

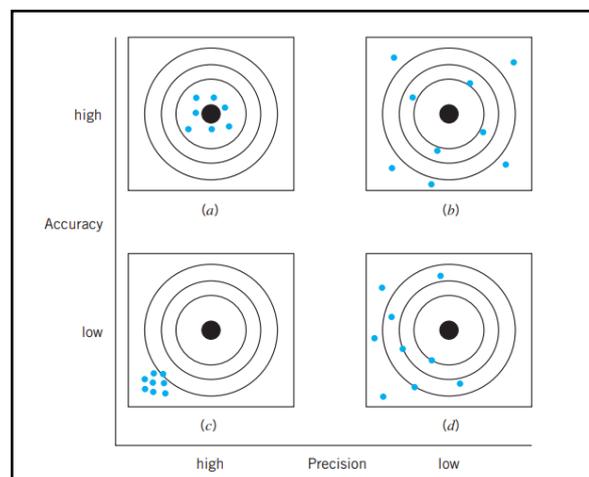
Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Sistem Pengukuran

Dalam upaya menjamin kualitas suatu produk, maka diperlukan adanya suatu sistem pengukuran untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Sistem pengukuran atau *measurement system* merupakan keseluruhan proses yang menggunakan alat ukur, standard, operasi, operator, perangkat lunak, metode, *fixtures*, asumsi, dan lingkungan untuk menjadi tolak ukur suatu unit pengukuran (Indriyanti, 2006).

Alat ukur yang baik harus sesuai dengan standard dan spesifikasi yang telah ditentukan dari alat ukur tersebut. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi suatu hasil pengukuran antara lain alat ukur yang dipakai, metode pengukuran, cara pemakaian alat ukur, dan ketepatan alat ukur tersebut. Ketelitian pada alat ukur sangat penting untuk diperhatikan, hal ini bertujuan agar variasi pada objek yang diukur dapat terlihat jelas dan tidak menjadi bias. Penyebab ketidaktepatan pengukuran (*error*) akan lebih mudah dideteksi ketika proses *measurement system* diperlihatkan. Kemampuan alat ukur untuk melakukan pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya dinamakan dengan akurasi. Menunjukkan keandalan dari hasil pengukuran yang diperoleh dinamakan presisi (Dewi dan Singgih, 2015). Konsep akurasi dan presisi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Presisi dan Akurasi (Sumber: Montgomery, 2013)

2.2 *Measurement System Analysis*

Dalam suatu pengukuran, seringkali terjadi ketidaktepatan pada proses dan hasil pengukuran tersebut yang menyebabkan terjadinya variabilitas. Oleh karena itu, penting untuk diketahui tingkat dan penyebab variabilitas untuk menilai sistem pengukuran sudah memuaskan dan dapat diterima atau tidak. Apabila sistem pengukuran tersebut tidak bisa diterima, maka perlu dilakukan observasi untuk mengetahui cara memperbaikinya. Sistem pengukuran adalah kumpulan alat pengukur dan peralatan, prosedur, orang, dan lingkungan yang digunakan untuk menetapkan suatu angka pada karakteristik yang diukur. Sistem pengukuran yang baik dan ideal adalah yang menghasilkan pengukuran yang benar yaitu sesuai dengan standar yang ada serta tidak memiliki bias dan varian (Indriyanti, 2006).

Menurut Joglekar (2003) terdapat beberapa sifat dari sistem pengukuran yang baik, antara lain:

1. Stabilitas (*Stability*)

Suatu sistem pengukuran dikatakan stabil jika tidak terpengaruh oleh sebab khusus atau faktor lain serta berada pada rentang yang sama dari waktu ke waktu

2. Kecukupan Unit Pengukuran (*Adequacy of Measurement Units*)

Kemampuan pengukuran sistem untuk mengukur karakteristik ke jumlah desimal yang memadai disebut kecukupan unit pengukuran. Penentuan berapa banyak jumlah desimal yang memadai tergantung pada jenis pengukuran yang dilakukan

3. Bias

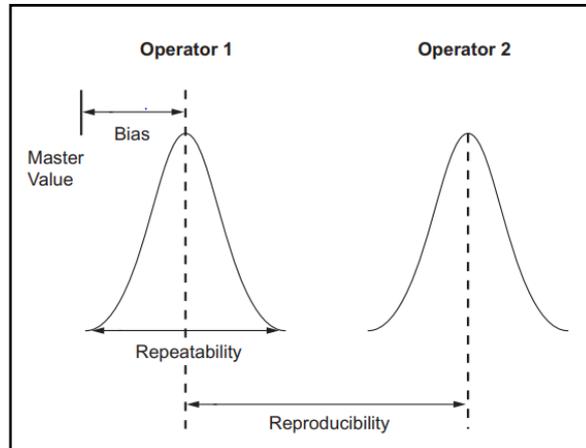
Bias atau ketidakakuratan sistem pengukuran adalah perbedaan sistematis antara hasil sistem pengukuran dengan standar metode pengukuran. Maka untuk menentukan bias pada suatu pengukuran, diperlukan adanya standar atau metode pengukuran utama sebagai acuan

4. Pengulangan (*Repeatability*)

Pengulangan atau *repeatability* merupakan variabilitas dalam pengukuran berulang dari objek yang sama dalam kondisi operasi yang identik yaitu menggunakan alat ukur, operator, dan lingkungan yang sama

5. Reproduktifitas (*Reproducibility*)

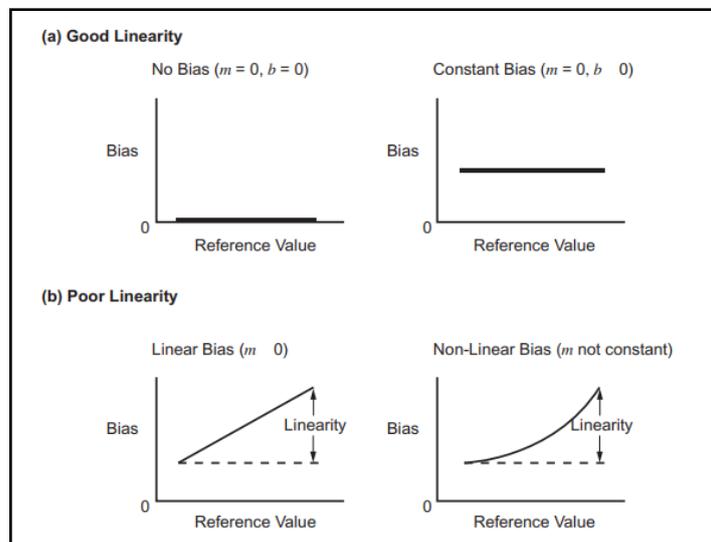
Reproduktifitas atau *reproducibility* merupakan variabilitas dalam rata-rata pengukuran yang dilakukan oleh operator berbeda dengan menggunakan alat ukur dan objek yang sama



Gambar 2.2 *Bias, repeatability, and reproducibility* (Sumber: Joglekar, 2003)

6. Linieritas dan Kestabilan Varian (*Linearity and Constancy of Variance*)

Bias dan variabilitas pada sistem pengukuran memiliki kemungkinan untuk konstan di seluruh rentang pengukuran. Jika bias konstan pada seluruh rentang pengukuran, maka sistem pengukuran tersebut dikatakan linear. Sama halnya saat variabilitas tetap konstan selama proses pengukuran berlangsung, maka sistem pengukuran dikatakan memiliki varian konstan atau stabil



Gambar 2.3 *Linearity* (Sumber: Joglekar, 2003)

Measurement System Analysis umum digunakan dalam dunia industri. *Measurement system* minimal terdiri atas alat ukur atau *gauge*, yang terdiri dari beberapa komponen, seperti operator yang menggunakan alat ukur tersebut dan perbedaan hasil pengukuran saat alat ukur tersebut digunakan (Yosepha, 2015). Persamaannya adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013),

$$\sigma^2_{Total} = \sigma^2_{Part} + \sigma^2_{Gauge} \quad (2.1)$$

Keterangan:

σ^2_{Total} : variasi total pengukuran yang diobservasi

σ^2_{Part} : variasi part

σ^2_{Gauge} : variabilitas proses pengukuran

Measurement system capability studies juga dapat digunakan untuk mengetahui dua komponen kesalahan pengukuran yang biasa disebut *repeatability* dan *reproducibility* dari pengukur. *Reproducibility* didefinisikan sebagai variabilitas karena operator yang berbeda (atau periode waktu, lingkungan, dan kondisi umum yang berbeda) dan *repeatability* yang menggambarkan dasar ketepatan dari pengukur itu sendiri. Berikut adalah persamaannya (Montgomery, 2013),

$$\sigma^2_{Measurement\ Error} = \sigma^2_{Gauge} = \sigma^2_{Repeatability} + \sigma^2_{Reproducibility} \quad (2.2)$$

Metode analisis varian dapat digunakan untuk mengestimasi komponen varian. Prosedur tersebut mencakup variabilitas total dalam pengukuran. Berikut persamaannya,

$$SS_{Total} = SS_{Parts} + SS_{Operators} + SS_{PxO} + SS_{Error} \quad (2.3)$$

Biasanya σ^2 dianggap sebagai komponen *repeatability* varian, dan *gauge reproducibility* sebagai jumlah operator dan part \times komponen operator varian,

$$\sigma^2_{Reproducibility} = \sigma^2_O + \sigma^2_{PO} \quad (2.4)$$

Dimana

$$\sigma^2_{Gauge} = \sigma^2_{Reproducibility} + \sigma^2_{Repeatability} \quad (2.5)$$

Setelah perhitungan statistik didapatkan, selanjutnya adalah melakukan evaluasi untuk menentukan kapabilitas sistem pengukuran tersebut.

Langkah pertama, menentukan EV atau *measurement repeatability* dengan persamaan sebagai berikut,

$$EV = \hat{\sigma}_{pe} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.6)$$

dimana,

\bar{R} : rata-rata variasi dari operator yang mengulang pengukuran untuk semua *part*
 d_2 : faktor koreksi untuk nilai distribusi variasi rata-rata (lihat *appendix C* di MSA, AIAG *guideline*)

Langkah selanjutnya adalah menentukan AV atau *measurement reproducibility* dengan persamaan sebagai berikut,

$$AV = \hat{\sigma}_o = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{DIFF}}{d_2}\right)^2 - \frac{o}{o.n.r} * EV^2} \quad (2.7)$$

dimana,

\bar{R}_{DIFF} : variasi pengukuran berulang untuk setiap part yang diukur oleh operator
 r : jumlah part yang diukur
 n : jumlah percobaan pengukuran berulang
 o : jumlah operator
 d_2 : faktor koreksi untuk nilai distribusi variasi rata-rata (lihat *appendix C* di MSA, AIAG *guideline*)

$$\bar{R}_{DIFF} = |\bar{R}_{MAX} - \bar{R}_{MIN}| \quad (2.8)$$

dimana,

\bar{R}_{MAX} : rata-rata variasi terbesar operator
 \bar{R}_{MIN} : rata-rata variasi terkecil operator

Pada langkah berikutnya, dilakukan evaluasi dari kombinasi *repeatability* dan *reproducibility* GRR dengan persamaan sebagai berikut,

$$GRR = \hat{\sigma}_e = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (2.9)$$

Untuk menentukan % GRR, diperlukan nilai TV atau variabilitas proses dengan persamaan sebagai berikut,

$$TV = \hat{\sigma}_x = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (2.10)$$

dimana,

$$PV = \hat{\sigma}_p = \frac{R_p}{d_2} \quad (2.11)$$

dimana,

Rp: variasi rata-rata pengukuran dari pengulangan individu *subgroup* dari *part*

Langkah yang harus dilakukan selanjutnya adalah menentukan indikator kesesuaian sistem pengukuran dengan % GRR – *gage repeatability*, % AV – *reproducibility*, % PV – *product variability* (Ford Company, 2010 dalam Cepova *et al.*, 2018).

$$\% GRR = 100 \cdot \frac{GRR}{TV} \quad (2.12)$$

$$\% EV = 100 \cdot \frac{EV}{TV} \quad (2.13)$$

$$\% AV = 100 \cdot \frac{AV}{TV} \quad (2.14)$$

$$\% PV = 100 \cdot \frac{PV}{TV} \quad (2.15)$$

Number of district categories (*ndc*) merupakan langkah terakhir dalam metode ini dengan persamaan sebagai berikut,

$$ndc = 1,41 \cdot \frac{PV}{GRR} \quad (2.16)$$

Setelah nilai dari persamaan di atas didapatkan, selanjutnya adalah menentukan *acceptable* atau *unacceptable* sistem pengukuran tersebut berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Kriteria *acceptable* dan *unacceptable* % GRR

% GRR < 10%	Sistem pengukuran dapat diterima. Sistem pengukuran menyediakan informasi proses perubahan yang dapat dipercaya
10% < % GRR < 30%	Dapat diterima secara kondisional. Dapat digunakan untuk beberapa aplikasi
% GRR > 30%	Sistem pengukuran tidak dapat diterima. Sistem pengukuran tidak menyediakan informasi proses perubahan yang dapat dipercaya

(Sumber: Cepova *et al.*, 2018)

Tabel 2.2 Kriteria *acceptable* dan *unacceptable* ndc

ndc ≥ 5	Sistem pengukuran dapat diterima. Sistem pengukuran menyediakan informasi proses perubahan yang dapat dipercaya
ndc < 5	Sistem pengukuran tidak dapat diterima. Sistem pengukuran tidak menyediakan informasi proses perubahan yang dapat dipercaya

(Sumber: Cepova *et al.*, 2018)

2.3 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data adalah proses pengujian yang dilakukan terhadap data pengukuran untuk mengetahui apakah data yang diambil untuk penelitian sudah mencukupi atau tidak. Pengaruh tingkat ketelitian dan keyakinan adalah bahwa semakin tinggi tingkat ketelitian dan semakin besar tingkat keyakinan, semakin banyak pengukuran yang diperlukan.

Berikut adalah persamaan uji kecukupan data:

$$N' = \left(\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (2.17)$$

Keterangan:

N': jumlah data reoritis

k: tingkat kepercayaan

s: derajat ketelitian

N: jumlah data pengamatan

Jika $N' < N$, maka dianggap cukup, jika $N' > N$ data tidak cukup perlu dilakukan pengamatan tambahan (Amri, 2014).

2.4 Uji Normalitas Data

Uji normalitas data dengan menggunakan uji Kolmogorov Smirnov dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah mengikuti distribusi normal. Asumsi uji Kolmogorov Smirnov adalah data terdiri atas hasil-hasil pengamatan bebas X_1, X_2, \dots, X_n yang merupakan sebuah sampel acak berukuran n dari suatu fungsi distribusi yang belum diketahui dan dinyatakan dengan $F(x)$.

Berikut ini adalah pengujian hipotesis dari uji Kolmogorov Smirnov:

Hipotesis:

$H_0: F_0(x) = F_e(x)$ (Data berdistribusi normal)

$H_1: F_0(x) \neq F_e(x)$ (Data tidak berdistribusi normal)

Statistik uji:

$$D = \sup_x |F_e(x) - F_0(x)| \quad (2.18)$$

Nilai $F_0(x)$ merupakan fungsi distribusi teorik yang diperoleh dari nilai peluang kumulatif, sedangkan $F_e(x)$ merupakan fungsi distribusi empirik yang diperoleh dari nilai peluang kumulatif berdasarkan data sampel.

Jika ditetapkan tingkat signifikan sebesar α maka menolak H_0 dengan nilai $D > D_{\alpha}$ dimana nilai D_{α} merupakan nilai kritis Uji Kolmogorov-Smirnov satu sampel. (Razali & Wah, 2011 dalam Yosepha, 2015).

2.5 Desain Eksperimen

Desain eksperimen atau rancangan percobaan merupakan metodologi atau strategi percobaan untuk menganalisis sebab-sebab perubahan pada suatu proses dengan cara melakukan serangkaian pengujian atau percobaan (Muis, 2014). Desain eksperimen dapat juga diartikan menjadi sebuah penilaian terhadap dua faktor atau lebih terhadap kapabilitasnya dalam mempengaruhi variabilitas pada sifat suatu proses atau obyek tertentu (Soejanto, 2009). Percobaan perlu dirancang dengan baik, karena keakuratan hasil dan kesimpulan dari percobaan tersebut tergantung pada cara pengambilan data.

Rancangan percobaan yang dinilai paling efisien adalah rancangan faktorial karena dengan rancangan faktorial, eksperimen lengkap, ganda, maupun seluruh kombinasi faktor eksperimen lainnya dapat diselidiki. Pengamatan dalam percobaan faktorial dapat dijelaskan dengan model. Ada beberapa cara menulis model untuk percobaan faktorial yaitu sebagai berikut (Montgomery, 2012),

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.19)$$

Keterangan:

y_{ijk} : respon atau nilai observasi pada faktor A level ke-i, faktor B level ke-j dan pengulangan faktor n ke-k

μ : efek rata-rata keseluruhan

τ_i : efek faktor A level ke-i

β_j : efek faktor B level ke-j

$(\tau\beta)_{ij}$: efek interaksi faktor A level ke-i dan faktor B level ke-j

ϵ_{ijk} : komponen *error random*

Jenis rancangan percobaan faktorial yang paling sederhana adalah yang melibatkan dua faktor atau rangkaian perlakuan. Contohnya terdapat level a dari faktor A dan level b dari faktor B serta percobaan tersebut diulang sebanyak n kali.

Tabel 2.3 Susunan Umum Percobaan Faktorial Dua Faktor

		Faktor B			
		1	2	...	b
Faktor A	1	$y_{111}, y_{112},$ \dots, y_{11n}	$y_{121}, y_{122},$ \dots, y_{12n}		$y_{1b1}, y_{1b2},$ \dots, y_{1bn}
	2	$y_{211}, y_{212},$ \dots, y_{21n}	$y_{221}, y_{222},$ \dots, y_{22n}		$y_{2b1}, y_{2b2},$ \dots, y_{2bn}
	:				
	a	$y_{a11}, y_{a12},$ \dots, y_{a1n}	$y_{a21}, y_{a22},$ \dots, y_{a2n}		$y_{ab1}, y_{ab2},$ \dots, y_{abn}

2.5.1 ANOVA

Pengujian terhadap objek amatan dilakukan untuk mengetahui tingkat signifikan dari interaksi yang ditimbulkan antara faktor A dan faktor B. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan, kemudian dilakukan pengujian dengan *Analysis of Variance* (ANOVA). Berikut adalah tabel ANOVA:

Tabel 2.4 Tabel ANOVA

Sumber Variasi	Sum of Square	Derajat Bebas	Mean Square	F₀
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	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_R	$abn - 1$		

(Sumber: Montgomery, 2012)

Dimana persamaan *sum of square* adalah sebagai berikut,

$$SS_A = \sum_{i=1}^l \frac{y^2_{i..}}{bn} - \frac{y^2_{...}}{abn} \quad (2.20)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^m \frac{y^2_{.j.}}{bn} - \frac{y^2_{...}}{abn} \quad (2.21)$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \frac{y^2_{ij.}}{n} - \frac{y^2_{...}}{abn} - SS_A - SS_B \quad (2.22)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.23)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n y^2_{ijk} - \frac{y^2_{...}}{abn} \quad (2.24)$$

Dengan

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (2.25)$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (2.26)$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (2.27)$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (2.28)$$

(Montgomery, 2012)

2.6 Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dari beberapa larutan baku yang telah diketahui konsentrasinya (dalam penelitian ini adalah larutan baku sulfat). Pembuatan kurva kalibrasi bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu metode analisis dalam

mendapatkan hasil pengukuran atau pengujian yang sesuai dengan rentang konsentrasi larutan analit. Persamaan linear pada kurva kalibrasi adalah $y = ax + b$, dimana Y adalah variabel terikat (konsentrasi) dan X adalah variabel bebas (absorbansi) dan nantinya menghasilkan koefisien korelasi R. Koefisien korelasi berfungsi untuk melihat seberapa besar hubungan atau korelasi antarvariabel dalam suatu metode analisis. Kelinearan merupakan *capability* suatu metode analisis dalam menunjukkan bahwa hasil uji konsentrasi larutan analit, proposional dengan batas rentang tertentu (Satiadarma, dkk., 2004).

2.7 Penelitian Terdahulu

Budianto (2016) melakukan penelitian di PT. Jaykay Files Indonesia dengan metode *Measurement System Analysis Repeatability* dan *Reproducibility (Gauge R&R)*. Objek amatan yang dipilih adalah alat *vickers hardness tester* yang telah mengalami penurunan fungsi dan telah berusia kurang lebih 10 tahun. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran *drills test block*, dan kapabilitas dari sistem pengukuran alat tersebut *acceptable* atau *unacceptable*. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengukuran kekerasan terhadap tiga jenis *drills test block* yang dilakukan oleh tiga operator, dan didapatkan kesimpulan bahwa faktor operator, *drills test block*, dan interaksi memiliki pengaruh signifikan pada hasil pengukuran. Analisis *gauge R&R* menunjukkan hasil *unacceptable* dan perlu adanya perbaikan pada sistem pengukuran tersebut.

Yosepha (2015) melakukan penelitian di PT. "XYZ" dengan metode *Measurement System Analysis* dan yang menjadi objek amatannya adalah proses *pumping* dan *gas pressure* pada produksi lampu *spiral* jenis X. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapabilitas antara sistem pengukuran, alat ukur, dan operator. Hasil yang didapat dari penelitian ini bahwa berdasarkan nilai *Gauge R&R* dan *ndc*, sistem pengukuran tidaklah kapabel. Maka dari itu diperlukan perbaikan dari segi kemampuan alat ukur, maupun kinerja operator.

Penelitian ini akan menggunakan metode *Measurement System Analysis Gauge R&R* untuk mengetahui kapabilitas suatu alat seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Budianto dan Yosepha. Terdapat faktor pembeda antara penelitian

ini dengan dua penelitian di atas. Alat yang akan diukur pada penelitian ini adalah spektrofotometer dan tempat dilaksanakannya pengambilan data adalah Laboratorium Kimia Universitas Ma Chung.

Cepova, *et al.* (2018) melakukan penelitian dengan metode *average and range* dengan pendekatan *Measurement System Analysis* serta *Gauge R&R*. Data yang diukur adalah ketebalan plastik dan kemudian dievaluasi dengan kedua metode dan hasilnya dibandingkan. Kedua metode tersebut dibandingkan dengan memperhatikan kelebihan serta kekurangannya. Metode AIAG menghitung komponen variasi berdasarkan standar deviasi dan studi GRR menghitung berdasarkan varian. Persamaan penelitian kali ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Cepova adalah keduanya menggunakan metode *Measurement System Analysis Gauge R&R*. Faktor yang membedakan antara dua penelitian ini adalah penelitian Cepova membandingkan dua metode yaitu metode AIAG dan studi GRR, sedangkan penelitian kali ini hanya akan menghitung kapabilitas dari suatu sistem pengukuran.