

APLIKASI ANALISIS SISTEM PENGUKURAN PADA KALIBRASI INTERNAL SUHU: STUDI KASUS

APPLICATION OF MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS ON INTERNAL CALIBRATION OF TEMPERATURE: A CASE STUDY

Nurdina Gita Pratiwi¹, Novitasari Novitasari¹, Vera Permatasari¹, Wuwus Ardiatna¹, Siddiq Wahyu Hidayat¹, Irawan Sukma¹, Asep Rahmat Hidayat¹, Ihsan Supono¹

¹Pusat Riset Teknologi Pengujian dan Standar - BRIN

Email: n.gitapратиwi@gmail.com

ABSTRAK

Kalibrasi merupakan salah satu aspek yang dipersyaratkan dalam penggunaan setiap alat ukur. Biaya dan waktu pengerjaan kalibrasi eksternal dapat diminimalisir dengan melakukan kalibrasi internal sesuai standar yang tertelusur. Namun, hal ini menimbulkan bias mengenai kehandalan laboratorium dalam melakukan kalibrasi internal. Oleh karena itu, di dalam penelitian ini diusulkan sebuah metode menggunakan Analisis Sistem Pengukuran (*Measurement System Analysis / MSA*) untuk mengevaluasi sebuah kalibrasi internal dan untuk mengetahui sumber kontribusi variasi yang dihasilkan, termasuk *repeatability* dan *reproducibility* sehingga dapat meningkatkan sistem pengukuran secara keseluruhan. Studi kasus pada penelitian ini adalah Analisis Sistem Pengukuran pada lingkup kalibrasi internal suhu termokopel tipe T. Metode pengukuran yang digunakan yaitu membandingkan termokopel tipe T dengan PT100 di dalam *waterbath* untuk mendapatkan nilai faktor koreksi dan ketidakpastian pengukuran, selanjutnya dilakukan evaluasi dengan studi GR&R dan parameter kualitas. Hasil faktor koreksi yang didapatkan -0,45~0,19 dan 0,32~0,49 untuk ketidakpastian pengukuran. Kontribusi terbesar dari studi GR&R diperoleh dari *repeatability*. Pada pengukuran 40 °C didapatkan hasil parameter kualitas (SNR, DR, dan Cp) yang memiliki potensi dapat direkomendasikan karena pada suhu tersebut memiliki hasil pengukuran yang lebih stabil.

Kata Kunci: Analisis Sistem Pengukuran, MSA, kalibrasi internal suhu, studi GR&R, parameter kualitas.

ABSTRACT

Calibration is one of the aspects required in the use of every measuring instrument. External calibration costs and time can be reduced by performing internal calibration to traceable standards. However, this creates a bias regarding the reliability of the laboratory in carrying out internal calibration. Therefore, in this research a method is proposed using Measurement System Analysis (MSA) to evaluate an internal calibration and to determine the source of the resulting variation contribution, including repeatability and reproducibility, in order to improve the measurement system as a whole. The case study in this research is Measurement System Analysis in the internal calibration scope of type T thermocouple temperature. The measurement method used is comparing type T thermocouples with PT100 in a water bath to obtain correction factor values and measurement uncertainty, followed by evaluation using GR&R studies and quality parameters. The obtained correction factor and measurement uncertainty values were -0.45~0.19 and 0.32~0.49, respectively. The GR&R study's greatest contribution is its repeatability. Quality parameter results (SNR, DR, and Cp) were obtained at 40 °C measurements, which have the potential to be recommended because measurement results are more stable at this temperature.

Kata kunci: *Measurement system analysis, MSA, temperature internal calibration, GR&R study, quality parameter.*

1. PENDAHULUAN

Kalibrasi alat ukur merupakan hal yang penting untuk dilakukan demi menjamin kualitas pengukuran agar terhindar dari kesalahan diagnosis, ketidaktepatan pengaturan dan kesalahan pembacaan alat ukur. Kalibrasi merupakan serangkaian kegiatan yang menghubungkan antara nilai yang ditunjukkan oleh sistem pengukuran yang diwakili oleh bahan ukur dengan nilai-nilai yang sudah diketahui (standar) yang berkaitan dengan besaran

yang diukur dalam kondisi tertentu. Kegiatan ini bertujuan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukkan alat ukur dan/atau bahan ukur (Caciotta, 2008; Kemenkes, 2015). Alat pengukur diharapkan menghasilkan data yang akurat dan presisi. Akurasi adalah kedekatan pengukuran terhadap standar atau nilai. Sedangkan presisi adalah derajat kedekatan dari beberapa hasil pengukuran antara yang satu dengan yang lain (Ardiatna et al., 2016).

Kalibrasi berkala yang dilakukan pada lebih dari satu alat akan menelan biaya yang sangat mahal, dan beberapa kalibrasi eksternal juga memerlukan waktu yang relatif lama. Hal ini memerlukan suatu upaya untuk mengurangi jumlah alat yang dikalibrasi dengan spesifikasi yang sama, yang dalam skala ini adalah kalibrasi internal atau pengecekan antara. Pengecekan antara dilakukan untuk melihat kemampuan alat pada waktu di antara dua waktu kalibrasi, dimana salah satu metodenya dapat berupa kalibrasi internal dan dipertimbangkan mampu menurunkan biaya kalibrasi. Selain itu dalam pedoman penatalaksanaan laboratorium pun disebutkan bahwa kalibrasi internal diperlukan sebagai pemeriksaan ganda dalam kalibrasi (Caciotta, 2008; NATA, 2012; Samodro et al., 2016).

Penerapan kalibrasi internal dalam rangka meminimalisir biaya kalibrasi memunculkan pertanyaan tentang kehandalan sistem pengukuran dalam kalibrasi internal tersebut. Oleh karena itu, Analisis Sistem Pengukuran atau *Measurement System Analysis* (MSA) merupakan aspek yang harus diperhatikan dalam menjaga kualitas alat (Ardiatna et al., 2016; Daniels et al., 2005; McNEESE et al., 1991). MSA

telah banyak digunakan di berbagai studi kasus terutama pada proses industri (Al-Qudah, 2017), namun belum ada yang membahas pada kalibrasi internal.

Sebuah hasil pengukuran kalibrasi menampilkan nilai faktor koreksi dan nilai ketidakpastian pengukuran, dimana kedua nilai tersebut dihasilkan dari kesalahan oleh alat. Selain itu, terdapat faktor lain yang mempengaruhi hasil pengukuran seperti operator pengujian, metode pengukuran, dan objek ukur (Al-Refaie et al., 2010; Firdaus et al., 2016). Nilai variasi inilah yang akan dibahas dalam Analisis Sistem Pengukuran. Hal ini dilakukan dengan mengembangkan berbagai teknik kualitas pengukuran untuk menemukan variasi pengukuran total. Validasi menggunakan MSA pada penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai pengukuran kalibrasi internal. Sesuai dengan tujuan penggunaan MSA untuk memastikan keandalan data yang diukur dan mengetahui kesalahan pengukuran di sistem pengukuran tersebut (Wu et al., 2014; Pai et al., 2015).

Berdasarkan hal tersebut perlu dikembangkan suatu metode analisis sistem pengukuran internal yang valid sehingga mampu menunjukkan akurasi nilai ukur yang tepat dengan pengukuran kalibrasi tersistem meskipun dilakukan oleh operator yang berbeda. Oleh karena

itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sistem pengukuran kalibrasi internal, yang difokuskan pada kalibrasi internal suhu dengan menggunakan *waterbath*. Diharapkan metode ini dapat dimanfaatkan dalam mengevaluasi sistem pengukuran kalibrasi internal pada besaran lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pengukuran merupakan sebuah pengukuran yang terdiri dari serangkaian perangkat keras, perangkat lunak, metode dan prosedur, upaya manusia, kondisi lingkungan, alat ukur, dan objek ukur (Edition, 2010; Stamm, 2015). Sebuah pengukuran yang baik seharusnya menghasilkan data yang benar, dimana tidak terdapat nilai *error* di dalamnya. Jika dalam melakukan proses pengukuran itu sendiri memiliki nilai kesalahan, maka hasil pengukuran tersebut tidak dapat dipercaya (AIAG, 2002; Al-Refaie et al., 2010; Pai et al., 2015; Stevens et al., 2010). Buruknya sistem pengukuran akan berdampak pada *controlling*, *monitoring*, *developing*, dan pengaturan proses secara efektif (Senvar et al., 2010). Untuk menjamin batas *error* pengukuran yang dapat diterima, diperlukan MSA dan pengendalian

terhadap variabilitas yang mempengaruhinya (Pai et al., 2015).

MSA merupakan serangkaian metode statistik komprehensif yang terdiri dari *Statistical Process Control* (SPC), analisis kapabilitas, dan *Gauge Repeatability* dan *Reproducibility* (GR&R) *study* (AIAG, 2002; Kazerouni, 2009; Senvar et al., 2010; Smith et al., 2007). Tujuan dari MSA adalah untuk memisahkan variasi yang dihasilkan oleh objek ukur dengan *error* yang dihasilkan oleh sistem pengukuran (Wang, et al., 2007). MSA merupakan kunci keberhasilan untuk setiap pengukuran yang dapat menjamin pengukuran di masa depan (Senvar et al., 2010).

Beberapa prinsip penting dalam MSA, yaitu (Kazerouni, 2009; Klaput et al., 2012; Król et al., 2013; Pandiripalli, 2010):

- 1) Akurasi: hubungan antara pengukuran dengan nilai referensinya. Akurasi memiliki tiga aspek didalamnya, diantaranya:
 - a) Stabilitas: tingkat konsistensi pengukuran yang berulang
 - b) Bias: perbedaan nilai terukur dengan nilai objek ukur
 - c) Linieritas: nilai bias pada rentang pengukuran
- 2) Presisi: hubungan antara satu pengukuran dengan pengukuran lainnya

yang memiliki objek dan alat ukur yang sama.

a) *Repeatability*: variabilitas pengukuran yang dihasilkan dari alat ukur

b) *Reproducibility*: variabilitas pengukuran yang dihasilkan dari operator yang berbeda

Akurasi pengukuran sangat bergantung pada kalibrasi alat, sedangkan presisi pengukuran berhubungan dengan *repeatability* dan *reproducibility* (AIAG, 2002; Waseem et al., 2015). Sebuah alat yang terkalibrasi sekalipun dapat menghasilkan kesalahan (Floyd et al., 1995; ROTH, 1992). Hal ini disebabkan oleh alat ukur (*repeatability*) dan operator (*reproducibility*), sehingga untuk memastikan bahwa variabilitas sistem pengukuran tidak besar, maka sangat penting untuk dilakukan GR&R *study* (Burdick, 2014).

Adapun berbagai cara untuk menghitung GR&R (Kazerouni, 2009; Klaput et al., 2012), diantaranya:

1. Metode *Range*
2. Metode *Average & Range* (\bar{X} /R)
3. *Average and Standard Deviation*
4. Metode *Analysis of Variance* (ANOVA)

Metode *Average & Range* dan metode ANOVA paling sering

digunakan dari semua teknik perhitungan GR&R *study* (AIAG–Chrysler Corp. General Motors Corp., 2010; AIAG, 2002; Al-Refaie et al., 2010; Burdick, 2014; Ermer, 2006; Floyd et al., 1995; Kazerouni, 2009; Klaput et al., 2012; Tsai, 1988; Wang et al., 2007; Waseem et al., 2015). Metode *Average & Range* (Tabel 1) terbagi menjadi 3 variasi komponen, sedangkan metode ANOVA terbagi menjadi 4 variasi dengan memisahkan komponen *reproducibility* menjadi *operator variation* dan *operator-part variation* (Kazerouni, 2009).

Selain itu dalam mengevaluasi sistem pengukuran juga terdapat kriteria lainnya yang harus ditekankan yaitu metrik kapabilitas yang terdiri dari (Montgomery et al., 2008; Senvar et al., 2010):

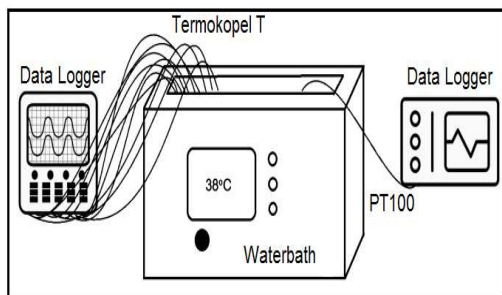
1. *R&R criterion*
2. *Precision-to-tolerance ratio* (PTR)
3. *Ratio of process (part) variability to total variability* (ρP)
4. *Ratio of measurement system variability to total variability* (ρM)
5. *Signal-to-noise ratio* (SNR)
6. *Discrimination ratio* (DR)

Tabel 1. Perbandingan komponen GR&R study dengan metode *Average and Range* dan metode ANOVA

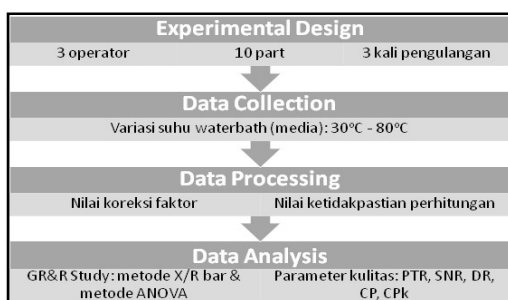
No	<i>Average & Range</i>	ANOVA
1.	<i>Part Variation</i>	<i>Part Variation</i>
2.	<i>Repeatability</i>	<i>Instrument/Tool Variation</i>
3.	<i>Reproducibility</i>	<i>Operator Variatio</i>
4.	-	<i>Operator-part Variation</i>

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen. Beberapa peralatan yang digunakan yaitu *data logger* yang terhubung pada 10 *channel* termokopel tipe T, PT100 yang telah terkalibrasi, dan *waterbath* sebagai media kalibrasi yang diatur sesuai dengan Gambar 1.



Gambar 1. Sistem pengukuran kalibrasi internal



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Desain penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 di mana masing-masing dari tiga operator melakukan kalibrasi sebanyak tiga kali pengulangan terhadap termokopel tipe T dengan cara membandingkan dengan PT100 di dalam *waterbath* yang divariasikan suhunya pada rentang 30-80 °C. Ketiga operator menggunakan standar prosedur pengukuran yang sama untuk mengurangi bias antar operator.

Hasil pengukuran kemudian diolah dan didapatkan nilai faktor koreksi dan nilai ketidakpastian pengukuran, mengacu pada ISO GUM (*Guide to Expression of Uncertainty in Measurement*), dengan komponen ketidakpastian dan resolusi dari data logger termokopel tipe T, logger PT100, dan *waterbath*. Evaluasi MSA, dianalisis dengan pendekatan statistik GR&R, metode *Xbar/range* dan ANOVA menggunakan Minitab untuk mendapatkan nilai *repeatability*, *reproducibility*, total GR&R, *part-to-part*, dan total *variation* dengan batas keberterimaan di bawah 10% dan bersyarat 10-30% (Firdaus et al., 2016). Selain itu dilakukan juga evaluasi kualitas sistem pengukuran menggunakan parameter PTR, SNR, Cp (*capability process*), dan DR dengan persamaan dan batas limit ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan dan standar batas dari parameter kualitas (Firdaus et al., 2016)

No	Persamaan Parameter Kualitas	Standar batas
1	$PTR = \frac{k\sigma_g}{USL - LSL}$	$\leq 0,1$
2	$SNR = \sqrt{2\gamma_R}$	≤ 5
3	$DR = \sqrt{\frac{\alpha_p^2}{\alpha_g^2} + 1}$	≤ 4
4	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p}$	$\geq 1,67$
5	$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma_p}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma_p} \right\}$	$\geq 1,33$

dengan,

k adalah konstanta dengan nilai 5,15 pada interval 99% atau bernilai 6 pada interval 99,7%,

σ_g adalah standar deviasi dari objek pengukuran,

σ_p adalah standar deviasi dari alat ukur, USL adalah *Upper Spec Limit* atau batas atas spesifikasi alat

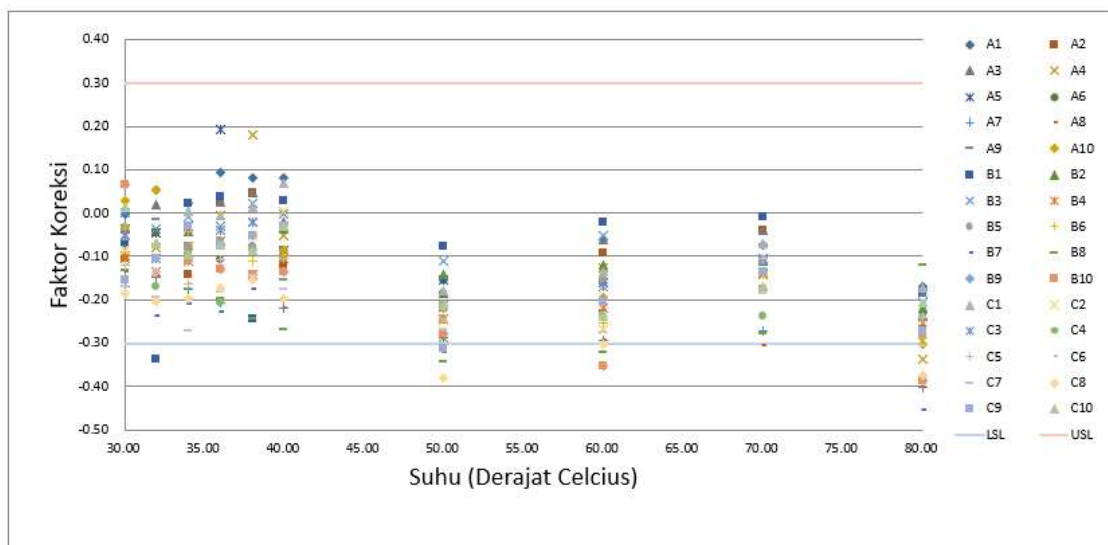
LSL adalah *Lower Spec Limit* atau batas bawah spesifikasi alat,

C_p adalah perbandingan antara variansi proses terhadap variansi sistem pengukuran

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

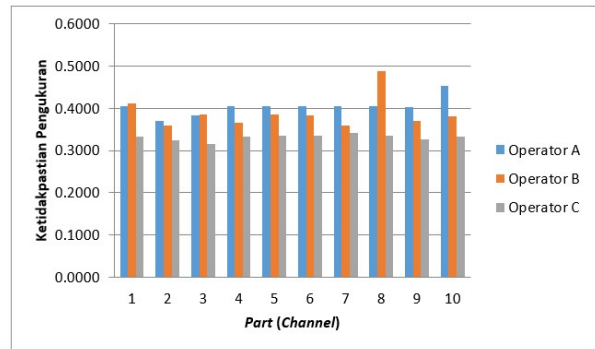
a. Nilai faktor koreksi dan ketidakpastian pengukuran

Nilai faktor koreksi merupakan nilai selisih antara nilai yang terukur (Termokopel T) terhadap referensinya (PT100), dimana hasil yang didapatkan berada pada rentang -0,45-0,19 secara keseluruhan. Nilai faktor koreksi yang semakin mendekati nilai 0,0 menandakan semakin akurat hasilnya (Sukiyanto et al., 2017). Distribusi nilai faktor koreksi dari setiap operator dan *part* termokopel dapat dilihat pada Gambar 3, di mana nilai tersebut merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan.



Gambar 3. Hasil faktor koreksi pada setiap suhu, part termokopel, dan operator

Gambar 3 terlihat bahwa sebaran nilai di masing-masing suhu sangat fluktuatif. Hal ini disebabkan karena perubahan suhu di dalam *waterbath* tidak stabil sedangkan nilai ketidakpastian pengukuran berada pada rentang 0,32~0,49 secara keseluruhan (Gambar 4). Hasil ini sudah memperhitungkan nilai ketidakpastian dari *waterbath*. Nilai ketidakpastian pengukuran sangat dipengaruhi oleh nilai ketidakpastian dari alat ukur yang digunakan sebagai pembanding. Semakin kecil nilai ketidakpastian suatu alat maka semakin teliti hasil pembacaannya. Pada penelitian ini, dikarenakan nilai ketidakpastian alat ukur pembanding sebesar 0,3 maka nilai ketidakpastian pengukuran yang dilakukan berada diatas atau sama dengan 0,3.



Gambar 4. Hasil Ketidakpastian Pengukuran

Berdasarkan Gambar 4, Operator A dan B memiliki kecenderungan ketidakpastian pengukuran yang sama, yaitu sekitar 0,4. Sedangkan operator C memiliki nilai yang lebih kecil dibanding operator A dan B, yaitu sekitar 0,3. Nilai ketidakpastian pengukuran yang dilakukan oleh operator C sama dengan nilai ketidakpastian alat ukur atau dengan kata lain operator C melakukan pengukuran dengan sangat presisi. Meskipun pengukuran oleh ketiga operator dilakukan dengan prosedur yang sama namun hasil statistik dengan menggunakan uji ANOVA ($p\text{-value} < 0,05$) menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna terutama pada operator C.

Tabel 3. Hasil studi GR&R

Metode	Suhu	Repeatability	Reproducibility	Total G&R	Part-To-Part	Total Variation
Anova	30	83,64	3,18	86,82	13,18	100
	32	82,96	12,31	95,27	4,73	100
	34	73,07	0,00	73,07	26,93	100
	36	65,00	8,99	73,07	26,01	100
	38	78,57	12,84	91,41	8,59	100
	40	30,02	8,99	39,01	60,99	100
	50	77,20	0,00	77,20	22,8	100

	60	58,56	5,42	63,97	36,03	100
	70	67,95	0,00	67,95	32,05	100
	80	95,06	0,00	95,06	4,94	100
	30	76,86	2,56	79,42	20,58	100
	32	67,27	17,27	84,54	15,46	100
	34	64,09	0,00	64,09	35,91	100
	36	55,29	8,11	64,09	36,6	100
Xbar/Rbar	38	54,36	21,2	75,55	24,45	100
	40	28,95	8,01	36,96	63,04	100
	50	73,69	0,00	73,69	26,31	100
	60	56,56	5,88	62,44	37,56	100
	70	63,19	0,00	63,19	36,81	100
	80	73,29	0,00	73,29	26,71	100

b. *Studi GR&R*

Tujuan dari sebuah studi GR&R adalah untuk memisahkan nilai variasi yang dihasilkan oleh antar bagian dan R&R. Hasil GR&R yang didapatkan dari pengukuran berada pada rentang (39,01~95,27)% untuk Anova dan (36,96~84,54)% untuk Xbar/R (Tabel 3). Nilai ini berada di atas nilai yang direkomendasikan. Nilai keberterimaan dari total GR&R yang ditetapkan oleh AIAG adalah dibawah 10%. Rentang (10~30)% masih dapat dipertimbangkan, namun untuk diatas 30% tidak dapat diterima (Firdaus et al., 2016; Senvar et al., 2010). Dengan kata lain, pada variasi antar-*part* (antar-termokopel) tidak berkontribusi banyak pada pengukuran. Hal ini dikarenakan termokopel (*part*) diukur secara bersamaan dalam sebuah *waterbath* untuk kalibrasi suhu. Selain itu, termokopel T yang digunakan merupakan

satu gulungan utuh yang dibagi menjadi 10 *part* untuk 10 *channel data logger*. Pengukuran ini disatu sisi sangat dipengaruhi oleh total GR&R secara spesifik dikarenakan nilai *repeatability* yang jauh lebih besar dibandingkan nilai *reproducibility*. Hal ini sejalan dengan hasil faktor koreksi dan ketidakpastian pengukuran dengan hasil pengulangannya yang sangat fluktuatif tetapi antar-operator tidak menghasilkan banyak perbedaan. Hal berbeda ditunjukkan pada hasil Xbar/R yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan hasil ANOVA untuk total GR&R, begitu pula dengan *mean* dari masing-masing *repeatability & reproducibility* yang menunjukkan hasil lebih tinggi dibanding dengan Xbar/R.

Berbeda terbalik dengan hasil *part to part*, dimana Xbar/R lebih besar dibandingkan Anova. Meski demikian, hasil statistik (uji T) menunjukkan tidak

ada perbedaan yang signifikan antar keduanya ($p\text{-value}=0,813$).

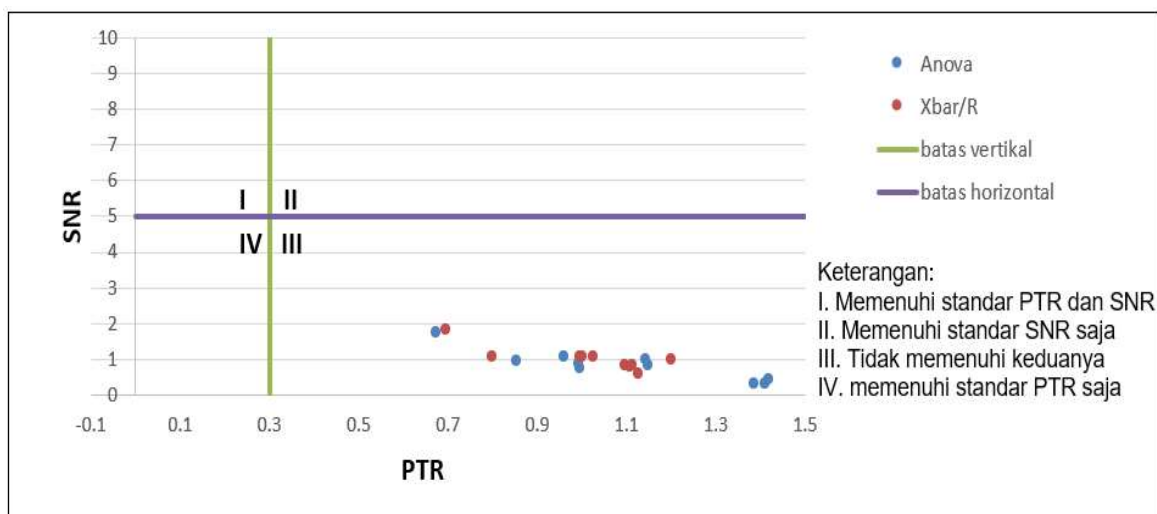
Pada media yang fluktuasinya lebih stabil dapat memperkecil nilai variasi *reproducibility*. Selain itu, diperlukan juga usaha agar termokopel berada pada satu titik yang sama di dalam media setiap kali akan melakukan kalibrasi untuk menghindari adanya perbedaan keseragaman dan kestabilan pada *waterbath* (Larrasati et al., 2016).

Meskipun hasil studi GR&R dari pengukuran tidak dapat direkomendasikan, namun terdapat satu kondisi pengukuran yang hasilnya mendekati batas ambang limit pada suhu 40 °C yaitu dengan nilai 39% (ANOVA) dan 37% (Xbar/R) dengan ambang batas 30% untuk diterima bersyarat (Firdaus et al., 2016; Senvar et al., 2010). *Repeatability* pada suhu tersebut lebih

stabil sehingga nilai total GR&R yang dihasilkan tidak begitu besar. Hal ini disebabkan *waterbath* yang lebih stabil pada suhu tersebut berdasarkan sertifikat kalibrasi alat tersebut.

c. Parameter Kualitas

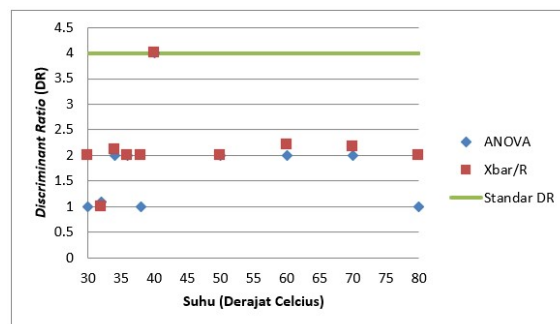
Parameter kualitas terdiri dari beberapa parameter diantaranya PTR, SNR, DR, dan kapabilitas proses (C_p dan C_{pk}). Parameter kualitas ini digunakan untuk mengukur kapabilitas alat (Firdaus et al., 2016). SNR merupakan rasio antara kemampuan alat terhadap toleransi yang dapat diterima oleh *part*. PTR membutuhkan SNR untuk mengukur seberapa besar kehandalan dari suatu pengukuran. PTR dan SNR biasanya digambarkan dalam sebuah *metric* (Firdaus et al., 2016; Senvar et al., 2010), seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Metrik hasil PTR (*Precision to Tolerance Ratio*) terhadap SNR (*Signal to Noise Ratio*)

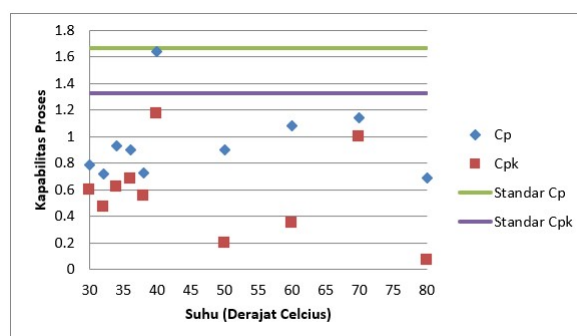
Hasil yang didapatkan berada pada area 3 yang tidak memenuhi standar PTR maupun SNR meskipun nilai SNR pada *range* 2-5 masih dapat direkomendasikan. Hasil nilai SNR memiliki nilai mendekati batas 2 pada pengukuran 40 °C untuk ANOVA (1,77) maupun Xbar/R (1,85). Hasil ini sesuai dengan hasil studi GR&R dimana nilai 40 °C memiliki nilai lebih baik. pada SNR nilai Xbar/R lebih baik dibanding nilai ANOVA, berbanding terbalik dengan hasil studi GR&R, nilai ANOVA lebih baik dibanding nilai Xbar/R.

Hal berbeda ditunjukkan pada nilai DR yang merupakan kehandalan sistem pengukuran untuk memantau proses. Hasil DR (Gambar 6) berada dibawah batas yang dapat diterima, yaitu di bawah 4 (Firdaus et al., 2016). Pada suhu 40 °C nilai DR berada di batas ambang seperti pada hasil SNR sebelumnya. Nilai DR di bawah 2 tidak dapat diterima. Dalam pengukuran ini, hasil yang tidak dapat diterima yaitu pada suhu rendah maupun suhu tinggi dengan hasil pengukurannya kurang stabil.



Gambar 6. Hasil DR (*Discrimination Ratio*)

Kapabilitas proses, baik C_p maupun C_{pk} , merupakan kehandalan proses dalam menciptakan hasil yang sesuai dengan toleransi yang ditetapkan. C_p merupakan toleransi terhadap *Six Sigma Process* sedangkan C_{pk} merupakan kehandalan proses secara aktual (Firdaus et al., 2016). Berdasarkan hasil pada Gambar 7, C_p maupun C_{pk} berada di bawah nilai standar. Meskipun pada suhu 40 °C nilai C_p (1,64) juga hampir memenuhi batas 1,67 yang dipersyaratkan.



Gambar 7. Hasil kapabilitas proses (C_p dan C_{pk})

5. KESIMPULAN

Nilai faktor koreksi pada setiap suhu sangat fluktuatif dan memiliki lebar *range* yang cukup besar, yaitu dengan nilai -0,45~0,19. Sedangkan nilai ketidakpastiannya juga cukup besar, yaitu dengan nilai 0,32~0,49 secara keseluruhan. Selain itu, hasil GR&R dan parameter kualitas berada di luar batas standar yang diterima. Meskipun demikian, pada pengukuran 40 °C didapatkan hasil GR&R, SNR, DR, dan Cp yang memiliki potensi dapat direkomendasikan karena pada suhu tersebut memiliki hasil pengukuran yang lebih stabil. Hasil ANOVA maupun Xbar/R pada setiap pengukuran tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil kalibrasi internal suhu yang handal pada penelitian ini diperlukan *repeatability* yang lebih stabil.

Pada dasarnya secara umum MSA dapat digunakan untuk mengukur kehandalan sebuah kalibrasi internal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sumber kontribusi variasi yang dihasilkan, baik dari *repeatability*, *reproducibility*, atau dari *part*-nya, sehingga dengan diketahuinya sumber kontribusi dapat meningkatkan sistem pengukuran secara keseluruhan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas dukungan yang diberikan secara langsung maupun tidak langsung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- AIAG–Chrysler Corp. General Motors Corp., F. M. C. (2010). *Measurement Systems Analysis, Reference Manual*.
- AIAG, A. S. Q. (2002). *Measurement systems analysis-reference manual. The Automotive Industries Action Group, Troy, MI*.
- Al-Refaie, A., & Bata, N. (2010). Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures. *Measurement*, 43(6), 842–851.
- Al-Qudah, S. K. (2017). A study of the AIAG measurement system analysis (MSA) method for quality control. *Journal of Management & Engineering Integration*, 10(2), 68-80.
- Ardiatna, W., Hidayat, S. W., & Sukma, I. (2016). Measurement System Analysis (MSA) of Aneroid Sphygmomanometer (Dial) Pressure Testing. In *11th Annual Meeting on Testing and Quality* (pp. 55-63).
- Burdick, R. K. (2014). *Gauge*

- Repeatability and Reproducibility (R & R) Studies, Misclassification Rates. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*.
- Caciotta, M. (2008). Informative calibration of the instrumentation. *Measurement*, 41(2), 211–218.
- Daniels, L., Burdick, R. K., & Quiroz, J. (2005). Confidence intervals in a gauge R&R study with fixed operators. *Journal of Quality Technology*, 37(3), 179–185.
- Edition, F. (2010). *Measurement Systems Analysis*.
- Ermer, D. S. (2006). Improved gage R&R measurement studies. *Quality Progress*, 39(3), 77–79.
- Firdaus, H., & Widiati, T. (2016). Keandalan Sistem Pengukuran Kebocoran Arus Listrik. *11th Annual Meeting on Testing and Quality*, ISSN, 1907–7459.
- Floyd, D. A., & Laurent, C. J. (1995). Gauging: An underestimated consideration in the application of statistical process control. *Quality Engineering*, 8(1), 13–29.
- Kazerouni, A. M. (2009). Design and analysis of gauge R&R studies: Making decisions based on ANOVA method. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 52, 31–35.
- Kemenkes. (2015). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 54 Tahun 2015 TENTANG PENGUJIAN DAN KALIBRASI ALAT KESEHATAN*.
- Klaput, P., & Plura, J. (2012). Influence of used method on the results of gage repeatability and reproducibility study. *Proceedings of Metal 2012 21st International Conference on Metallurgy and Materials, Tangerang, Brno, Czeck Republic*, 23–25.
- Król, A., Czaja, W., Kost, G., Czop, P., Wszolek, G., & Jakubowski, D. (2013). Experimental demonstration of Measurement System Analysis. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 17, 92–96.
- Larassati, D., Sholeh, R., Rifai, I, A., Zaid, G., Fajria, M, A., Sindhu, A., Suherlan, Achmadi, A., & Azumar, M. (2016). Uji Keseragaman Dan Kestabilan Bak Air Sebagai Media Kalibrasi Termometer Telinga. *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, 317-322.
- McNEESE, W. H., & KLEIN, R. A. (1991). Measurement systems, sampling, and process capability. *Quality Engineering*, 4(1), 21–39.
- NATA. (2012). *Guidelines for the validation and verification of quantitative and qualitative test*

- methods*. NATA Australia.
- Pai, F.-Y., Yeh, T.-M., & Hung, Y.-H. (2015). Analysis on accuracy of bias, linearity and stability of measurement system in ball screw processes by simulation. *Sustainability*, 7(11), 15464–15486.
- Pandiripalli, B. (2010). *Repeatability and reproducibility studies: A comparison of techniques*. Wichita State University.
- ROTH, G. (1992). Why is My Measurement Different From Yours? *Quality Engineering*, 5(1), 55–65.
- Samodro, R. A., & Ega, A. V. (2016). Kalibrasi pressure balance pada sebagian rentang dan analisa efektivitasnya dalam membangun sumber ketertelusuran pada lingkup tekanan. *PPI-KIM Ke-42*, 333–342.
- Senvar, O., & Firat, S. U. O. (2010). An overview of capability evaluation of Measurement Systems and Gauge Repeatability and Reproducibility Studies. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 1(2), 121–127.
- Smith, R., McCrary, S. W., & Callahan, R. N. (2007). Gauge repeatability and reproducibility studies and measurement system analysis: a multimethod exploration of the state of practice. *Journal of Industrial Technology*, 23(1), 2–12.
- Stamm, S. (2015). *A comparison of gauge repeatability and reproducibility methods*.
- Stevens, N. T., Browne, R., Steiner, S. H., & MacKay, R. J. (2010). Augmented measurement system assessment. *Journal of Quality Technology*, 42(4), 388–399.
- Sukiyanto, S., & Nurtanto, B. D. (2017). Pengukuran Faktor Koreksi Kalibrasi Daya 15 Mw Dan 30 Mw di Reaktor Rsg-Gas. *Reaktor: Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, 14(1), 1-10.
- Tsai, P. (1988). Variable gauge repeatability and reproducibility study using the analysis of variance method. *Quality Engineering*, 1(1), 107–115.
- Wang, F.-K., & Yang, C.-W. (2007). Applying principal component analysis to a GR&R study. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(2), 182–189.
- Waseem, A., Zulqarnain, A., Khalid, R., & Saleem, S. (2015). Gauge repeatability and reproducibility: an assessment of method and medium for a laboratory. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 9(2–4), 126–149.
- Wu, H. Z., Pan, X. T., Cai, J. W., &

Zhang, M. F. (2014). Method of Measurement System Analysis Techniques in the Manufacturing Quality Analysis. Applied Mechanics and Materials (Vol. 455, pp. 527-532). Trans Tech Publications Ltd.