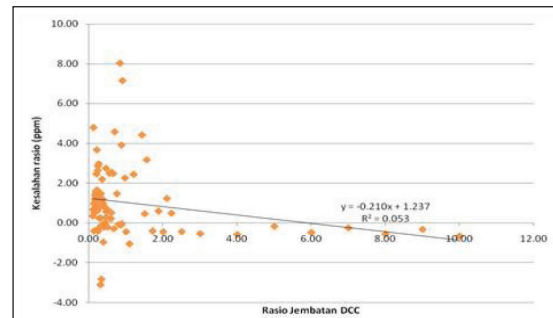
Hasil evaluasi dengan metode kuadrat terkecil lebih lanjut dapat ditunjukkan dari grafik Gambar 5 adalah pada rentang rasio dari 0,1:1 sampai dengan 10:1 diperoleh gradien grafik kesalahan pembacaan rasio sebesar -0,05 ppm dengan konstanta grafik sebesar 0,25 ppm. Pernyataan tersebut dapat diekspresikan kedalam suatu persamaan linier yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$y = -0,05x + 0,25 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Nilai ketidakpastian baku dari persamaan linier dengan metode kuadrat terkecil ini adalah sebesar 1,60 ppm. Pernyataan ini berarti nilai gradien tersebut menunjukkan bahwa perubahan kesalahan rasio cenderung konstan atau tidak dipengaruhi oleh peningkatan nilai rasio (R_X/R_S).

Namun, grafik dengan persamaan (5) hanya dapat menunjukkan nilai tengah dari sebaran data yang diperoleh karena faktor korelasi yang rendah. Untuk ukuran pemusatan data, nilai rata-rata suatu sebaran memiliki kecenderungan yang sama dengan ukuran pemusatan data nilai tengah. Nilai rata-rata kesalahan pembacaan rasio yang ditunjukkan dengan sebaran data menunjukkan ketidaklinieran parameter ukur rasio. Ketidaklinieran tersebut adalah sebesar 0,14 ppm dengan standar deviasinya sebesar 1,68 ppm.

Selanjutnya, evaluasi juga dilakukan dengan mengembangkan metode basis interkoneksi resistansi yang menggunakan resistor transfer standar Hamon pada nominal 100 W yang dibandingkan dengan resistor standar 100 W tipe Thomas. Berbeda dengan metode generik,



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran dari 44 Kombinasi Nilai Rasio Seri, Paralel atau Seri-Paralel pada Jembatan DCC

di mana nilai dari sertifikat adalah nilai yang digunakan untuk nilai hasil perhitungan (CV), nilai hasil perhitungan dengan metode interkoneksi resistansi adalah berdasar pada sepuluh basis rasio resistor 1:1 dengan nominal setiap resistor adalah 100 W sehingga nilai rasio hasil perhitungan (CV) untuk hubungan seri, paralel atau seri-paralel diperoleh berdasarkan kombinasi hubung interkoneksi dari resistor transfer standar Hamon. Hasil pengukuran (MV) diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh pembacaan rasio jembatan DCC pada kombinasi hubung seri, paralel atau seri-paralel yang bersangkutan. Grafik hubungan antara perubahan kesalahan rasio terhadap perubahan nilai rasio ditunjukkan pada Gambar 6.

Hasil evaluasi dengan metode kuadrat terkecil menunjukkan bahwa pada jangkauan rasio dari 0,1:1 hingga 10:1 diperoleh gradien grafik kesalahan pembacaan rasio sebesar -0,21 ppm dengan konstanta grafik sebesar 1,24 ppm. Nilai ketidakpastian baku dari persamaan linier dengan metode kuadrat terkecil ini adalah sebesar 1,78 ppm.

Tampilan nilai R^2 pada grafik Gambar 6 dapat digunakan untuk menentukan keandalan tren dan keakuratan ramalan dari data jika didekatkan dengan metode kuadrat terkecil. Faktor korelasi yang didapat adalah sebesar 0,053 sehingga $R = \sqrt{0,05} = 0,23$, yang artinya bahwa korelasi antara kenaikan nilai rasio terhadap perubahan nilai kesalahan rasio tidak tepat linier, yakni hanya sebesar 23%. Sementara itu, nilai ketidaklinieran adalah 0,99 ppm dengan standar deviasinya sebesar 1,78 ppm.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Pengukuran Parameter Kesalahan Pembacaan Rasio

Metode	Ketidaklinieran (ppm)	Derajat Kebebasan	Faktor Korelasi
Generik	(0,14± 1,68)	9	7,7 %
Basis Interkoneksi Resistansi	(0,99 ± 1,78)	84	23 %

Tabel 3 menyajikan daftar nilai yang diperoleh dari pembahasan evaluasi pengukuran kesalahan pembacaan rasio dengan menggunakan kedua metode yang telah dipaparkan di atas.

Jika dibandingkan dengan metode generik, validasi metode basis interkoneksi resistansi menghasilkan derajat ekuivalensi sebesar $(0,99-0,14) \text{ ppm} = 0,85 \text{ ppm}$ dengan ketidakpastian gabungan sebesar 2,4 ppm. Hasil pengukuran tersebut dapat dinyatakan memiliki kesesuaian pengukuran dikarenakan nilai derajat ekuivalensi, yaitu $|En| \leq 1$.

Dari dua metode yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode basis interkoneksi resistansi telah menghasilkan nilai kesalahan lebih besar dibandingkan dengan metode generik. Namun, metode basis interkoneksi resistansi menyajikan atau memberikan lebih banyak perbandingan nilai resistansi sehingga derajat kebebasannya relatif lebih besar. Lebih daripada itu, penggunaan metode basis interkoneksi resistansi untuk pengujian parameter ukur rasio jembatan DCC yang memanfaatkan resistor transfer standar Hamon sebagai RX dapat meminimalkan biaya dalam proses pengukuran parameter ukur rasio karena resistor standar yang digunakan tersebut tidak perlu dikalibrasi untuk mengetahui nilai aktualnya.

Dengan demikian, nilai standar deviasi dari ketidaklinieran dengan menggunakan metode basis interkoneksi resistansi dapat dimanfaatkan menjadi salah satu komponen ketidakpastian yang digunakan dalam analisis ketidakpastian kalibrasi resistor standar menggunakan jembatan DCC.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kesalahan parameter ukur rasio jembatan komparator arus searah, dapat disimpulkan bahwa pengukuran parameter ukur rasio jembatan DCC dengan metode generik untuk rentang rasio 0,1:1 sampai dengan 10:1 menggunakan resistor 1 Ω , 1,9 Ω , 10 Ω , 25 Ω , dan 100 Ω menghasilkan nilai ketidaklinieran sebesar $(0,14 \pm 1,68) \text{ ppm}$ dan faktor korelasi 7,7 %.

Untuk rentang yang sama, pengukuran parameter ukur rasio dengan metode basis interkoneksi resistansi memiliki nilai ketidaklinieran sebesar $(0,99 \pm 1,78) \text{ ppm}$ dan faktor korelasi sebesar 23%.

Nilai standar deviasi dari ketidaklinieran dengan menggunakan metode basis interkoneksi resistansi menjadi salah satu komponen ketidakpastian yang digunakan dalam analisis ketidakpastian kalibrasi resistor standar menggunakan jembatan DCC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Puslit Metrologi LIPI dan jajaran manajemen yang telah menyediakan sarana dan prasarana untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzumar, M. & Faisal, A. (2015). Diseminasi resistor standar 1 k Ω ke standar kerja. *Jurnal Standardisasi*, vol 17(3), hh.223–232.
- Guildline,. (2007),. *Technical Mmanual for DCC Bbridge Mmodel 6675A*,. Canada: Guildline Instrument. Canada.
- Guildline,. (2007),. *Technical Mmanual for Hamon Ttransfer Sstandard model 9530*,. Canada: Guildline Instrument. Canada.

- Guildline,. (2007),. *Technical Mmanual for Mmodel 5031 Aair Bbath*,. Canada: Guildline Instrument. Canada.
- Isotech,. *User Mmaintenance Mmanual/Hhandbook Rresistance Bbrigde Ccalibrators Mmodel RBC100M & RBC400M,: Isothermal Ttechnology Llimited*,. Pine Grove, Southport, PR9 9AG, England.
- Joint, P. & Fiona, R. (2008),. *Metrologi: sSebuah pengantar*. (A. Praba Drijakara, Penerjemah (Trans.),. Jakarta.
- Melville, B. S,. (1985),. *Basic Eelectrical Mmeasurements*. New Delhi: Prentice Hall Oof India Private Limited. New Delhi, page 88—90.
- Moore, W. J. M & Mijanic, P. N,. (1988),. *The Ccurrent Ccomparator*,. London, United Kingdom: Peter pPeregrines lLtd, London, United Kingdom.
- Walker, R,. H,. (2011),. *Automatic linearity calibration in a resistance thermometry bridge*. Springer Science Business Media, LLC.