

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Pengukuran

Untuk mendapatkan produk yang berkualitas tidak hanya memerlukan rancangan produk yang bagus sesuai dengan fungsi namun juga memerlukan rancangan proses pembuatan yang bagus. Setelah rancangan suatu produk selesai maka diperlukan rancangan proses pembuatan produk. Rancangan proses pembuatan diperlukan untuk menentukan proses permesinan yang akan digunakan untuk pembuatan produk guna mendukung pencapaian hasil yang sesuai spesifikasi. Selain itu juga pada proses rancangan proses pembuatan ditentukan sistem pengukuran yang akan dilakukan untuk memeriksa ukuran produk hasil produksi apakah memenuhi spesifikasi rancangan atau tidak.

Sistem pengukuran adalah seluruh proses yang digunakan untuk mendapatkan suatu pengukuran yang terdiri dari alat ukur, standard, operasi, metode, *fixtures*, software, personil, lingkungan dan asumsi yang digunakan mengkuantifikasi unit pengukuran. *Measurement* atau pengukuran didefinisikan sebagai suatu ketetapan angka (atau nilai) terhadap suatu material yang menunjukkan hubungan antara mereka terhadap sifat khususnya. Definisi ini pertama kali dicetuskan oleh C. Einsenhart (1963).

Untuk memastikan setiap produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan maka diperlukan suatu jaminan akan kualitas (*quality assurance*). Untuk

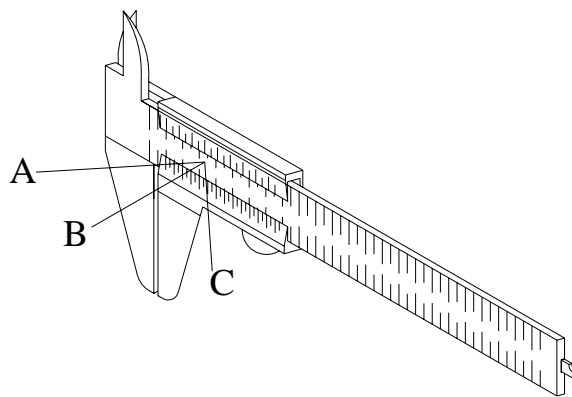
merealisasikan hal tersebut maka setiap tahapan proses produksi memerlukan pengontrolan. *Control plan* adalah suatu cara yang digunakan untuk mengontrol setiap tahapan produksi yang ada. Beberapa komponen yang tercantum pada *control plan* adalah nama proses, karakteristik produk, evaluasi teknik pengukuran yang didalamnya tercantum nama alat ukur yang digunakan, ukuran sample dan frekuensi pengambilan *sample*. Alat ukur yang tercantum pada *control plan* sesuai dengan alat ukur yang ditetapkan pada rancangan proses pembuatan produk.

Hasil suatu pengukuran dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah alat ukur yang digunakan, cara penggunaan alat ukur, metode pengukuran, dan kepresisian alat ukur. Alat ukur yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dari hasil pengukuran tersebut. Contohnya jika hasil yang diinginkan memiliki ketelitian 0.1 maka alat ukur yang dipakai seharusnya memiliki ketelitian 0.01. hal ini dimaksudkan agar variasi yang terjadi pada karakteristik yang diukur dapat terlihat jelas, tidak bias.

Cara penggunaan alat ukur dapat mempengaruhi hasil pengukuran dapat digambarkan sebagai berikut. Penempatan produk yang akan diukur pada plate timbangan harus ditegah-tengah plate. Penempatan yang lebih pada sisi kiri atau kanan akan menghasilkan pembacaan yang berbeda.

Kepresisian alat ukur digital umumnya lebih bagus dibanding alat ukur analog. Pada alat ukur digital hasil pengukuran langsung terlihat pada display alat ukur, sehingga pembacaan pada setiap orang sama sehingga memperkecil variasi pengukuran. Sedangkan pengukuran dengan alat ukur analog memungkinkan dapat

menghasilkan bias yang besar dibanding alat ukur digital. Hal ini dikarenakan adanya kesalahan pembacaan skala pada alat ukur analog karena sudut pembacaan yang berbeda (*paralaks*). Untuk memperkecil kesalahan pembacaan sebaiknya pembacaan pada posisi tegak lurus atau horizontal dengan skala. Posisi B pada gambar 2.1 akan menghasilkan kesalahan pembacaan yang lebih kecil dibanding pada posisi A dan C.



Gambar 2.1 Sudut pembacaan pada jangka sorong analog

2.2 Definisi *Measurement System Analysis (MSA)*

Data pengukuran berperan cukup penting pada masa sekarang dibanding masa-masa sebelumnya. Sebagai contoh pada saat ini pengambilan keputusan untuk memperbaiki atau tidak suatu proses manufaktur umumnya berdasarkan data pengukuran. Hal ini menyebabkan diperlukannya kualitas data pengukuran yang baik.

Kualitas data didefinisikan sebagai *statistical properties* pengukuran yang didapat dari pelaksanaan sistem pengukuran dalam kondisi stabil. Jika pengukuran semuanya mendekati nilai yang dijadikan *master* untuk karakteristik tersebut, maka kualitas data tersebut dikatakan tinggi. Demikian pula jika beberapa atau semua pengukuran jauh dari *master* nilai maka kualitas data tersebut dikatakan jelek

Sifat statistik yang umum digunakan untuk mengkarakterisasi kualitas data adalah bias dan *variance* sistem pengukuran. Bias merujuk lokasi data relatif terhadap nilai yang dijadikan *reference (master)*. Sedangkan *variance* merujuk pada penyebaran data.

Measurement System Analysis (MSA) adalah suatu studi analitik tentang pengaruh suatu sistem terhadap sistem pengukuran. Sistem tersebut umumnya terdiri dari *appraiser* (orang yang melakukan pembacaan alat ukur), alat ukur dan produk. Pengukuran bukanlah sesuatu yang selalu sama. Jarang yang menyadari bahwa terdapat kemungkinan terjadinya variasi pada sistem pengukuran. Variasi ini akan mempengaruhi hasil pengukuran seseorang yang selanjutnya dapat mempengaruhi keputusan yang diambil berdasarkan data tersebut. Kesalahan pada sistem pengukuran dapat dikategorikan menjadi 5 kelompok yaitu *bias, repeatability, reproducibility, stability, dan linearity*.

Terdapat tiga masalah pokok yang harus diperhatikan dalam mengevaluasi sistem pengukuran, yaitu:

1. Sistem pengukuran harus memiliki sensitivitas yang cukup.
2. Sistem pengukuran harus stabil.
3. Bias yang terjadi konsisten terhadap *range* yang diharapkan dan memadai untuk tujuan pengukuran (produk dan proses kontrol).

Salah satu tujuan melakukan studi pada sistem pengukuran adalah untuk mendapatkan informasi relatif pada jumlah dan tipe variasi pengukuran dengan sistem pengukuran ketika berinteraksi dengan lingkungan. Informasi ini cukup

berharga karena untuk rata-rata proses produksi lebih praktis untuk mengetahui *repeatability* dan kalibrasi bias serta membuat batasan yang dapat diterima untuk kasus tersebut dibandingkan harus menyediakan alat ukur yang sangat akurat dengan *repeatability* yang tinggi.

Sebagian besar proses pengukuran, total variasi pengukuran digambarkan dengan distribusi normal. *Normal probability* adalah suatu asumsi standard yang digunakan MSA. Lokasi terjadinya variasi terdiri akurasi, bias, stabilitas dan linearitas. Sedangkan lebarnya variasi terdiri dari presisi, *repeatability*, *reproducibility gage R&R (GRR)*, *sensitivitas*, *consistency* dan *uniformity*.

2.2.1 Lokasi variasi

2.2.1.1 Akurasi

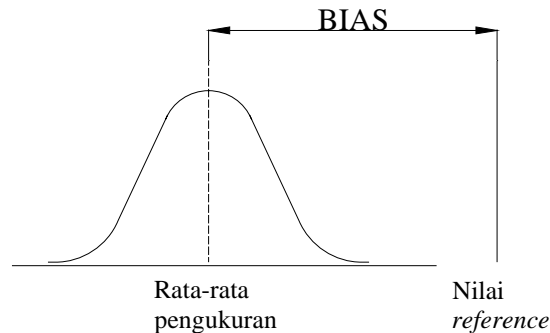
Akurasi secara umum didefinisikan sebagai ketepatan yang berhubungan dengan kedekatan antara rata-rata satu atau lebih hasil ukuran dengan nilai *reference*. Pada beberapa organisasi akurasi digunakan bergantian dengan bias. Untuk menghindari kebingungan yang akan terjadi akibat penggunaan kata akurasi maka istilah bias yang akan digunakan sebagai deskripsi lokasi kesalahan (*error*).

2.2.1.2 Bias

Bias adalah perbedaan antara nilai *reference* dengan rata-rata pengamatan pengukuran pada karakteristik dan *part* yang sama. Bias yang sangat tinggi kemungkinan disebabkan oleh:

- Alat ukur perlu dikalibrasi

- Penggunaan alat ukur, perlengkapan atau fixture
- Kesalahan pemilihan aplikasi alat ukur
- Perbedaan metoda pengukuran.



Gambar 2.2 Bias

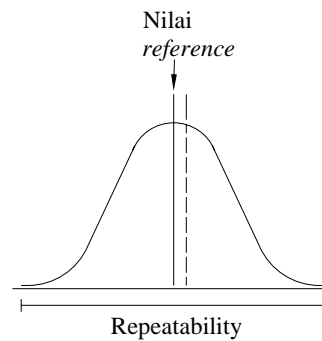
2.2.2 Lebar variasi

2.2.2.1 Presisi

Secara tradisional presisi menggambarkan efek dari *discrimination*, sensitivitas, dan *repeatability* dalam *range* pelaksanaan sistem pengukuran. pada kondisi nyata presisi lebih sering digunakan untuk menggambarkan variasi yang diharapkan dari pengukuran yang berulang-ulang dalam *range* pengukuran. *range* pengukuran dapat berupa *size* atau waktu.

2.2.2.2 Repeatability

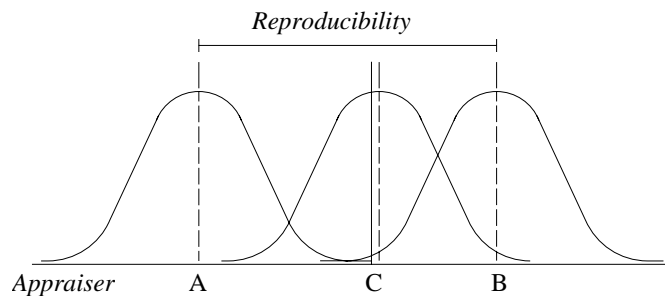
Repeatability adalah variasi dalam pengukuran yang didapat dari satu alat pengukuran ketika digunakan beberapa kali oleh satu *appraiser* pada pengukuran suatu karakteristik pada *part* yang sama.



Gambar 2.3 *Repeatability*

2.2.2.3 *Reproducibility*

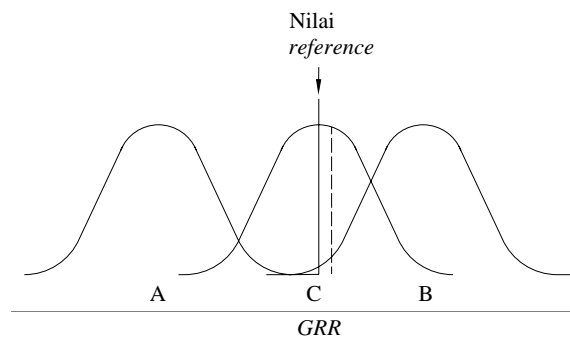
Reproducibility didefinisikan sebagai variasi pada rata-rata pengukuran yang dilakukan oleh *appraiser* yang berbeda menggunakan alat ukur yang sama ketika mengukur suatu karakteristik pada *part* yang sama.



Gambar 2.4 *Reproducibility*

2.2.2.4 *Gage R & R (GRR)*

Gage R & R (GRR) adalah perkiraan dari kombinasi *reproducibility* dan *repeatability*.



Gambar 2.5 *Gage R & R*

Sebelum melakukan studi analisa sistem pengukuran diperlukan beberapa persiapan awal, yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan pendekatan yang akan dilakukan.
2. Jumlah *appraiser*, jumlah *sample part*, dan jumlah pengulangan pembacaan harus ditentukan di awal.

Sample part $n > 5$. Sedangkan untuk *appraiser* dan pengulangan pembacaan tidak ada ketentuan minimum jumlah.

3. Karena bertujuan untuk mengevaluasi keseluruhan sistem pengukuran, maka *appraiser* yang dipilih harus yang biasa mengoperasikan alat tersebut.
4. Pemilihan *sample part* yang merupakan hal yang penting dalam MSA agar mendapatkan analisa yang tepat. *Part* sample yang dipilih harus dapat menggambarkan proses produksi.
5. Alat ukur yang dipakai harus seharusnya memiliki disciminasi paling sedikit satu per sepuluh dari variasi proses yang diharapkan dari suatu karakteristik yang akan

diukur. Sebagai contoh , jika variasi karakteristik adalah 0.001 maka alat ukur yang digunakan harus dapat membaca perubahan 0.00001.

6. Pastikan bahwa metoda (yaitu *appraiser* dan alat ukur) adalah mengukur dimensi karakteristik sesuai dengan prosedur pengukuran yang ada.

Prosedur pelaksanaan analisa sistem pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Jumlah sample yang diperlukan adalah minimal 6 ($n > 5$) yang merepresentasikan aktual *range* variasi proses yang diharapkan.
2. Berikan penomoran pada setiap *part* dan sebaiknya nomor *part* tidak diketahui oleh *appraiser*. Hal ini dilakukan sebagai cara untuk mendapatkan variasi yang mendekati aktual.
3. Kalibrasi alat ukur yang akan digunakan.
4. Pengukuran dimulai dengan *appraiser* A mengukur n *part* dalam posisi acak pada *trial* pertama. Masukkan data pada baris *trial* pertama dan kolom yang sesuai dengan nomor *part* yang diukur.
5. Kemudian dilanjutkan dengan *appraiser* B, C, dan seterusnya mengukur n *part* tanpa melihat hasil pengukuran masing-masing. Kemudian masukan data pada kolom yang telah disediakan.
6. Ulangi *cycle* hingga keseluruhan *sample part* diukur pada *trial* pertama.
7. Lakukan langkah 4 sampai dengan 6 hingga selesai n *trial* yang direncanakan.
8. Jika *appraiser* berada pada *shift* yang berbeda maka alternatif cara dapat digunakan. Biarkan *appraiser* A mengukur keseluruhan *sample part* kemudian menuliskan data pada baris *trial* pertama. Kemudian minta *appraiser* A

melakukan kembali pengukuran pada keseluruhan *sample part* dengan urutan yang berbeda dengan *trial* pertama. Lakukan hal yang sama dengan *appraiser* B dan C. Bentuk form pengisian data analisa sistem pengukuran dapat dilihat pada gambar 2.6.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS											
<i>PART NAME</i> :				<i>GAGE NAME</i> :				<i>DATE</i> :			
<i>PART NO</i> :				<i>GAGE NO</i> :				<i>PART</i> :			
<i>CHARACTERISTICS</i> :				<i>GAGE TYPE</i> :							
<i>SPECIFICATION</i> :				<i>OPERATOR</i> :							

OPERATOR	PART										AVG
TRIAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1										
	2										
AVERAGE											
RANGE											
B	1										
	2										
AVERAGE											
RANGE											
PART AVERAGE											
PART RANGE (Rp)											
R											
X diff.											
UCL _R											
LCL _R											

MEASUREMENT UNIT ANALYSIS

Repeatability - Equipment Variant (EV)
 EV =

Repeatability & Reproducebility (R & R)
 R & R =

Total Variation (TV)
 TV =

% PROCESS VARIATION

% EV =

% R & R =

Reproduceability - Appraiser Variant (AV)
 AV =

Part Variation (PV)
 PV =

% AV =

% PV =

Gambar 2.6 Form pengisian data MSA

Setelah pengumpulan data dilakukan tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan *numeric* pada data-data tersebut dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

Rata – rata (average) n pembacaan

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n_{part}}$$

$$Range (R) = \max(x_i) - \min(x_i)$$

$$Average \bar{X}_i = \frac{\sum \bar{x}_i}{n}$$

$$Average Range = \frac{\sum R_i}{n}$$

$$PartAverage = \max(\text{rata – rata range n trial}) - \min(\text{rata – rata range n trial})$$

$$\bar{R} = \frac{\sum \bar{R}_i}{n}$$

$$\bar{X}_{DIFF} = \max \bar{X}_i - \min \bar{X}_i$$

$$UCL_R = \bar{R} \times D_4, \quad D_4 = 3.247 \text{ untuk } 2 \text{ trial, dan } 2.58 \text{ untuk } 3 \text{ trial.}$$

$$LCL_R = 0, \text{ untuk } trial \text{ yang kurang dari } 7.$$

Selanjutnya dari hasil perhitungan *numeric* dilakukan analisa. Analisa hasil perhitungan tersebut akan menghasilkan perkiraan prosentasi variasi proses dari keseluruhan sistem pengukuran serta nilai *repeatability (EV)*, *reproducibility (AV)* dan variasi *part-to-part (PV)*.

Berikut ini adalah rumus-rumusnya :

Repeatability - Equipment Variation (EV)

$$EV = \overline{R} \times K_1$$

$$K_1 = \frac{1}{d_2^*}$$

d_2^* didapat dari tabel d_2^* yang terdapat pada lampiran A. Nilai d_2^* tergantung pada jumlah *trial* (m) dan jumlah *part* dikali jumlah *appraiser* (g).

Reproducibility - Appraiser Variation (AV)

$$AV = \sqrt{(\overline{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$$

K_2 tergantung jumlah *appraiser* dan merupakan kebalikan dari d_2^* yang diperoleh dari lampiran 2. d_2^* tergantung dari jumlah *appraiser* (m) dan g .

$$K_2 = \frac{1}{d_2^*}$$

Sedangkan n sama dengan jumlah *trial* dan r untuk jumlah *trial*.

Variasi sistem pengukuran untuk *repeatability* dan *reproducibility* (GRR)

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Variasi *part* (PV)

$$PV = R_p \times K_3$$

Nilai K_3 tergantung jumlah *sample part* yang digunakan pada studi dan merupakan

kebalikan dari d_2^* yang didapat dari lampiran A. d_2^* tergantung dari jumlah *appraiser* (m) dan g .

$$K_3 = \frac{1}{d_2^*}$$

Total variasi (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

Setelah setiap faktor dalam sistem pengukuran ditentukan, nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan nilai total variasi. Prosentasi nilai-nilai tersebut dihitung dengan membandingkan setiap nilai (AV , EV , PV dan GRR) dengan total variasi dikalikan 100 %. Namun penjumlahan dari keempat faktor tersebut tidak akan sama dengan 100%. Perbandingan ini membantu untuk menunjukkan faktor mana yang paling dominan dalam besarnya nilai $\%GRR$ sehingga harus dilakukan penanganan.

$$\%EV = 100 \times \left(\frac{PV}{TV} \right)$$

$$\%AV = 100 \times \left(\frac{AV}{TV} \right)$$

$$\%GRR = 100 \times \left(\frac{GRR}{TV} \right)$$

$$\%PV = 100 \times \left(\frac{PV}{TV} \right)$$

$\%GRR$ data *MSA* diatas kemudian dibandingkan dengan ketuan yang ada tentang kriteria keberterimaan *width error*. Ketentuan tersebut adalah sebagai berikut:

- $\%GRR < 10\%$: secara umum dianggap sebagai sistem pengukuran yang layak dipakai.
- $10 < \%GRR < 30$: system pengukuran dapat dipakai dengan dasar kepentingan aplikasi, biaya alat pengukuran, biaya perbaikan dan sebagainya.
- $\%GRR > 30$: system pengukuran dianggap tidak layak digunakan. Diperlukan usaha-usaha untuk memperbaiki system pengukuran.