

Measurement System Analysis Repeatability dan Reproducibility (Gauge R&R) pada Alat Vickers Hardness Tester Di PT Jaykay Files Indonesia

Sigit Budiantono, Sri Mumpuni Retnaningsih, Diaz Fitra Aksioma

Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sigit14@mhs.statistika.its.ac.id, mumpuni@statistika.its.ac.id, diaz_fa@statistika.its.ac.id

Abstrak—PT Jaykay Files Indonesia merupakan salah satu produsen pembuat alat perkakas kualitas dunia, yang mempunyai beragam jenis produk seperti *files*, *cutting tools* dan lain sebagainya. Salah satu produk yang paling banyak diproduksi yaitu kategori *cutting tools* jenis *drills*. Dalam proses produksi *drills* alur pembuatan masih didominasi oleh tenaga kerja manusia dan alat bantu produksi seperti *vickers hardness tester* yang digunakan untuk membuat produk *drills* telah berusia tua ± 10 tahun dan mengalami penurunan fungsi sehingga menghasilkan kualitas produk yang kurang memuaskan. Oleh karena itu ingin diketahui apakah faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran *drills test block* dan sistem pengukuran (*measurement system*) telah *acceptable* atau tidak. Dengan menggunakan data hasil pengukuran kekerasan terhadap tiga jenis *drills test block* yang dilakukan oleh tiga inspektor diperoleh hasil bahwa faktor *drills test block*, inspektor dan interaksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengukuran serta hasil analisis *gauge R&R* bahwa sistem pengukuran di PT Jaykay Files Indonesia *unacceptable*.

Kata Kunci—*drills test block*, *gauge R&R*, inspektor, *vickers hardness tester*

I. PENDAHULUAN

PT. Jaykay Files Indonesia merupakan salah satu produsen pembuat alat perkakas atau pertukangan kualitas dunia yang memproduksi beragam jenis produk seperti *files*, *cutting tools*, *power tools*, *hand tools* dan *accessories*. Hasil produksi digunakan untuk konsumsi dalam negeri juga diekspor keluar negeri yaitu USA, Jepang, Eropa, Amerika Latin, Asia Pasifik dan Negara-negara Asia lainnya. Selain memproduksi secara massal alat perkakas juga dapat memproduksi alat sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh pelanggan. Produk yang paling banyak diproduksi selain *files* salah satunya yaitu produk kategori *cutting tools* jenis *drills*. Dalam proses produksi *drills* alur pembuatan masih menggunakan tenaga kerja manusia daripada menggunakan mesin produksi otomatis dikarenakan faktor biaya yang lebih murah sehingga diperlukan metode yang sesuai untuk mengurangi *error* atau cacat produksi.

Vickers hardness tester merupakan alat untuk menguji kekerasan logam pada produk jenis *drills*. Bentuk dari alat ukur *vickers hardness tester* berupa piramida dengan dasar persegi yang mempunyai sudut 136° antara dasar dengan bahan uji dimana beban yang dikenakan antara 1 sampai 100 dengan satuan *kgf* (*kilogramforce/crad*). Pengujian kekerasan logam dilakukan selama kurang lebih 5 menit tetapi pengujian dengan beban penuh biasanya dilakukan dalam waktu 10 hingga 15 detik. Hasil

pengukuran dapat terlihat menggunakan mikroskop dengan rata-rata perhitungan yang diperoleh dari pembagian nilai beban *kgf* dengan luas millimeter dari bahan uji dengan hasil yang diperoleh diberi satuan VHN (*vickers hardness number*), selain menggunakan perhitungan pembagian terdapat cara yang lebih mudah yaitu menggunakan hasil dari tabel konversi. Perhitungan menggunakan tabel konversi sering digunakan di PT Jaykay Files Indonesia.

Measure merupakan salah satu analisis yang diterapkan didalam metode *six sigma* dimana dilakukan manajemen pengumpulan data, validasi sistem pengukuran (*gauge R&R*) dan menghitung nilai *sigma performance* yang bertujuan untuk memastikan apakah sistem pengukuran atau *measurement system Analysis* sudah diterima (*acceptable*) atau tidak (*unacceptable*). *Measurement system* adalah kumpulan instrumen atau gages, standar, operasi, metode, perlengkapan, *software*, personel, lingkungan dan asumsi yang digunakan untuk mengukur satuan ukuran atau memperbaiki penilaian untuk karakteristik fitur yang diukur termasuk proses lengkap yang digunakan untuk mendapatkan nilai pengukuran. Sifat secara statistik dari sistem pengukuran diantaranya yaitu stabilitas, kecukupan unit pengukuran, bias, pengulangan (*repeatability*), reproduktifitas (*reproducibility*) dan linieritas. Kriteria *measurement system Analysis gauge repeatability* dan *reproducibility* dikatakan *acceptable* apabila proses pengukuran atau *study variation gauge R&R* kurang dari sama dengan 10%, serta *repeatability* dan *reproducibility* bernilai kecil.

Penelitian *measurement system Analysis* (MSA) pernah dilakukan oleh Pramitasari yang menunjukkan hasil pengukuran GAP antar Tube di PT X dapat diterima (*acceptable*) dengan syarat perlu dilakukan perbaikan proses [1]. Dewi menunjukkan bahwa faktor *torque wrench* di PT Y berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran sehingga alat ukur *torque analyzer* telah *acceptable* [2].

Permasalahan yang dihadapi oleh PT Jaykay Files Indonesia, yaitu pada mesin produksi *vickers hardness tester* yang digunakan telah berumur kurang lebih 10 tahun dan mengalami penurunan fungsi sehingga memberikan hasil produksi yang kurang memuaskan. Pihak perusahaan ingin mengetahui penyebab pasti dari hasil produksi yang kurang memuaskan tersebut dengan menganalisis menggunakan *measurement system* dari faktor-faktor yang diduga mempengaruhi hasil produksi yaitu faktor mesin dan faktor inspektor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan merupakan kajian mengenai penentuan kerangka dasar kegiatan pengumpulan informasi terhadap objek yang memiliki variasi berdasarkan perhitungan statistik. Percobaan faktorial merupakan percobaan yang dimana semua taraf faktor dari setiap faktor tertentu dikombinasikan atau disilangkan dengan semua taraf dari setiap faktor lainnya [3]. Struktur data dari rancangan percobaan dua faktorial disajikan dalam Tabel 1.

TABEL 1. RANCANGAN FAKTORIAL 2 FAKTOR

Faktor A	Faktor B				$y_{i..}$
	1	2	...	m	
1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$	...	$y_{1m1}, y_{1m2}, \dots, y_{1mn}$	$y_{1..}$
2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$	...	$y_{2m1}, y_{2m2}, \dots, y_{2mn}$	$y_{2..}$
...
l	$y_{l11}, y_{l12}, \dots, y_{l1n}$	$y_{l21}, y_{l22}, \dots, y_{l2n}$	...	$y_{lm1}, y_{lm2}, \dots, y_{lmn}$	$y_{l..}$
$y_{.j}$	$y_{.j1}$	$y_{.j2}$	...	$y_{.jm}$	$y_{.j..}$

Tabel 1 menjelaskan struktur data pengamatan dimana faktor inspektor terdiri atas i -level sedangkan faktor produk terdiri atas j -level dan percobaan dilakukan sebanyak k -pengulangan dimana $i=1,2,\dots,l$; $j=1,2,\dots,m$; $k=1,2,\dots,n$.

B. Analysis Of Variance

Analysis of variance merupakan suatu metode analisis statistika untuk mengetahui perbedaan rata-rata tiga kelompok atau lebih dengan membandingkan nilai varians. Model ANOVA sebagai berikut,

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, l \\ j = 1, 2, \dots, m \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

TABEL 2. TABEL ANALYSIS OF VARIANCE FIXED EFFECT MODEL

Sumber Variasi	Sum of Square	Derajat Bebas	Mean Square	F
Faktor A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Interaksi (AB)	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_T	$abn-1$		

Nilai sum of square pada tabel Analysis of variance (ANOVA) sebagai berikut.

$$SS_A = \sum_{i=1}^l \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^m \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (3)$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B \quad (4)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (5)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (6)$$

Dengan,

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

C. Asumsi yang Harus dipenuhi

Pada ANOVA dua arah, menjelaskan bahwa terdapat asumsi error yang harus dipenuhi yaitu asumsi identik, independen dan berdistribusi normal (0,1) [3].

1) Distribusi normal

Salah satu pengujian secara statistik untuk menguji residual telah berdistribusi normal adalah dengan uji Kolmogorov-Smirnov. Statistik uji yang digunakan pada uji Kolmogorov-Smirnov dua sisi adalah sebagai berikut [4],

$$D = \text{Sup}_x |S(x) - F_0(x)| \quad (7)$$

jika nilai D lebih besar dari $q_{(1-\alpha)}$ dimana nilai $q_{(1-\alpha)}$ dari tabel statistik uji Kolmogorov-Smirnov maka asumsi residual berdistribusi normal tidak terpenuhi.

2) Independent

Pengecekan asumsi independen dapat dilihat dari korelasi antar residual pada plot residual versus urutan waktunya (time order). Apabila plot residual menyebar secara acak maka asumsi residual independen terpenuhi.

3) Identik

Pengujian asumsi identik dapat dilihat dari plot residuals versus fitted value. Jika plot residual tidak membentuk pola seperti corong atau megaphone maka residual telah memenuhi asumsi identik. Selain secara visual dapat diketahui juga dengan perhitungan statistik menggunakan uji levene test. Statistik uji yang digunakan pada uji levene test sebagai berikut[5],

$$L = \frac{(N - u) \sum_{u=1}^x N_u (\bar{z}_u - \bar{z})^2}{(u - 1) \sum_{u=1}^x \sum_{v=1}^{N_u} (z_{uv} - \bar{z}_u)^2} \quad (8)$$

Asumsi residual identik tidak terpenuhi apabila nilai $L >$ tabel $F_{(\alpha; u-1; N-u)}$.

D. Measurement System Analysis

Measurement System adalah kumpulan instrumen atau gauges, standar, operasi, metode, perlengkapan, software, personel, lingkungan dan asumsi yang digunakan untuk mengukur satuan ukuran atau memperbaiki penilaian untuk karakteristik fitur yang diukur termasuk proses lengkap yang digunakan untuk mendapatkan nilai pengukuran. Measurement system tidak hanya berupa alat, seperti penggaris atau penghitung waktu, namun juga meliputi orang (karyawan), standar dan prosedur, dan juga pelatihan-pelatihan yang melingkupi proses pengukuran itu sendiri. Measurement system analysis dapat dikategorikan menjadi 2 kategori, yaitu MSA tipe I dan MSA tipe II.

1) MSA Tipe I

Measurement System Analysis atau MSA tipe I adalah studi untuk mengukur nilai variasi hanya yang berasal dari inspektor [6]. Perhitungan nilai capability gauge (Cg)

untuk membandingkan variasi studi (penyebaran pengukuran *gauge*) dengan nilai toleransi dan *Cgk* untuk menghitung nilai bias pengukur, dimana bias pengukur merupakan selisih antara hasil rata-rata pengukuran oleh inspektor dengan nilai target yang ditentukan.

$$Cg = \frac{K / 100 * Tolerance}{L * s} \tag{9}$$

$$Cgk = \frac{K / 200 * Tolerance - |\bar{x}_g - x_m|}{L * s} \tag{10}$$

K merupakan nilai *percent tolerance* yang digunakan, *s* merupakan nilai standar deviasi, x_m merupakan rata-rata dari pengukuran dan x_g merupakan nilai target pengukuran.

2) *MSA Tipe II*

Measurement system analysis tipe II atau juga disebut *gauge repeatability* dan *reproducibility (Gauge R&R)*. *Reproducibility* adalah variasi dari hasil pengukuran oleh operator yang berbeda sedangkan *repeatability* adalah variasi dari hasil pengukuran oleh operator dan alat yang sama [3].

Variability dari proses *measurement* dan total *varians* dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut [7],

$$\sigma_{gauge}^2 = \sigma_{repeatability}^2 + \sigma_{reproducibility}^2$$

$$\sigma_{Total}^2 = \sigma_{Part}^2 + \sigma_{gauge}^2$$

Sumber *varians* di rangkum pada Tabel 3 sebagai berikut,

TABEL 3. SUMBER VARIANS SISTEM PENGUKURAN

Sumber Varians	Matriks
Repeatability (EV)	$EV = k\sqrt{MSE}$
Reproducibility (AV)	$AV = k \sqrt{\frac{MS_A - MS_{AB}}{bn}}$
Varians part to part (PV)	$PV = k \sqrt{\frac{MS_B - MS_{AB}}{an}}$
Varians interaksi (IV)	$IV = k \sqrt{\frac{MS_B - MS_E}{n}}$
Gauge R&R	$R\&R = k\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2}$

Nilai *k* adalah konstan yang tergantung pada jumlah percobaan masing-masing inspektor [8].

Sedangkan untuk menentukan suatu kondisi *measurement system* yaitu dengan cara menghitung *gauge R&R* menggunakan matriks sebagai berikut,

$$GaugeR\&R = \left[\frac{\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2}}{USL - LSL} \right] \times 100\%$$

Persentase contribution variation adalah nilai *varians* dari pengukuran dibagi dengan jumlah *varians* keseluruhan dan kriteria penerimaan sebagai berikut [9],

1. *Measurement system* dikatakan telah *acceptable* apabila nilai % *contribution variation Gauge R&R* kurang dari sama dengan 1%.
2. *Measurement System* dikatakan telah *acceptable* dengan syarat tertentu apabila nilai % *contribution variation gauge R&R* berada pada rentang nilai 1% sampai dengan 9%.
3. *Measurement System* dikatakan *unacceptable* jika nilai % *contribution variation Gauge R&R* lebih dari sama dengan 9%. Pada kondisi ini perlu adanya perbaikan dalam sistem pengukuran.

Cara kedua yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi *measurement system* adalah dengan menggunakan

number of distinct categories atau *classification ratio* yang disimbolkan dengan *ndc* dimana,

$$ndc = \frac{\hat{\sigma}_{part}}{\hat{\sigma}_{R\&R}} \times 1.41$$

Measurement system dikatakan *acceptable* apabila nilai *number of distinct categories* lebih besar dari 5.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer, yaitu hasil pengukuran kekerasan *drill test block* yang didapatkan di departemen Quality Control PT jaykay Files Indonesia. Pengukuran dilakukan oleh tiga orang inspektor dengan menggunakan alat ukur *vickers hardness tester*. Terdapat tiga jenis *drills test block* yaitu 752 VHN, 758 VHN dan 810 VHN dimana masing-masing dari jenis *drills* diambil sebanyak tiga unit produk. Kekerasan *drills test block* diukur dengan cara memberi tekanan sebesar 30 *kgf* pada permukaan *drills* dan dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Setiap hari seorang inspektor melakukan pengukuran pada setiap jenis *drills* selama tiga hari. Hasil pengukuran kekerasan *drills test block* menggunakan alat *vickers hardness tester* dirangkum seperti pada Tabel 1. y_{ijk} adalah nilai pengukuran kekerasan logam pada inspektor ke-*i*, *drills test block* level ke-*j* dan pengulangan ke-*k* dimana $i = 1,2,3$; $j = 1,2,3$; $k = 1,2,3, \dots, 15$.

B. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah hasil pengukuran kekerasan *drills test block* dengan standar kekerasan produk pada tabel 4 sebagai berikut,

TABEL 4. VARIABEL PENGAMATAN

Drills Test Block	1 (Kode 01)	2 (Kode 02)	3 (Kode 03)
Standar (VHN)	752 (±50)	758 (±50)	810 (±50)

C. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Melakukan *Analysis Of Variance (ANOVA)*
2. Menguji asumsi residual Identik, Independent dan Distribusi Normal, IIDN(0,σ²).
3. Menganalisis *measurement system* tipe I
4. Menganalisis *measurement system* tipe II
5. Menarik kesimpulan dan saran

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas *measurement system analysis* *repeatability* dan *reproducibility (gauge R&R)* hasil pengukuran kekerasan *drill test block*

A. *Analysis of variance (ANOVA)*

Analysis of variance digunakan selain untuk menghitung nilai *gauge R&R* juga digunakan untuk mengetahui perbedaan *mean* (rata-rata) dari dua faktor yang diujikan yaitu faktor *drills test block* dan faktor inspektor apakah memberikan pengaruh atau tidak terhadap hasil pengukuran kekerasan logam.

TABEL 5. HASIL ANALYSIS OF VARIANCE

Source	DF	SS	MS	F
Inspektor	2	47191	23595.5	141.11
Drills	2	77072	38535.8	230.46
Interaksi	4	1830	457.5	2.74

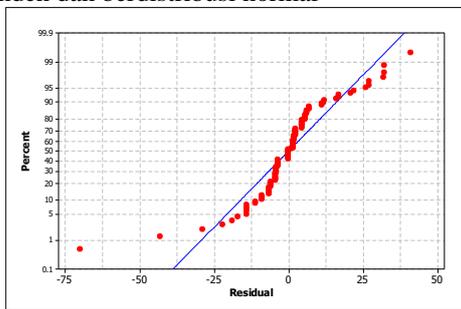
Error	126	21069	167.2
Total	134	147161	

ANOVA dua arah digunakan untuk mengetahui perbedaan dari dua faktor yaitu faktor inspektor dan faktor *drills test block* dimana terdapat tiga inspektor dan tiga jenis *drills* yang berbeda. Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan ANOVA dua arah dengan hipotesis untuk faktor inspektor sebagai berikut

Nilai F_0 pada faktor inspektor sebesar 141,11 nilai tersebut lebih besar dari nilai $F_{(0,05;2;126)}$ sebesar 3,00, maka dapat disimpulkan bahwa minimal terdapat satu inspektor memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil pengukuran *drills test block*.

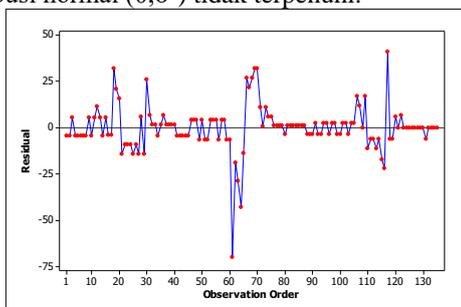
Nilai F_0 pada faktor *drills* sebesar 230,46 nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai $F_{(0,05;4;126)}$ sebesar 3,00 maka dapat disimpulkan bahwa minimal terdapat satu *drills test block* yang memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil pengukuran.

Nilai F_0 pada faktor interaksi sebesar 2,74 nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai $F_{(0,05;2;126)}$ sebesar 2,37 maka dapat disimpulkan bahwa interaksi antara inspektor dan produk *drills test block* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil pengukuran. Pada ANOVA dua arah, menjelaskan bahwa terdapat asumsi *error* yang harus dipenuhi yaitu asumsi identik, independen dan berdistribusi normal



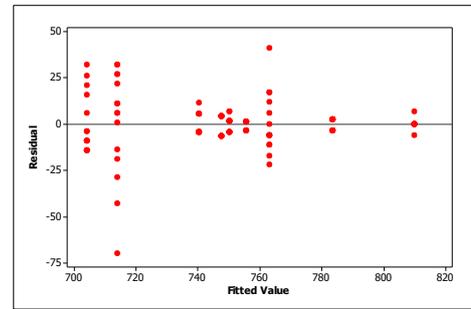
Gambar 1. Normal Probability Plot Hasil Pengukuran

Pada Gambar 1 *normal probability plot* terlihat bahwa residual menyebar dan tidak mengikuti garis lurus, maka dapat dikatakan bahwa residual tidak berdistribusi normal. Menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* didapatkan nilai D atau *Kolmogorov-Smirnov* (KS) sebesar 0,175 dimana nilai tersebut lebih besar daripada nilai tabel $q_{(0,05)}$ sebesar 0,105 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal $(0, \sigma^2)$ tidak terpenuhi.



Gambar 2. Plot Versus Time Order Hasil Pengukuran

Apabila dilihat dari *plot versus order*, titik-titik residual terlihat tidak menyebar maka residual independen tidak terpenuhi.



Gambar 3. Plot Versus Fitted Value Hasil Pengukuran

Berdasarkan *plot versus fits*, titik-titik plot membentuk pola corong, maka dapat dikatakan residual identik tidak terpenuhi. Menggunakan uji *levene test*, untuk residual yang dikelompokkan berdasarkan faktor *drills test block* diperoleh nilai L sebesar 4,66 dimana nilai tersebut lebih besar daripada nilai tabel $F_{(0,05;2;14)} = 3,74$ dan residual yang dikelompokkan berdasarkan inspektor, diperoleh nilai L sebesar 0,14 dimana nilai tersebut kurang dari nilai tabel $F_{(0,05;2;14)} = 3,74$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi identik untuk faktor berdasarkan *drills test block* tidak terpenuhi sedangkan untuk faktor inspektor telah terpenuhi. Sehingga asumsi residual IIDN $(0, \sigma^2)$ tidak terpenuhi dan analisis ANOVA dua arah perlu dilakukan penanggulangan berupa transformasi data. Berdasarkan hasil transformasi data asumsi tetap tidak terpenuhi. Berdasarkan hasil tersebut, data tetap dianalisis lebih lanjut dengan metode *gaug R&R*.

B. Measurement System Analysis

MSA digunakan untuk memvalidasi apakah sistem pengukuran telah mampu mengukur dengan konsisten dan akurat, MSA dapat dianalisis dengan dua cara pendekatan sistem pengukuran yaitu MSA tipe I dan MSA tipe II

1) Measurement System Analysis Tipe I

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai Cg dan Cgk untuk masing-masing variabel pengamatan bervariasi, dikarenakan nilai *reference value* dari setiap variabel pengamatan berbeda. Nilai toleransi yang dipengaruhi oleh *varians* sistem pengukuran dilihat dari besar Cg , sedangkan nilai toleransi yang dipengaruhi oleh variasi sistem pengukuran dan *bias* dilihat dari nilai Cgk . Nilai Cg dan Cgk dari semua variabel pengamatan menunjukkan nilai yang lebih kecil dari 1,33. Nilai ini mengindikasikan bahwa variasi sistem pengukuran setiap variabel pengamatan besar jika dibandingkan dengan *range* dari toleransi.

TABEL 6. GAUGE R&R TIPE I

	Variabel Pengamatan		
	1*	2*	3*
<i>Cg</i>	0.75	0.67	0.77
<i>Cgk</i>	0.44	0.41	0.40
%Var (<i>Repeatability</i>)	67.11	75.15	64.69
%Var (<i>Repeatability and Bias</i>)	113.45	120.87	126.35
(<i>P-value</i>)	0.000	0.000	0.000
Tolerance (VHN)	100	100	100
Reference (VHN)	752	758	810

1* = Drills Test Block 752 VHN ; 2* = Drills Test Block 758 VHN ; 3* = Drills Test Block 810 VHN

Terdapat nilai *bias* (*p-value*) dari tiga pengamatan dimana nilai *bias* sebesar 0,000 yang mana lebih kecil dari nilai α (0,05). Berdasarkan hasil tersebut dapat memberikan kesimpulan bahwa terdapat *bias* dalam

sistem pengukuran dari ketiga pengamatan. Hasil nilai C_g dan C_{gk} serta nilai p -value dari *bias* pada ketiga pengamatan *drills test block* menunjukkan bahwa sistem pengukuran pada variabel tersebut belum mampu mengukur *drills test block* secara konsisten dan akurat. Sehingga perlu adanya perbaikan terhadap sistem pengukuran pada variabel tersebut.

2) *Measurement System Analysis Tipe II*

MSA tipe II digunakan untuk mengestimasi bagaimana *varians* proses yang disebabkan dari sistem pengukuran. Analisis ini memberikan nilai perbandingan antar *varians* dari sistem pengukuran dengan *total varians proses*. Menggunakan *Analysis of variance (ANOVA)* untuk mengambil keputusan mengenai kondisi *measurement system* apakah sudah *acceptable* atau tidak.

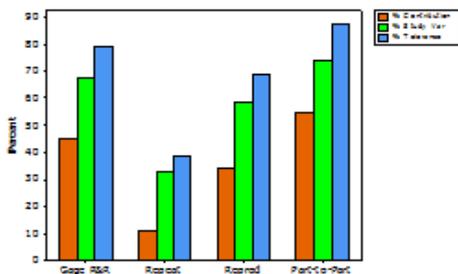
Pada Tabel 9 dapat diketahui nilai *persent contribution of varians component* sebesar 45,30. Nilai 45,30% tersebut diperoleh dari nilai *varians component total gauge R&R* dibagi dengan *varian component total variation* dan dikalikan dengan 100%. Besar *persent contribution varians component total gauge R&R* tersebut lebih dari 9% sehingga dapat dikatakan bahwa *measurement system unacceptable*. Serta dilihat dari nilai *varians component repeatability* dan *reproducibility* masing-masing sebesar 10,81 dan 34,49 nilai tersebut menjelaskan bahwa *varians error* hasil pengukuran yang disebabkan oleh alat ukur menyumbang 10,81% dan *varians error* yang disebabkan oleh inspektor dan interaksi sebesar 34,49%.

TABEL 7. GAUGE R&R TIPE II

Source	Var Comp	% Cont of Var Comp
Total Gauge R&R	700.74	45.30
Repeatability	167.21	10.81
Reproducibility	533.53	34.49
Inspektor	514.18	33.24
Inspektor*drills	19.35	1.25
Part to Part	846.18	54.70
Total variation	1546.92	100.00

Number of Distinc Categories = 1

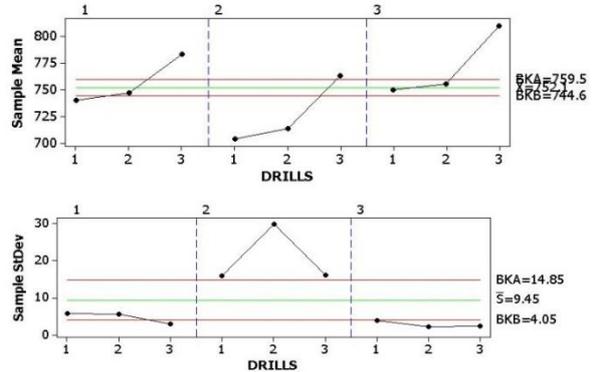
Diperoleh juga nilai *number of distinct categories* sebesar 1 dimana nilai tersebut kurang dari 5, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran yang dilakukan tidak dapat diterima (*unacceptable*). *Number distinct of categories* menunjukkan rentang dari *varians alat ukur* dimana terdapat 3 jenis *drills test block* dengan teraf level berbeda yang diukur menggunakan *vickers hardness tester* dan didapatkan nilai kurang dari 5 sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga *drills test block* tidak dapat dilakukan pengukuran dengan baik menggunakan alat ukur *vickers hardness tester*.



Gambar 4. Gauge R&R Grafik Variasi Komponen

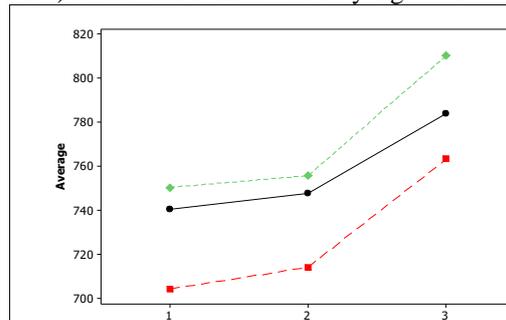
Gambar 4 merupakan Gambaran visual dari hasil analisis *gauge R&R*. Sistem pengukuran dikatakan baik

apabila komponen terbesar dari variasi adalah *part to part* dan sebaliknya maka sistem pengukuran perlu dilakukan perbaikan. Secara visual terlihat bahwa sistem pengukuran perlu dilakukan perbaikan, dimana terlihat *%contribution varians gauge R&R* yang tinggi. hal ini disebabkan karena besar variasi dari *varians repeatability* dan *reproducibility* selain itu juga *persent study varians part to part* juga tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa *measurement system unacceptable*.



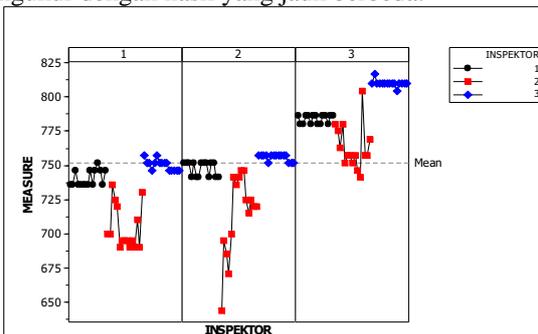
Gambar 5. Gauge R&R Grafik \bar{x} (Atas) Dan Grafik \bar{s} (Bawah)

Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa grafik \bar{s} chart dimana plot-plot antara inspektor 1, inspektor 2 dan inspektor 3 mempunyai pola berbeda ini mengindikasikan bahwa inspektor menghasilkan *varians* pengukuran yang besar. Berdasarkan \bar{x} chart plot-plot grafik didapatkan dari *mean* masing-masing hasil pengukuran jenis *drills test block* serta garis tengah merupakan rata-rata keseluruhan untuk semua *drills test block*. Banyaknya plot-plot yang keluar dari batas kendali memberikan Gambaran bahwa nilai *reproducibility* (inspektor dan interaksi) memberikan nilai *varians* yang besar.



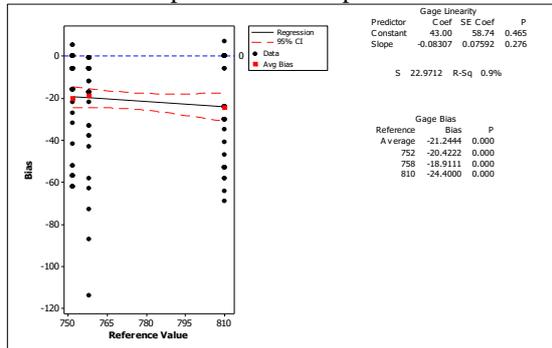
Gambar 6. Gauge R&R Grafik Interaksi

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa interaksi antara inspektor dan *drills* ditampilkan pada plot rata-rata dari hasil pengukuran kekerasan logam *drills test block* oleh masing-masing inspektor untuk setiap level *drills test block*. Dari hasil tersebut garis penghubung plot saling berjauhan sehingga diindikasikan bahwa setiap inspektor mengukur dengan hasil yang jauh berbeda.



Gambar 7. Gauge Run Chart

Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa terdapat 3 hasil pengukuran yang dilakukan oleh tiga orang inspektor, pada hasil pengukuran yang dilakukan oleh inspektor 2 dapat terlihat bahwa dalam mengukur 3 level *drills* menghasilkan nilai pengukuran yang random dan jauh dari batas spesifikasi yang telah ditentukan. Pengukuran yang *outlier* (keluar dari batas spesifikasi) tersebut sangat kontras dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan oleh inspektor 1 dan inspektor 3.



Gambar 8. Gauge Linieritas dan Bias

Berdasarkan Gambar 8 secara visual dapat diketahui nilai bias dan *linieritas* hasil pengukuran dari plot-plot hasil pengukuran *drills test block*, bahwa terdapat nilai bias karena plot menyebar jauh tidak saling berhimpitan. Selain secara visual nilai *linieritas* dan bias dapat diketahui dari *p-value slope* yang keseluruhan hasil pengukuran *vickers hardness tester* yang tidak signifikan. Nilai *p-value* untuk rata-rata bias masing-masing level *drills test block* sebesar 0,000 dengan demikian *measurement system* pada 3 jenis *drills* yang diukur kekerasannya dengan alat *vickers hardness tester* adalah signifikan bias.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut, *Analysis of variance* (ANOVA) menunjukkan bahwa faktor *drills test block*, faktor inspektor dan faktor interaksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengukuran serta inspektor 1, inspektor 2 dan inspektor 3 memiliki

kemampuan yang berbeda dalam memberikan hasil pengukuran. *Gauge R&R* menunjukkan bahwa sistem pengukuran (*measurement system*) di PT Jaykay Files Indonesia tidak diterima (*unacceptable*). Hal ini disebabkan karena data hasil pengukuran tidak baik. Oleh karena itu diharapkan pihak perusahaan dapat memperbaiki kualitas data dengan melakukan kecukupan unit pengukuran sehingga dapat memenuhi asumsi penelitian dan sistem pengukuran dapat diterima. Selain itu perlu dilakukan peningkatan terhadap kemampuan inspektor dalam melakukan inspeksi pengukuran. Perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan pelatihan yang berkaitan mengenai teknik pengukuran produk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramisari, L.M. (2013). Penerapan *Measurement System Analysis Univariate dan Bivariate Proses Oriented Basis Representation* Pada Pengukuran Gap Antar Tube di PT ALSTOM Power ESI
- [2] Dewi, N.P.W. (2013). *Measurement System Analysis Repeatability dan Reproducibility (Gauge R&R)* Studi Kasus : PT.Gaya Motor (Astra Group). Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA ITS
- [3] Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments (5th ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- [4] Daniel, W. W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Alex Tri Kantjono W. (Trans.). Jakarta: Penerbit PT. Gramedia (Buku asli diterbitkan pada 1978).
- [5] Lim, T. S., & Loh, W. Y. (1996). A Comparison of Test of Equality of Variances. *Computational Statistics & Data* 22, 287-301.
- [6] Pan, J.N. (2004). *Determination of The Optimal Allocation of Parameters for gauge Repeatability and reproducibility Study*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 672-682.
- [7] Amin, M., Akbar, A., Akram, M., Ullah, M.A. (2012). *Measurement System Analysis for Yarn Strength Spinning Processes*. *International Research Journal of Finance and Economics*, 131-141.
- [8] Ford Motor Company (2010). *Measurement system Analysis (4nd)* Detroit: MI : Automotive Industry Action Group.
- [9] Minitab. (2010). *Gage Studies for Continuous Data*. Minitab Inc.