



## **MENINGKATKAN AKURASI DAN PRESISI *MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS* DENGAN PENDEKATAN *PROCESS ORIENTED BASIS REPRESENTATION* (STUDI KASUS : PT. XYZ)**

**Ni Putu Wansri Septia Dewi<sup>1)</sup>, Moses Laksono Singgih<sup>2)</sup>**

*<sup>1,2)</sup>Laboratorium Sistem Manufaktur, Jurusan Teknik Industri,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia  
e-mail: <sup>1)</sup>putu.wansri@gmail.com dan <sup>2)</sup>moseslsinggih@ie.its.ac.id*

### **ABSTRAK**

Kualitas barang dan jasa dalam industri manufaktur dipengaruhi oleh kualitas dari sistem pengukuran. Sistem pengukuran yang berkualitas adalah sistem pengukuran yang menghasilkan hasil pengukuran akurat dan presisi. *Measure* merupakan bagian dari *six sigma* yang digunakan untuk mengetahui kualitas pengukuran, dimana salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah *measurement system analysis* (MSA). MSA merupakan metode yang bertujuan untuk memastikan tidak terdapat *variability* berlebihan pada sistem pengukuran yang dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengambilan kesimpulan. Kesalahan pengambilan kesimpulan ini dapat diminimalisir dengan meningkatkan akurasi dan presisi pada sistem pengukuran. Pada kasus nyata suatu sistem pengukuran, karakteristik data yang diukur seringkali berhubungan, hubungan antar karakteristik data mengindikasikan data berkorelasi. Penyelesaian permasalahan pada data berkorelasi tidak dapat dilakukan dengan pendekatan univariat akan tetapi perlu dilakukan dengan pendekatan multivariat. Selama ini, beberapa penelitian menggunakan metode MSA univariat untuk menyelesaikan permasalahan univariat dan multivariat. Pada penelitian ini digunakan gabungan antara pendekatan *process oriented basis representation* (POBREP) dan *multivariate analysis of variance* (MANOVA), yang mempertimbangkan pola variasi pada proses atau sistem, dan mempertimbangkan korelasi antar variabel. Pendekatan POBREP untuk 3 pola variasi menghasilkan %R&R<sub>m</sub> masing-masing sebesar 29,26%, 28,39%, dan 28,48%. Selain itu nilai Ndc<sub>m</sub> masing-masing sebesar 3,06, 3,55, dan 3,50 sedangkan pendekatan *multivariate* tradisional menghasilkan %R&R<sub>m</sub> sebesar 28,36%, dan Ndc<sub>m</sub> sebesar 3,56. Dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran menggunakan pendekatan POBREP dan metode multivariat MSA tradisional memiliki akurasi dan presisi yang sama pada kasus ini, dengan selisih %R&R<sub>m</sub> kurang dari 1%.

**Kata Kunci:** *Measurement system analysis, Process oriented basis representation, MANOVA, akurasi, presisi*

### **ABSTRACT**

*The quality of goods and services in the manufacturing industry is affected by the quality of the measurement system. Quality measurement system is a measurement system that produces accurate and precise measurement results. Measure is part of the six sigma is used to determine the quality of the measurement, in which one of the approaches that can be used is the measurement system analysis (MSA). MSA is a method that aims to ensure there is no excessive variability in the measurement system which can lead to errors in the results. This conclusion retrieval errors can be minimized by improving the accuracy and precision in the measurement system. Accuracy in the MSA can be seen from the stability, bias, and linearity*



in the measurement data, while precision can be seen from the repeatability and reproducibility. Repeatability is an error caused by the measuring instrument, while the reproducibility is caused by operator error. In the real case of a measurement system, the characteristics of the measured data are often related, the relationship between the characteristics of the data indicates the data are correlated. Solving problems in the data correlated can not be done with a univariate approach but it should be done with a multivariate approach. During this time, several studies using univariate MSA methods to solve the problems of the univariate and multivariate analyzes. In this study used a combination of process-oriented basis representation (POBREP) and multivariate analysis of variance (MANOVA), which takes into consideration the pattern of variation in processes or systems, and considering the correlation between Variabels. The approach used resulted  $\%R\&R_m$  at 29.26%, and  $Ndc_m$  at 3.06, while the traditional multivariate approach generates  $\%R\&R_m$  amounted to 28.36%, and  $Ndc_m$  of 3.56. It can be said that the measurement system using POBREP approach generates  $\%R\&R_m$  higher than traditional MSA multivariate methods. It can be concluded POBREP approach is more accurate and precise as it can avoid the receipt of improper measurement system, and can assist in improving the quality of the manufacturing industry.

**Keywords:** Measurement system analysis, Process oriented basis representation, MANOVA, accuration, precition

## PENDAHULUAN

*Measurement system analysis* (MSA) merupakan prosedur sistematis yang dapat mengidentifikasi komponen variasi dalam taksiran presisi dan akurasi pada alat ukur yang digunakan pada sistem pengukuran [1]. Akurasi merupakan kemampuan alat ukur untuk melakukan pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya, sedangkan presisi menunjukkan keandalan dari hasil pengukuran yang diperoleh [2]. Tujuan dari MSA ialah untuk memastikan tidak terdapat *variability* berlebihan pada sistem pengukuran yang dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengambilan keputusan [3]. Pendekatan yang digunakan untuk menginvestigasi 2 komponen pada *measurement error* disebut *gage repeatability & reproducibility*, dimana *repeatability* merupakan *error* yang disebabkan oleh alat ukur, sedangkan *reproducibility* merupakan *error* yang disebabkan oleh operator [4].

Berdasarkan penjelasan di atas, *measurement system analysis* (MSA) diterapkan untuk melihat akurasi dan presisi pada sistem pengukuran, dimana akurasi dapat dilihat dari *stability*, *bias*, dan *linearity*, sedangkan presisi dapat dilihat dari *repeatability* dan *reproducibility* [5]. Sebelum melakukan perbaikan pada produk yang tidak memenuhi batas spesifikasi, industri manufaktur sebaiknya melakukan investigasi terhadap *variability* dari proses pengukuran [1]. Terdapatnya variabel yang saling berkorelasi lebih tepat diselesaikan dengan menggunakan metode *multivariate*, apabila diselesaikan dengan metode *univariate* maka akan terjadi *type I error* [1]. *Type I error* merupakan resiko menolak proses operasi pada level yang memuaskan [2]. Selain itu, diperlukan metode yang dapat mendeteksi penyebab spesifik dari masalah yang ada pada proses produksi. *Process oriented basis representation* (POBREP) merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi penyebab spesifik tersebut dengan menggambarkan ke dalam *basis matrix* [6]. Selain itu, metode POBREP dapat melakukan diagnosis pada proses yang memberikan petunjuk kemungkinan penyebab variasi yang terjadi.

Terdapat peluang penelitian lebih lanjut dari penelitian yang dilakukan oleh Pramitasari (2013), dan terdapat penguatan penelitian yang dilakukan oleh Foster, et al.



(2005), Birgören (2009), dan Wang & Chien (2010), dimana pada penelitian-penelitian tersebut menggunakan pendekatan *process oriented basis representation* dapat melihat performa dari suatu proses. Pada penelitian ini akan digunakan gabungan antara pendekatan *process oriented basis representation* (POBREP) dan *multivariate analysis of variance* (MANOVA), yang mempertimbangkan pola variasi pada proses atau sistem, dan mempertimbangkan korelasi antar variabel. Adapun batasan pada penelitian ini ialah penelitian ini digunakan hanya untuk melihat akurasi dan presisi pada *multi* karakteristik, dan *Matrix process oriented basis* baru yang dihasilkan hanya untuk kasus pengukuran *gap* antar *tube* pada penelitian Pramitasari (2013). Selain itu, data penelitian diasumsikan berdistribusi normal.

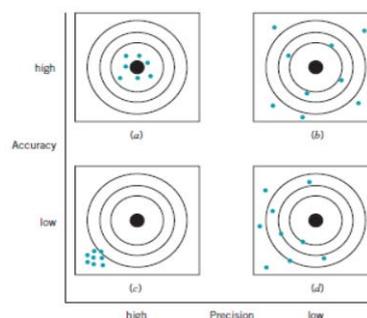
## METODE

### Six Sigma

*Six sigma* merupakan prosedur untuk mengimplementasi analisis peningkatan kualitas untuk mengurangi biaya dan meningkatkan produk, *service*, dan desain proses [7]. Tujuan dari *six sigma* ialah untuk mendapatkan dan mengeliminasi penyebab dari cacat dan *error* pada proses manufaktur dan *service* [8]. Pada *six sigma*, cacat yang diperbolehkan adalah 3,4 *defects per million opportunity* (DPMO), dimana *defect opportunity* merupakan gangguan pada proses yang berpengaruh terhadap *customer* [9]. Pendekatan baru pada *six sigma* dikenal dengan pendekatan *breakthrough* yang dikemas menjadi metode DMAIC yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* yang berperan untuk proses *improvement* [3]. *Measure* merupakan langkah paling kritis yang dapat mempengaruhi pengambilan suatu keputusan, dimana *measure* merupakan tahap untuk mengukur keseluruhan proses atau *performance* [10]. Salah satu pendekatan yang digunakan pada tahap *measure* adalah *measurement system analysis* (MSA) yang dikenal dengan *gauge repeatability & reproducibility* (*Gauge R&R*) [3]. Tahap ini digunakan untuk menghitung berapa banyak variasi pada proses pengukuran itu sendiri, dapat mengatur variasi dari observasi pada *output* ( $y_s$ ) dan meningkatkan proses pengukuran [11]. Selain itu, salah satu teknik pengendalian kualitas yang penting untuk menurunkan *error* dari proses pada industri adalah *measurement system analysis* (MSA) [12].

### *Measurement System Analysis* (MSA)

*Measurement system* adalah kumpulan dari ukuran dan peralatan, prosedur, manusia, dan lingkungan yang menjadi karakteristik penentu keadaan menjadi terukur. Penyebab ketidaktepatan pengukuran (*error*) akan lebih mudah dideteksi ketika proses *Measurement system* diperlihatkan [13]. Akurasi merupakan kemampuan alat ukur untuk melakukan pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya, sedangkan presisi menunjukkan keandalan dari hasil pengukuran yang diperoleh [2]. Konsep akurasi dan presisi untuk lebih jelasnya, diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Konsep Akurasi dan Presisi (Sumber : Montgomery (2009))**



*Stability* merupakan keadaan sistem pengukuran tidak dipengaruhi oleh perubahan waktu [13]. *Bias* merupakan sistematik *error* pada *measurement system*, dan merupakan perbedaan nilai atau hasil dari rata-rata observasi pada pengukuran dengan *reference value* atau *master standard* [14]. *Linearity* merupakan sistematik *error* pada *measurement system*, apabila bias konstan diseluruh *operating range*, maka *measurement system* dapat dikatakan linear [13].

Presisi pada *measurement system analysis* dapat dilihat dari *repeatability* dan *reproducibility* [13]. *Repeatability* merupakan variasi pada pengukuran yang diperoleh dengan satu alat ukur melakukan pengukuran *part* yang sama secara berulang dengan *operator* yang sama. *Repeatability* ini juga disebut *equipment variation* (EV) yang menunjukkan *within system variation*. *Reproducibility* merupakan variasi yang terjadi ketika *operator* yang berbeda mengukur *part* yang sama menggunakan alat ukur yang sama. *Reproducibility* juga disebut *appraiser variation* (AV) yang merupakan variasi antara sistem [1,5,15].

### **Pendekatan *Multivariate* pada *Gauge R&R Study***

Pendekatan *multivariate gauge R&R* merupakan kondisi dimana terdapat hubungan atau korelasi antar variabel atau disebut *multi* karakteristik yang dapat diestimasi dengan menggunakan metode *multivariate analysis of variance* (MANOVA) dan *principle component analysis* (PCA). PCA sebaiknya digunakan untuk kasus korelasi antara variabel sangat tinggi [1], sehingga pada penelitian ini dilakukan pendekatan dengan metode MANOVA untuk kasus *multi* karakteristik. *Gauge R&R study two-factor cross design* dengan interaksi untuk *multi* karakteristik CTQs ( $q$  karakteristik), maka model secara matematis dengan  $p$  part,  $o$  operator, dan  $r$  pengulangan dapat dilihat pada persamaan (2) [1].

$$CTQ = \begin{bmatrix} CTQ_{11} & CTQ_{12} & \dots & CTQ_{1q} \\ CTQ_{21} & CTQ_{22} & \dots & CTQ_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ CTQ_{n1} & CTQ_{n2} & \dots & CTQ_{nq} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$= \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, p \\ j = 1, 2, \dots, o \\ k = 1, 2, \dots, r \end{cases}$$

Dimana  $CTQ = [CTQ_1 \quad CTQ_2 \quad \dots \quad CTQ_q]$  dan  $\mu = [\mu_1 \quad \mu_2 \quad \dots \quad \mu_q]$  merupakan *constant vectors*,  $\alpha_i \sim N(0, \Sigma_\alpha)$ ,  $\beta_j \sim N(0, \Sigma_\beta)$ ,  $\alpha\beta_{ij} \sim N(0, \Sigma_{\alpha\beta})$ , dan  $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \Sigma_\varepsilon)$  merupakan *random vectors* dan independen. Komponen *variance* dari *multivariate MSA* berdasarkan pendekatan *multivariate analysis of variance* (MANOVA) dapat dilihat secara matematis pada persamaan (3) [1].

$$\begin{aligned} \hat{\Sigma}_{part} &= \hat{\Sigma}_\alpha; \quad \hat{\Sigma}_{repeatability} = \hat{\Sigma}_\varepsilon; \quad \hat{\Sigma}_{reproducibility} = \hat{\Sigma}_\beta + \hat{\Sigma}_{\alpha\beta} \\ \hat{\Sigma}_{gauge} &= \hat{\Sigma}_{repeatability} + \hat{\Sigma}_{reproducibility}; \quad \hat{\Sigma}_{Total} = \hat{\Sigma}_{part} + \hat{\Sigma}_{gauge} \end{aligned} \quad (3)$$

Pengambilan kesimpulan pada *multivariate MSA* yaitu menggunakan %R&R *multivariate* dan mempertimbangkan *number of distinct category* ( $ndc$ ) *multivariate*, yang secara matematis dapat dilihat pada persamaan (4).

$$\begin{aligned} \%R \& R_m &= \left( \prod_{i=1}^q \sqrt{\frac{\lambda_{gaugei}}{\lambda_{Totali}}} \right)^{1/q} \times 100\% \\ ndc_m &= \sqrt{2} \left( \prod_{i=1}^q \sqrt{\frac{\lambda_{parti}}{\lambda_{gaugei}}} \right)^{1/q} \end{aligned} \quad (4)$$



Dimana  $\lambda_{part_i}$ ,  $\lambda_{gauge_i}$ ,  $\lambda_{Total_i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, q$  merupakan *eigen value* yang diperoleh dari *variance covariance matrix part* ( $\Sigma_{part}$ ), *gauge* ( $\Sigma_{gauge}$ ) dan *total* ( $\Sigma_{Total}$ ) [1]. Pengambilan keputusan *acceptable* atau tidaknya suatu sistem pengukuran ialah sebagai berikut.

- Apabila  $\%R\&R_m \leq 10\%$  maka *measurement system acceptable*
- Apabila  $10\% < \%R\&R_m \leq 30\%$  maka *measurement system acceptable* dengan syarat tertentu.
- Apabila  $\%R\&R_m > 30\%$  maka *measurement system unacceptable* sehingga diperlukan perbaikan.

Selain itu, apabila nilai  $Ndc_m$  lebih besar atau sama dengan 5 maka dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran dapat memonitor proses [1].

Terdapat beberapa cara untuk meningkatkan akurasi dan presisi pada sistem pengukuran yaitu dengan memperhatikan beberapa faktor dalam pengukuran. Beberapa faktor tersebut yaitu faktor *operator*, faktor *part* dan faktor interaksi antara *operator* dan *part*. Meningkatkan akurasi dan presisi dari faktor *operator* salah satunya dengan mengadakan pelatihan untuk *operator*, sedangkan untuk alat ukur dengan cara melakukan kalibrasi secara berkala. Terdapatnya kemungkinan adanya pola variasi proses atau sistem yang dapat mempengaruhi pengambilan keputusan, dimana pendekatan *process oriented basis representation* (POBREP) dapat mempertimbangkan pola variasi proses atau sistem.

### **Meningkatkan Akurasi dan Presisi dengan *Process Oriented Basis Representation***

POBREP merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengidentifikasi masalah yang spesifik pada suatu proses, yang menggunakan *matrix process oriented* untuk menggambarkan keadaan tersebut. POBREP sudah diterapkan untuk pengendalian kualitas, yaitu untuk mengukur performa proses, dapat mendiagnosis masalah kualitas pada mesin yang kompleks, dan dapat diaplikasikan pada *gauge R&R study*. Dikemukakan bahwa *error* yang terjadi apabila menggunakan pendekatan POBREP lebih kecil dibandingkan dengan metode *multivariate MSA* tradisional [7].

Pendekatan POBREP dapat mengidentifikasi  $p$  pola yang berbeda, misal  $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p$  dimana  $\mathbf{a}'_i$  adalah adalah *vector* berdimensi  $m$ . Masing-masing pola *vector* menjadi sebuah kolom  $\mathbf{a}$  dari basis *matrix A* yang disebut *process-oriented basis* (POB). Secara umum terdapat 3 tipe *matrix A* untuk POBREP *multivariate gage R&R study* yang dijabarkan sebagai berikut [6].

- Apabila  $\mathbf{A}$  merupakan basis lengkap ( $p = m$ ) dan *vector*  $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p$  saling bebas. Spesifikasi dari  $\mathbf{Z}_i$  dapat ditulis secara matematis pada persamaan (5).

$$\begin{aligned} BSA_z &= \mathbf{A}^{-1}BSA \\ BSB_z &= \mathbf{A}^{-1}BSB \end{aligned} \tag{5}$$

- Apabila  $\mathbf{A}$  merupakan basis tidak lengkap ( $p \neq m$ ) dan *vector*  $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p$  saling bebas, metode yang tepat untuk membuktikan nilai  $\mathbf{Z}$  adalah *ordinary least squares* (OLS).

$\mathbf{Z} = (\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}'\mathbf{x}$  dan  $\mathbf{Z} \sim N_p((\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}'\boldsymbol{\mu}, (\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}'\boldsymbol{\Sigma}_x(\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1})'$ . Batas Spesifikasi dari  $\mathbf{Z}_i$  dapat ditulis secara matematis pada persamaan(6).

$$\begin{aligned} BSA_z &= (\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}'BSA \\ BSB_z &= (\mathbf{A}'\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}'BSB \end{aligned} \tag{6}$$



3. Apabila  $A$  merupakan basis tidak lengkap ( $p \neq m$ ) dan vector  $a_1, a_2, \dots, a_p$  tidak saling bebas, metode yang dapat digunakan untuk membuktikan nilai  $Z$  adalah *weighted least squares* (WLS).

Saat  $Z \sim N_p((A'\Sigma_X^{-1}A)^{-1}A'\Sigma_X^{-1}\mu, (A'\Sigma_X^{-1}A)^{-1})$  dan  $Z = (A'\Sigma_X^{-1}A)^{-1}A'\Sigma_X^{-1}x$ .

Batas Spesifikasi dari  $Z_i$  dapat dinyatakan dengan persamaan (7).

$$BSA_z = (A'\Sigma_X^{-1}A)^{-1}A'\Sigma_X^{-1}BSA$$

$$BSB_z = (A'\Sigma_X^{-1}A)^{-1}A'\Sigma_X^{-1}BSB \quad (7)$$

### Studi Kasus di PT. XYZ

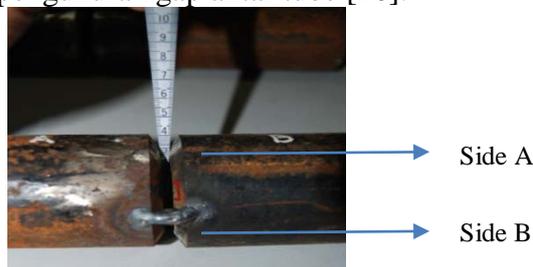
Pada penelitian ini digunakan adalah data sekunder dari penelitian Pramitasari (2013). Data tersebut merupakan data pengukuran *gap* antar *tube*, dimana terdapat kasus *multi* karakteristik seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel pada Studi Kasus

Variabel Side A	Variabel Side B
Faktor Operator: 2 operator	Faktor Operator: 2 operator
Faktor Part : 3 part (4 mm, 2,5 mm, dan 3 mm)	Faktor Part: 3 part (4 mm, 2,5 mm, dan 3 mm)
Pengulangan : 20 kali	Pengulangan : 20 kali

Tabel 1 terlihat bahwa terdapat 2 variabel yang digunakan dalam penelitian yaitu variabel *side A* dan variabel *side B*. Setiap *side* tersebut terdapat 2 operator yang melakukan penelitian, yang mana penelitian dilakukan pada 3 *part*. *Part 1* dengan ukuran 4 mm, *part 2* berukuran 2,5 mm, dan *part 3* berukuran 3 mm. Selanjutnya pengukuran untuk masing-masing *part* dilakukan sebanyak 20 kali.

*Tube* merupakan besi silinder yang telah melalui proses *scraping*. Kedua besi silinder ini siap dilakukan proses las untuk dijadikan element yaitu sejenis pipa aliran dalam mesin Boiler. Diameter dari kedua *tube* harus sama yaitu sekitar 45mm dan 65mm. Sebelum dilakukan pengelasan antara kedua bahan, perlu dilakukan pengukuran *gap* antara kedua bahan ini karena jika *gap* terlalu besar akan menyebabkan pemborosan pada bahan las, dimana Gambar 2 menunjukkan titik pengukuran *gap* antar *tube* [16].



Gambar 2. Titik Pengukuran Gap antar Tube

## HASIL PENELITIAN

### Uji Korelasi Data

Dilakukan pengujian untuk mengetahui hubungan keeratan antar Variabel. Apabila kedua variabel berkorelasi, maka studi kasus ini memang tepat diselesaikan dengan pendekatan *multivariate MSA*.

Tabel 4. Pengujian Korelasi

Korelasi Variabel	Nilai
<i>Pearson correlation</i>	0,982
<i>P_value</i>	0,000



Dari nilai *pearson correlation* sebesar 0,982, menunjukkan bahwa korelasi atau hubungan keeratan hasil pengukuran *side A* dan *side B* tinggi. Selain itu dilihat dari *p\_value* sebesar 0,000 menunjukkan bahwa Variabel *sideA* dan *side B* signifikan berkorelasi. Hal tersebut menunjukkan hasil pengukuran *sideA* dan *side B* saling mempengaruhi atau saling berhubungan, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode *multivariate MSA* tradisional dengan pendekatan *multivariate analysis of variance* (MANOVA).

### Metode *Multivariate MSA* Tradisional

Pengukuran *gap* antar *tube* untuk *sideA* dan *side B* dianalisis dengan menggunakan pendekatan MANOVA pada *multivariate MSA*. Tabel 5 menunjukkan nilai *variance covariance* dari *part*, *reproducibility*, *repeatability*, *measurement system*, dan *variance covariance* total. Dari matrik *variance covariance part*, *measurement system*, dan total, diperoleh nilai *eigen* masing-masing, dimana jumlah *part* (*p*) adalah 3, jumlah *operator* (*o*) adalah 2, dan jumlah pengulangan (*r*) adalah 20.

Tabel 5. Nilai *Variance covariance* dan *eigen* pada *Multivariate MSA* Tradisional

$\text{VarCovarPart} = \begin{bmatrix} 0.6392 & 0.5836 \\ 0.5836 & 0.5368 \end{bmatrix}$	$\text{eigenpart} = \begin{bmatrix} 0.0021 \\ 1.1739 \end{bmatrix}$
$\text{VarCovarReproducibility} = \begin{bmatrix} 0.0001 & 0.0009 \\ 0.0009 & 0.0021 \end{bmatrix}$	
$\text{VarCovarRepeatability} = \begin{bmatrix} 0.0083 & 0.0013 \\ 0.0013 & 0.0059 \end{bmatrix}$	
$\text{VarCovarMS} = \begin{bmatrix} 0.0084 & 0.0022 \\ 0.0022 & 0.0080 \end{bmatrix}$	$\text{eignMS} = \begin{bmatrix} 0.0059 \\ 0.0104 \end{bmatrix}$
$\text{VarCovarTotal} = \begin{bmatrix} 0.6476 & 0.5859 \\ 0.5859 & 0.5447 \end{bmatrix}$	$\text{eigentotal} = \begin{bmatrix} 0.0080 \\ 1.1843 \end{bmatrix}$

Total varian yang dihasilkan pada pengukuran *side A* sebesar 0,6476, dan total varian untuk *side B* sebesar 0,5447. Total varian yang dihasilkan tersebut merupakan penambahan dari varian *part*, dan varian *measurement system*. Nilai *eigen part*, *measurement system*, dan total yang diperoleh dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan (4) sehingga menghasilkan hasil pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai %R&R<sub>m</sub> dan Ndc<sub>m</sub> pada *Multivariate MSA* Tradisional

%R&R <sub>m</sub>	Ndc <sub>m</sub>
28,36	3,56

Nilai %*gauge repeatability & reproducibility multivariate* (%R&R<sub>m</sub>) dan *number of distinct category multivariate* (Ndc<sub>m</sub>) digunakan untuk menarik suatu kesimpulan apakah sistem pengukuran *acceptable* atau tidak. Nilai %R&R<sub>m</sub> sebesar 28,36%, hal tersebut menunjukkan bahwa sistem pengukuran *acceptable* dengan syarat. Selain itu nilai Ndc<sub>m</sub> sebesar 3,56 yang mendekati nilai 4, dimana nilai tersebut kurang dari 5. Hal tersebut menandakan bahwa sistem pengukuran belum dapat memonitor proses secara keseluruhan. Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan pendekatan POBREP, namun terlebih dahulu dibentuk *basis matrix* yang terbentuk dari kemungkinan pola variasi yang terjadi, dimana pada kasus ini pola variasi yang terjadi adalah total pergeseran.

### Pembentukan Basis Matrix

Pola variasi ini merupakan pendapat subjektif dari berapa besar kemungkinan pergeseran yang terjadi, dimana 3 *basis matrix* yang terbentuk sebagai berikut.



$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0,25 \\ 0,5 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0,75 \\ 0,5 & 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 0,25 \\ 0,75 & 1 \end{bmatrix}$$

Kemungkinan total pergeseran **A**, **B**, dan **C** tersebut merupakan perkiraan subyektif dari peneliti tanpa mempertimbangkan arah pergeseran yang terjadi. Pada *basis matrix A* nilai 0 diartikan tidak terjadi pergeseran pada *side A* dan *side B*, nilai 0,25 diartikan terjadi pergeseran *side A* dan *side B* dengan total pergeseran 0,25 mm. Total pergeseran yang terjadi pada *side A* dan *side B* sebesar 0,5 mm ditunjukkan dengan nilai 0,25 pada matriks, sedangkan nilai 1 pada matriks menunjukkan terjadi pergeseran pada *side A* dan *side B* sebanyak 1 mm. Adanya pengaruh kemungkinan pola variasi yang terjadi pada proses atau sistem yang ditunjukkan dengan *basis matrix*, maka terbentuk data hasil pengukuran yang baru (**Z**).

### Pendekatan Process Oriented Basis Representation

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, terdapat 3 matrik **A** yang digunakan untuk POBREP. Pada penelitian ini diasumsikan pola variasi matrik sama dengan dimensi matrik dan *vector*  $a_1, a_2, \dots, a_p$  saling bebas. Dengan demikian, dihasilkan nilai pengukuran baru (**Z**) yang diperoleh menggunakan pendekatan POBREP, selanjutnya hasil tersebut dianalisis menggunakan pendekatan MANOVA. Nilai *variance covariance* dan *eigen* dengan dua pendekatan tersebut diperlihatkan pada Tabel 7. Varian *measurement system* untuk *side A* sebesar 0,4958, sedangkan varian *measurement system* untuk *side B* sebesar 0,1338. Hal tersebut menunjukkan varian sistem pengukuran *side A* yang dipengaruhi oleh alat ukur, dan operator lebih besar dibandingkan dengan varian *side B* yang dipengaruhi oleh varian alat ukur dan operator.

Tabel 7. Nilai *Variance covariance* dan *eigen* pada Pendekatan POBREP

<b>VarCovarPart</b> = $\begin{bmatrix} 24.3867 & -15.7862 \\ -15.7862 & 10.2224 \end{bmatrix}$	<b>eigenpart</b> = $\begin{bmatrix} 0.0025 \\ 34.6066 \end{bmatrix}$
<b>VarCovarReproduibility</b> = $\begin{bmatrix} -0.0160 & 0.0049 \\ 0.0049 & 0.0012 \end{bmatrix}$	
<b>VarCovarRepeatability</b> = $\begin{bmatrix} 0.5119 & -0.2547 \\ -0.2547 & 0.1327 \end{bmatrix}$	
<b>VarCovarMS</b> = $\begin{bmatrix} 0.4958 & -0.2498 \\ -0.2498 & 0.1338 \end{bmatrix}$	<b>eigenMS</b> = $\begin{bmatrix} 0.0063 \\ 0.6233 \end{bmatrix}$
<b>VarCovarTotal</b> = $\begin{bmatrix} 24.8826 & -16.0360 \\ -16.0360 & 10.3562 \end{bmatrix}$	<b>eigentotal</b> = $\begin{bmatrix} 0.0152 \\ 35.2235 \end{bmatrix}$

Selain itu dilihat dari total varian yang terjadi, terlihat bahwa varian total *side A* sebesar 24,8826, sedangkan varian total *side B* sebesar 10,3562. Menggunakan langkah yang sama dengan pola pergeseran matrik **A**, diperoleh nilai %R&R<sub>m</sub> dan besar *number of distinct category* (Ndc<sub>m</sub>) dengan mempertimbangkan pola pergeseran matrik **B**, dan **C** secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai %R&R<sub>m</sub> dan Ndc<sub>m</sub> Pendekatan POBREP

Pola Pergeseran	%R&R <sub>m</sub>	Ndc <sub>m</sub>
Matrik <b>A</b>	29,26	3,06
Matrik <b>B</b>	28,39	3,55
Matrik <b>C</b>	28,48	3,50

Matriks *variance covariance* pada Tabel 7 digunakan untuk mencari nilai *eigen*, dimana dengan menggunakan nilai *eigenpart*, *measurement system*, dan total. Nilai %*gauge repeatability & reproducibility multivariate* (%R&R<sub>m</sub>) dengan menggunakan pendekatan



POBREP untuk matrik **A**, **B**, dan **C** masing-masing 29,26%, 28,39%, 28,48%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem pengukuran masih dapat diterima dengan syarat tertentu. Selain itu dilihat dari nilai *number of distinct categorymultivariate* ( $Ndc_m$ ) kurang dari 5, dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran belum dapat memonitor proses secara keseluruhan. Untuk melihat akurat atau tidak hasil pengukuran, maka dilakukan pengujian akurasi pada sistem pengukuran.

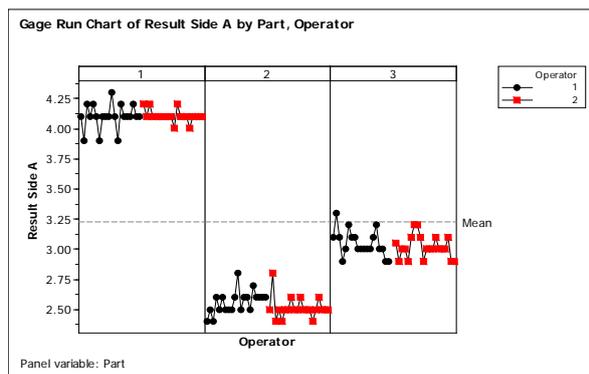
### Akurasi dan Presisi

Keakuratan hasil pengukuran dapat dilihat dari *linearity*, *bias*, dan *stability*, dimana 3 komponen tersebut dianalisis dari masing-masing variabel. Perbandingan *%linearity* dan *%bias* dapat dilihat pada Tabel 9.

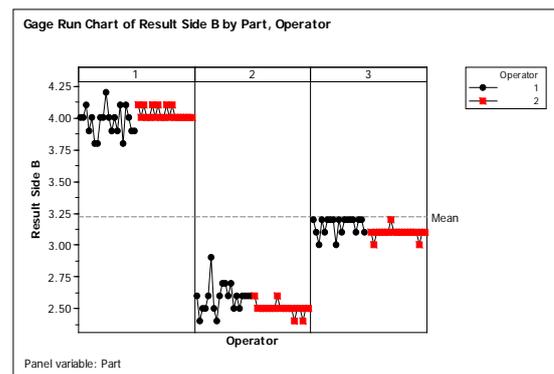
Tabel 9. Perbandingan *%Linearity* dan *%Bias*

	<i>%Linearity</i>	<i>%Bias</i>	<i>Part yang Tidak Signifikan Bias</i>
<i>Side A</i>	4,7	1,4	<i>Part 3</i>
<i>Side B</i>	4,2	1,5	<i>Part 1</i>

Tabel 9 menunjukkan perbandingan nilai *%linearity* dan *%bias* untuk *sideA* dan *side B* pada pengukuran *gap* antar *tube*. Apabila dibandingkan antara *side A* dan *side B* berdasarkan *%linearity*, *side A* memiliki *%linearity* lebih besar dibandingkan dengan *side B*. Selain itu apabila dilihat dari *%bias*, terlihat bahwa *%bias side B* lebih besar dibandingkan dengan *side A*. Dilihat dari *part* yang tidak signifikan bias, *side A* dan *side B* menghasilkan hasil yang berbeda, dimana pada *side A part* yang tidak signifikan bias adalah *part 3*, sedangkan untuk *side B* adalah *part 1*.



Gambar 3. Stability Pengukuran Side A



Gambar 4. Stability Pengukuran Side

*Stability* untuk *side A* dapat dilihat pada Gambar 3, dimana hasil tersebut dapat dilihat dari *part*, dan operator. Apabila dilihat dari hasil pengukuran *part 1*, dan *part 2* terlihat bahwa hasil pengukuran yang dilakukan oleh operator 2 lebih stabil dibandingkan dengan operator 1. Stabilitas hasil pengukuran *part 3* menunjukkan bahwa hasil pengukuran *part 3* untuk *side A* secara visual sama antara operator 1 dan operator 2. Hasil pengukuran *gap* antar *tube* untuk *side B* ditunjukkan oleh Gambar 4, dimana terlihat bahwa hasil pengukuran menunjukkan banyaknya data yang *outlier*. Dilihat dari hasil pengukuran oleh operator 1 dan operator 2, operator 2 melakukan pengukuran lebih stabil untuk masing-masing *part*. Melihat presisinya hasil pengukuran dapat dilihat dari *repeatability* dan *reproducibility*, dimana hal tersebut dapat ditunjukkan dari besar  $\%R\&R_m$  dan  $Ndc_m$ . Tabel 10 menunjukkan perbandingan besar  $\%R\&R_m$  dan  $Ndc_m$ .



Tabel 10. Perbandingan %R&R<sub>m</sub> dan Ndc<sub>m</sub>.

METODE	%R&R <sub>m</sub>	Ndc <sub>m</sub>
<i>Multivariate</i> MSA		
Tradisional	28,36	3,56
POBREP A	29,26	3,06
POBREP B	28,39	3,55
POBREP C	28,48	3,50

Apabila dilihat nilai akhir %R&R<sub>m</sub> dengan pendekatan POBREP untuk 3 pola pergeseran yang berbeda dibandingkan nilai %R&R<sub>m</sub> metode *multivariate* MSA tradisional dihasilkan nilai hampir sama dengan selisih nilai %R&R<sub>m</sub> kurang dari 1%.

## DISKUSI

Sebelum ditarik suatu kesimpulan, dilakukan pengujian beda mean antara nilai %R&R<sub>m</sub> pendekatan *multivariate* MSA tradisional dengan nilai rata-rata %R&R<sub>m</sub> pendekatan POBREP. Diperoleh *p-value* sebesar 0,333 yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *alpha* 0,05, hal tersebut menunjukkan bahwa nilai %R&R<sub>m</sub> kedua metode sama. Dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan pendekatan *multivariate* MSA tradisional dan pendekatan POBREP untuk 3 pola pergeseran memiliki akurasi dan presisi yang hampir sama dimana nilai yang dihasilkan mendekati 30%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan akurasi dan presisi, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan pendekatan *multivariate* MSA tradisional dan pendekatan POBREP untuk 3 pola pergeseran menghasilkan akurasi dan presisi yang sama, karena selisih nilai %R&R<sub>m</sub> kedua metode kurang dari 1%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peruchi, R. S. et al., 2013. A New Multivariate Gage R&R Method For Correlated Characteristics. *Int. J. Production Economics*.
- [2] Montgomery, D. C., 2009. *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc..
- [3] Gupta, P., 2004. *Six Sigma Business Scorecard Ensuring Performance for Profit*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc..
- [4] Pan, J.-N., 2006. Evaluating the Gauge Repeatability and Reproducibility for Different Industries. *Quality & Quantity*, Volume 40, p. 499–518.
- [5] Senol, S., 2004. Measurement System Analysis Using Designed Experiments with Minimum  $\alpha$ - $\beta$  Risks and n. *Measurement*, Volume 36, p. 131–141.
- [6] Wang, F.-K. & Chien, T.-W., 2010. Process-oriented Basis Representation for a Multivariate Gauge Study. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 58, pp. 143-150.
- [7] Foster, S. T., 2010. *Managing Quality Integrating The Supply Chain*. Fourth Edition ed. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [8] Rohini, R. & Mallikarjun, J., 2011. Six Sigma: Improving the Quality of Operation Theatre. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Volume 25, p. 273 – 280.
- [9] Liu, Y., Li, K. & Mclean, A., 2013. Six Sigma Approach to Performance Management. *Journal of Applied Sciences*, 13(22), pp. 5309-5317.



- [10] Kabir, M. E., Bobby, M. I. & Lutfi, M., 2013. Productivity Improvement by using Six-Sigma. *International Journal of Engineering and Technology*, 3(12).
- [11] Cox, I. et al., 2010. *Visual Six Sigma Making Data Analysis Lean*. New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Hajipour, V., Kazemi, A. & Mousavi, S. M., 2013. A Fuzzy Expert System to Increase Accuracy and Precision in Measurement System Analysis. *Measurement*, Volume 46, p. 2770–2780.
- [13] Joglekar, A. M., 2003. *Statistical Methods for Six Sigma in R&D Manufacturing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [14] AIAG, 2002. *Measurement System Analysis Reference Manual*. 3rd ed. s.l.:Daimler Chrysler, Corporation; Ford Motor, Company; General Motors, Corporation.
- [15] Al-Refaie, A. & Bata, N., 2010. Evaluating Measurement and Process Capabilities by GR&R with Four Quality Measures. *Measurement* 43, p. 842–851.
- [16] Pramitasari, L.M. 2013. Penerapan Measurement System Analysis Univariate dan Bivariate Process Oriented Basis Representation pada Pengukuran Gap Antar Tube di PT. Alstom Power ESI. *Tugas Akhir*. Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya