

**ANALISIS SISTEM PENGUKURAN MENGGUNAKAN  
METODE *GAGE R&R***  
(Studi Kasus di PT. Berlina Tbk Pandaan)

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang Statistika

oleh:  
**ADI PRANATA**  
**0810953001-95**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2012**

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS SISTEM PENGUKURAN MENGGUNAKAN METODE *GAGE R&R*

(Studi Kasus di PT. Berlina Tbk Pandaan)

oleh:

**ADI PRANATA**  
**0810953001-95**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 19 Juli 2012  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Sains dalam bidang Statistika

**Diperiksa dan disetujui oleh:**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

**Dr.Ir. Solimun, MS.**  
**NIP. 196112151987031002**

**Dr. Ir. M. Bernadetha T. M.**  
**NIP. 195205211981032001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Matematika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc**  
**NIP. 196709071992031001**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama** : Adi Pranata  
**NIM** : 0810953001-95  
**Jurusan** : Matematika  
**Program Studi** : Statistika  
**Penulisan Skripsi Berjudul** :

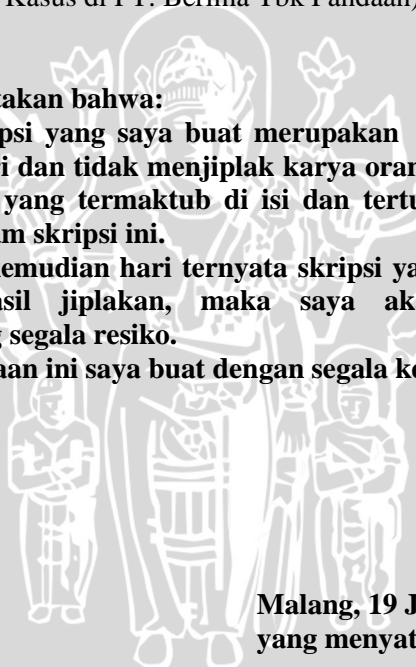
### **ANALISIS SISTEM PENGUKURAN MENGGUNAKAN METODE *GAGE R&R***

(Studi Kasus di PT. Berlina Tbk Pandaan)

**Dengan ini menyatakan bahwa:**

- 1. Isi dari skripsi yang saya buat merupakan benar-banar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.**
- 2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko.**

**Demikian pernyataan ini saya buat dengan segala kesadaran.**



**Malang, 19 Juli 2012  
yang menyatakan,**

**Adi Pranata  
NIM. 0810953001-95**

# ANALISIS SISTEM PENGUKURAN MENGGUNAKAN METODE *GAGE R&R* (Studi Kasus di PT. Berlina Tbk Pandaan)

## ABSTRAK

Aspek penting pada prosedur sistem pengukuran adalah akurasi dan presisi. Hasil pengukuran diharapkan akurat dan presisi agar keragaman antar produk kecil. Kesalahan pengukuran dapat menyebabkan hasil pengukuran tidak akurat dan presisi, sehingga keragaman produk besar. Metode *Gage R&R* digunakan untuk mengidentifikasi keragaman yang disebabkan oleh kesalahan pengukuran. Metode *Gage R&R* diterapkan pada botol sabun Mega Surya, galon Aqua dan galon Club A 19liter produksi PT. Berlina Tbk. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui penyebab kesalahan pengukuran pada produk tersebut. Berdasarkan *gage run chart*, hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250ml, galon Aqua dan Club A 19liter tidak akurat dan tidak presisi dengan nilai  $C_p$  secara berturut-turut 1.59, 0.58 dan 0.51. Dari hasil analisis ragam terlihat bahwa pengaruh operator dalam menimbang berat bersih botol sabun Mega Surya dan galon Club A 19liter nyata ( $15.990 > 3.159$ ,  $9.294 > 3.467$ ) sedangkan statistik uji pengaruh operator galon Aqua 19liter ( $0.732 < 3.467$ ). Presentase komponen ragam *Gage R&R* berat bersih botol sabun Mega Surya 250ml, galon Aqua dan Club A 19liter berturut-turut 60.70%, 96.87% dan 80.48%. Melalui grafik kendali, ditemukan pola pada titik-titik pengamatan. Berat bersih setiap produk memiliki nilai  $r > 0.3$ , menunjukkan bahwa kualitas sistem pengukuran buruk, disimpulkan bahwa terdapat kesalahan pengukuran oleh operator.

Kata kunci : akurasi, presisi, analisis *Gage R&R*, *gage run chart*, indeks kemampuan proses, grafik kendali dan nilai  $r$ .

# ANALYSIS OF MEASUREMENT SYSTEM USING GAGE R&R METHOD

(Case Study in PT. Berlina Tbk Pandaan)

## ABSTRACT

The important aspects in measurement system procedure are accuracy and precision. The measurement result is expected to be accurate and precise so that the variance among products is small. The measurement error can cause the inaccurate and imprecise, so that the variance of products is large. Gage R&R method is used to identify the variance caused by measurement error. Gage R&R Method is applied to Mega Surya soap bottle, Aqua gallon and 19liter Club A produced by Berlina, Inc. This analysis aims to detect the cause of measurement error in products mentioned. Based on gage run chart, the net-weight measurement results of 250ml Mega Surya soap bottle, Aqua gallon and 19liter Club A are inaccurate and imprecise, given that  $C_p$ 's respectively are 1.59, 0.58 and 0.51. Based on the analysis of variance, it can be seen that the effects of operator in weighing the net-weight of Mega Surya soap bottle and 19liter Club A gallon are significant ( $15.990 > 3.159$ ,  $9.294 > 3.467$ ), whereas the test statistic of operator effect of 19liter Aqua gallon is  $(0.732) < 3.467$ . The percentages of variance component of 250ml Mega Surya soap bottle, Aqua gallon and 19liter Club A net-weight in Gage R&R respectively are 60.70%, 96.87% and 80.48%. By using control chart, the patterns of observed points are detected. The net-weight among products has  $r > 0.3$ , shows that the quality of measurement system is poor, it can be concluded that the measurement error in operator exists.

Key words : accuracy, precision, Gage R&R analysis, gage run chart, capability process index, control chart and r value.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini yang berjudul Analisis Sistem Pengukuran Menggunakan Metode *Gage R&R* bisa diselesaikan. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW.

Terima kasih yang setulusnya penulis sampaikan kepada beberapa pihak yang turut membantu dalam penyusunan skripsi ini:

1. Dr. Ir. Solimun, MS selaku Dosen Pembimbing I atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Dr. Ir. Maria Bernadetha Theresia Mitakda selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ir. Heni Kusdarwati, MS selaku Dosen Penguji.
4. Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
5. Kedua Orang Tua tercinta yaitu Bapak Djuwari dan Ibu Suciati yang telah memberikan dukungan moril dan material dalam seluruh kehidupan pribadi saya.
6. Agus Hari Hadi, ST, MT dan Sri Astuti Djuwari Wati Amd sebagai Kakak yang telah memberikan masukan berupa nasehat dan doa.
7. Angen Dian Farella, S.Si yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Rekan-rekan statistika angkatan 2008 atas dukungannya selama ini dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat .....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Sistem Pengukuran .....	5
2.1.1. Presisi .....	5
2.1.2. Akurasi .....	6
2.1.2.1. Pengulangan ( <i>Repeatability</i> ) .....	6
2.1.2.2. <i>Reproducibility</i> .....	6
2.2. Metode Penarikan Contoh .....	10
2.3. Kenormalan Data .....	11
2.4. Kemampuan Proses <i>C<sub>p</sub></i> dan <i>C<sub>pk</sub></i> .....	12
2.5. Metode <i>Gage R&amp;R</i> .....	12
2.5.1. <i>Gage run Chart</i> .....	13
2.5.2. Analisis Ragam <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang .....	16
2.5.3. Grafik <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang .....	18
2.5.3.1. Grafik Komponen Keragaman .....	19
2.5.3.2. Grafik Kendali <i>R</i> .....	19
2.5.3.3. Grafik Kendali <i>S</i> .....	20
2.5.3.4. Grafik Kendali $\bar{Y}$ .....	21
2.5.4. Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan Nilai <i>r</i> .....	22

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	25
3.1. Data Penelitian .....	25
3.2. Metode Analisis Data .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1. Analisis Deskriptif .....	29
4.2. Kenormalan Data .....	32
4.3. Analisis Kapabilitas Proses .....	33
4.4. Analisis <i>Gage R&amp;R</i> .....	34
4.4.1. Analisis <i>Gage Run Chart</i> .....	34
4.4.2. Analisis Ragam <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang .....	36
4.4.3. Grafik <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang .....	40
4.4.4. Analisis Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan Nilai $r$ .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	45
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	47
<b>LAMPIRAN</b> .....	49



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1.</b> Data Hipotetik Hasil Pengukuran .....	8
<b>Tabel 2.2.</b> Berat Bersih Botol pada Empat Waktu dan Dua Ulangan oleh Tiga Operator .....	9
<b>Tabel 2.3.</b> Total Berat Bersih Botol Berdasarkan Operator dan Waktu .....	9
<b>Tabel 2.4.</b> Titik Kritis Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	11
<b>Tabel 2.5.</b> Hasil Pengukuran Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	14
<b>Tabel 2.6.</b> Analisis Ragam <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang .....	17
<b>Tabel 2.7.</b> <i>Gage R&amp;R</i> .....	18
<b>Tabel 2.8.</b> Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan $r$ .....	23
<b>Tabel 4.1.</b> Statistik Deskriptif Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	29
<b>Tabel 4.2.</b> Batas Spesifikasi Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	30
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil Pengujian Asumsi Kenormalan Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	33
<b>Tabel 4.4.</b> Nilai $C_p$ dan $C_{pk}$ Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	33
<b>Tabel 4.5.</b> Analisis <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml Berdasarkan Metode Analisis Ragam .....	37
<b>Tabel 4.6.</b> Analisis <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang Berat Bersih Galon Aqua 19 liter Berdasarkan Metode Analisis Ragam .....	37
<b>Tabel 4.7.</b> Analisis <i>Gage R&amp;R</i> Tersarang Berat Bersih Galon Club A 19 liter Berdasarkan Metode Analisis Ragam .....	37
<b>Tabel 4.8.</b> Analisis <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	38
<b>Tabel 4.9.</b> Analisis <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Galon Aqua 19 liter .....	38

**Tabel 4.10.** Analisis *Gage R&R* Berat Bersih

Galon Club A 19 liter ..... 39

**Tabel 4.11.** Nilai *r* berat bersih botol sabun

Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter  
dan galon Club A 19 liter ..... 44

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1.</b> Keragaman Berat Bersih <i>Reproducibility</i> .....	7
<b>Gambar 2.2.</b> Jenis-jenis Akurasi dan Presisi .....	7
<b>Gambar 2.3.</b> Metode Penarikan Contoh Silang .....	10
<b>Gambar 2.4.</b> Metode Penarikan Contoh Tersarang .....	10
<b>Gambar 2.5.</b> <i>Gage Run Chart</i> untuk Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	15
<b>Gambar 2.6.</b> Grafik Komponen Keragaman <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	19
<b>Gambar 2.7.</b> Grafik Kendali R <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	20
<b>Gambar 2.8.</b> Grafik Kendali S <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Galon Aqua 15 liter .....	21
<b>Gambar 2.9.</b> Grafik Kendali $\bar{Y}$ <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	22
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram Alir Metode <i>Gage R&amp;R</i> .....	27
<b>Gambar 4.1.</b> Histogram Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	31
<b>Gambar 4.2.</b> Histogram Berat Bersih Galon Aqua 19 liter .....	31
<b>Gambar 4.3.</b> Histogram Berat Bersih Galon Club A 19 liter .....	32
<b>Gambar 4.4.</b> <i>Gage Run Chart</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	34
<b>Gambar 4.5.</b> <i>Gage Run Chart</i> Berat Bersih Galon Aqua 19 liter .....	35
<b>Gambar 4.6.</b> <i>Gage Run Chart</i> Berat Bersih Galon Club A 19 liter .....	35
<b>Gambar 4.7.</b> Grafik <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml .....	40
<b>Gambar 4.8.</b> Grafik <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Galon Aqua 19 liter .....	42
<b>Gambar 4.9.</b> Grafik <i>Gage R&amp;R</i> Berat Bersih Galon Club A 19 liter .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1.</b> Hasil Pengukuran Berat Bersih Botol Mega Surya 250 ml .....	49
<b>Lampiran 2.</b> Berat Bersih Galon Aqua 19 liter .....	51
<b>Lampiran 3.</b> Berat Bersih Galon Club A 19 liter .....	53
<b>Lampiran 4.</b> Gambar Kenormalan Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	55
<b>Lampiran 5.</b> Gambar Analisis Kapabilitas Proses Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter .....	57



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Analisis sistem pengukuran merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui seberapa baik proses produksi pada suatu perusahaan. Perusahaan berusaha menjaga kualitas produksi dengan melakukan pengendalian kualitas. Pada proses produksi suatu produk diharapkan memiliki karakteristik sedekat mungkin dengan produk lain. Dalam kenyataan, dihasilkan produk yang berbeda satu dengan yang lain atau perbedaan itu disebut keragaman. Menurut Erdmann (2010), perbedaan antara nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya disebut kesalahan pengukuran.

Kazerouni (2009) menjelaskan bahwa aspek penting dalam prosedur sistem pengukuran adalah akurasi dan presisi. Data dikatakan akurat apabila hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya, sedangkan data dikatakan presisi apabila hasil pengukuran satu dengan yang lain memiliki nilai yang relatif sama. Salah satu penyebab keragaman produk adalah kesalahan pengukuran sehingga data tidak akurat dan presisi. Oleh karena itu, sangat penting mengidentifikasi kualitas pengukuran agar dihasilkan data yang akurat dan tepat.

Keragaman yang disebabkan oleh kesalahan pengukuran dapat diidentifikasi oleh suatu metode, yaitu *Gage R&R*. *Gage R&R* merupakan salah satu metode dalam pengendalian kualitas yang dilakukan sebelum hasil pengukuran diuji menggunakan analisis selanjutnya. Analisis ini bermanfaat untuk mengetahui apakah contoh dapat mewakili populasi. Jika analisis ini tidak dilakukan terlebih dahulu, kemungkinan tujuan analisis selanjutnya tidak tercapai karena contoh tidak mewakili populasi sebagai akibat terdapat kesalahan pengukuran oleh operator. Erdmann (2010) telah melakukan penelitian menggunakan *Gage R&R*. Penelitian dilakukan pada 10 pasien untuk mengukur suhu tubuh menggunakan termometer telinga. Agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan, hasil pengukuran suhu tubuh tersebut dianalisis menggunakan *Gage R&R*. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa data tidak layak untuk dibuat suatu keputusan karena adanya kesalahan pengukuran suhu tubuh pasien oleh perawat. Penggunaan



*Gage R&R* memberikan manfaat apakah data presisi, akurat atau keduanya.

Metode *Gage R&R* diterapkan pada hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter, dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk karena hasil analisis pengendalian kualitas oleh PT. Berlina Tbk menyimpulkan bahwa ketiga produk tidak sesuai dengan batas spesifikasi sehingga harus diproduksi ulang dan menyebabkan biaya produksi tinggi. Penerapan analisis *Gage R&R* memungkinkan untuk tidak memproduksi ulang tiga produk terlebih dahulu, melainkan menganalisis apakah tidak terjadi kesalahan hasil pengukuran yang disebabkan oleh operator.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka muncul permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan metode *Gage R&R* terhadap berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk?
2. Bagaimana mengidentifikasi kesalahan sistem pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah menentukan akurasi dan presisi sistem pengukuran terhadap berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk dan mengidentifikasi kesalahan dalam sistem pengukuran.

## **1.4. Manfaat**

Penelitian ini diharapkan memberi informasi tentang pentingnya sistem pengukuran sebelum dilakukan analisis lebih lanjut dan mengidentifikasi kesalahan hasil pengukuran yang diakibatkan oleh operator pada pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk.

### 1.5. Batasan Masalah

Data yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml di departemen *blow moulding* oleh mesin SMC1 pada tanggal 11-15 Juli 2011, berat bersih galon Aqua 19 liter oleh mesin BW20 pada tanggal 18 Juli 2011 dan berat bersih galon Club A 19 liter oleh mesin BW201 pada tanggal 18 Juli 2011. Hasil pengukuran merupakan data kuantitatif.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sistem Pengukuran

Kesalahan dalam pengukuran menurut Kazerouni (2009) secara sederhana dibagi menjadi dua kategori yakni kesalahan terduga dan tidak terduga. Kesalahan pengukuran terduga berhubungan dengan kalibrasi alat yang digunakan dalam proses pengukuran, sedangkan kesalahan tidak terduga dikarenakan perbedaan hasil pengukuran oleh operator. Perbedaan tersebut dikarenakan alat yang digunakan berbeda, kesalahan pembacaan hasil pengukuran oleh operator dan perubahan lingkungan.

Kesalahan hasil pengukuran menurut Erdmann dan Ronald (2010) secara umum dinyatakan sebagai keragaman pengukuran yang merupakan bagian dari ragam total. Ragam total berasal dari ragam produk (*part to part*) dan kesalahan hasil pengukuran (*gage*). Secara matematis keragaman total diuraikan menjadi:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{produk}^2 + \sigma_{hasil\ pengukuran}^2$$

sedangkan ragam hasil pengukuran terdiri dari ragam pengulangan (*repeatability*), *reproducibility* dan galat yang diuraikan sebagai berikut:

$$\sigma_{hasil\ pengukuran}^2 = \sigma_{pengulangan}^2 + \sigma_{reproducibility}^2$$

Akurasi dan presisi diperlukan untuk mengidentifikasi kesalahan hasil pengukuran.

#### 2.1.1. Presisi

Presisi merupakan keragaman hasil pengukuran yang dilakukan beberapa waktu menggunakan alat yang sama. Hasil pengukuran memiliki tingkat presisi tinggi apabila memiliki ragam kecil.

## 2.1.2. Akurasi

Akurasi menunjukkan perbedaan antara nilai rata-rata hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Semakin kecil perbedaan ini, maka sistem pengukuran memiliki akurasi yang baik dan menunjukkan bahwa hasil pengukuran sesuai dengan nilai sebenarnya. Erdmann dan Ronald (2010) menjelaskan bahwa terdapat dua aspek penting yang harus diperhatikan dalam ketepatan hasil pengukuran yakni pengulangan dan *reproducibility*.

### 2.1.2.1. Pengulangan (*Repeatability*)

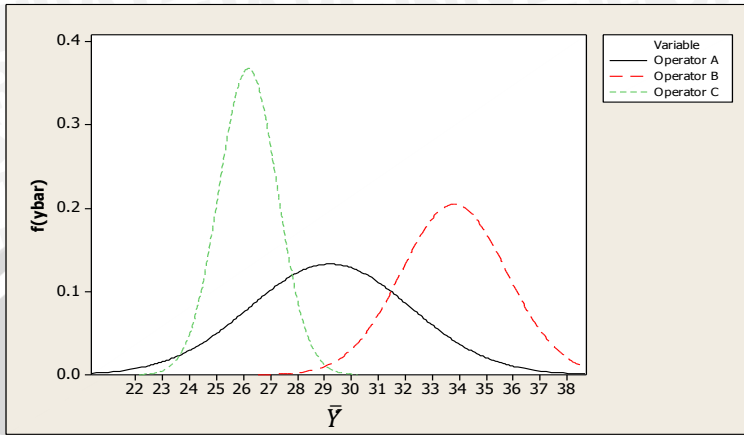
Pengulangan adalah keragaman hasil pengukuran berulang oleh seorang operator yang menggunakan alat tertentu pada lokasi sama. Pandang  $Y_{1k}$  sebagai hasil pengukuran oleh operator pertama pada waktu yang sama sebanyak  $k$  pengukuran. Pengulangan merupakan  $k$  pengukuran oleh operator. Hasil pengukuran  $Y_{1k}$  diasumsikan menyebar normal, sehingga memiliki fungsi kepekatan peluang normal:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{(y-\mu)^2}{\sigma^2}\right)\right\}$$
$$-\infty < y < \infty, -\infty < \mu < \infty \text{ dan } \sigma^2 > 0$$

### 2.1.2.2. *Reproducibility*

*Reproducibility* merupakan keragaman hasil pengukuran yang diakibatkan perbedaan operator dengan peubah acak *reproducibility* yang diasumsikan menyebar normal. Keragaman yang disebabkan *reproducibility* disajikan pada Gambar 2.1.

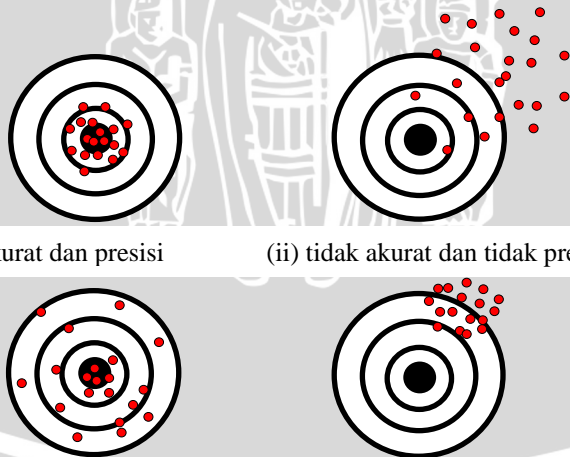




Gambar 2.1. Keragaman Berat Bersih *Reproducibility*

Terlihat pada Gambar 2.1, pengertian *reproducibility* merupakan perbedaan hasil pengukuran produk akibat pengukuran dilakukan oleh operator berbeda. Rata-rata berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml oleh operator A berbeda dengan operator B dan C. Hasil pengukuran oleh operator berbeda merupakan salah satu penyebab terjadinya kesalahan sistem pengukuran.

Gambaran umum sistem pengukuran menurut Montgomery (2005) yang dibedakan berdasarkan akurasi dan presisi disajikan di bawah ini :



(i) akurat dan presisi

(ii) tidak akurat dan tidak presisi

(iii) akurat namun tidak presisi

(iv) presisi namun tidak akurat

Gambar 2.2. Jenis-jenis Akurasi dan Presisi

Gambar 2.2 memperlihatkan empat jenis hasil pengukuran yakni akurat dan presisi, akurat namun tidak presisi, presisi dan tidak akurat, serta tidak akurat dan tidak presisi. Hasil pengukuran yang baik adalah akurat dan presisi, dikarenakan hasil pengukuran terpusat pada satu titik dan hampir sesuai dengan nilai sesungguhnya (i).

Hasil pengukuran hipotetik terkait jenis akurasi dan presisi disajikan pada Tabel 2.1, jika batas spesifikasi bawah dan atas secara berturut-turut adalah 32 dan 36.

Tabel 2.1. Data Hipotetik Hasil Pengukuran

Pengukuran Pertama		Pengukuran Kedua		Pengukuran Ketiga		Pengukuran Keempat	
1	2	1	2	1	2	1	2
33.47	33.34	35.80	35.93	36.10	36.82	31.43	36.34
33.69	34.01	34.32	33.68	36.71	36.73	33.42	37.90
33.32	34.23	34.77	32.32	37.64	36.84	36.45	31.65
33.33	33.32	34.18	32.01	36.58	36.52	37.70	31.01

Terlihat pada Tabel 2.1 bahwa pengukuran pertama merupakan jenis pengukuran yang akurat dan presisi, pengukuran kedua akurat namun tidak presisi, pengukuran ketiga presisi dan tidak akurat dan pengukuran keempat tidak akurat dan tidak presisi.

Perbedaan hasil pengukuran disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan keragaman sistem pengukuran. Keragaman yang disebabkan sistem pengukuran berhubungan dengan pengulangan dan *reproducibility*. Pengulangan dan *reproducibility* dianalisis menggunakan *Gage R&R*, sehingga keragaman sistem pengukuran akan disederhanakan dan memberikan masukan tentang perbaikan metode pengukuran.

Kazerouni (2009) mengatakan bahwa sistem pengukuran ideal memiliki hasil pengukuran yang tidak berbeda walaupun satu bagian diukur beberapa kali pada waktu yang sama. Tabel 2.2 merupakan contoh hasil pengukuran oleh tiga operator pada empat waktu dan dua ulangan.

Tabel 2.2. Berat Bersih Botol pada Empat Waktu dan Dua Ulangan oleh Tiga Operator

Operator (i)	Waktu (j)	Botol (k)		Total ( $Y_{ij}$ )
		1	2	
1	1	$y_{111}$	$y_{112}$	$y_{11}$
	2	$y_{121}$	$y_{122}$	$y_{12}$
	3	$y_{131}$	$y_{132}$	$y_{13}$
	4	$y_{141}$	$y_{142}$	$y_{14}$
2	1	$y_{211}$	$y_{212}$	$y_{21}$
	2	$y_{221}$	$y_{222}$	$y_{22}$
	3	$y_{231}$	$y_{232}$	$y_{23}$
	4	$y_{241}$	$y_{242}$	$y_{24}$
3	1	$y_{311}$	$y_{312}$	$y_{31}$
	2	$y_{321}$	$y_{322}$	$y_{32}$
	3	$y_{331}$	$y_{332}$	$y_{33}$
	4	$y_{341}$	$y_{342}$	$y_{34}$
Total ( $y_{..k}$ )		$y_{..1}$	$y_{..2}$	$y_{..}$

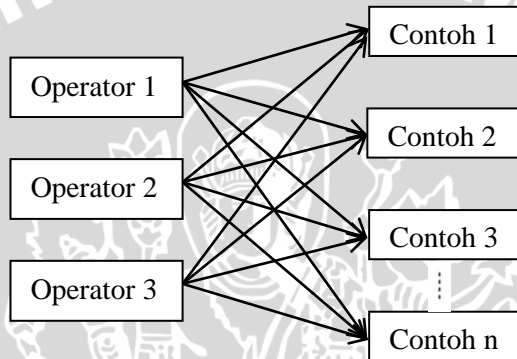
Tabel 2.3. Total Berat Bersih Botol Berdasarkan Operator dan Waktu

Operator (i)	Waktu (j)				Total ( $Y_{ij}$ )
	1	2	3	4	
1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	$y_{1..}$
2	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	$y_{2..}$
3	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{34}$	$y_{3..}$
Total ( $Y_{.j}$ )	$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.3}$	$y_{.4}$	$y_{...}$

Sebelum membahas lebih spesifik metode *Gage R&R*, secara umum menurut Erdmann dan Ronald (2010) analisis *Gage R&R* dibagi menjadi dua yaitu analisis *Gage R&R* tersarang dan silang. Perbedaan tersebut didasarkan pada metode penarikan contoh oleh operator. Berikut disajikan penjelasan tentang metode penarikan contoh.

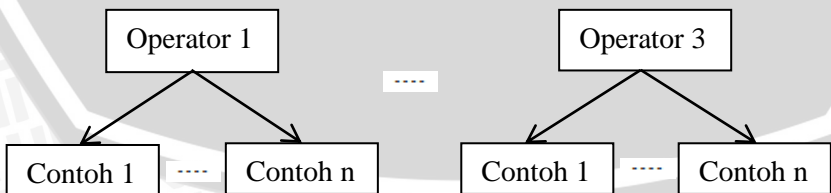
## 2.2. Metode Penarikan Contoh

Secara umum *Gage R&R* dibedakan menjadi dua kategori yaitu *Gage R&R* silang dan *Gage R&R* tersarang. Perbedaan kedua kategori ini didasarkan pada proses penarikan contoh oleh operator. Pada *Gage R&R* silang proses penarikan contoh dilakukan dengan cara pada waktu tertentu, objek diukur beberapa kali oleh setiap operator, sedangkan pada *Gage R&R* tersarang dalam setiap waktu objek diukur oleh seorang operator. Berikut disajikan proses penarikan contoh pada setiap kategori:



Gambar 2.3. Metode Penarikan Contoh Silang

Gambar 2.3 menunjukkan mekanisme penarikan contoh dengan metode silang yang sering diterapkan pada pengukuran yang bersifat tidak merusak. Misal pengujian letak stiker pada botol sabun Mega Surya 250 ml. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati beberapa botol yang dipilih secara acak. Jika letak stiker sesuai maka botol digolongkan dalam produksi baik, sedangkan jika tidak sesuai maka botol digolongkan dalam produksi buruk dan akan dilakukan pembenahan dengan cara melepas kembali stiker dan dikembalikan untuk dipasang stiker kembali.



Gambar 2.4. Metode Penarikan Contoh Tersarang

Gambar 2.4 menunjukkan mekanisme penarikan contoh secara tersarang, yang sering diterapkan pada sistem pengukuran bersifat merusak. Misal pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml. Botol yang telah diuji tidak dapat digolongkan dalam produksi yang baik karena risiko kesalahan berat bersih botol lebih besar dibandingkan botol lain. Kemungkinan kesalahan yang terjadi disebabkan adanya benda-benda asing seperti batu maupun plastik yang masuk ke dalam botol selama dilakukan pengujian.

### 2.3. Kenormalan Data

Erdmann dan Ronald (2010) menyatakan asumsi yang melandasi pengujian terhadap analisis *Gage R&R* adalah bahwa data menyebar normal. Pengujian asumsi kenormalan data menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov* dilandasi pada hipotesis berikut:

$H_0$  : Data menyebar normal

$H_1$  : Data tidak menyebar normal

Jika  $H_0$  benar, statistik *Kolmogorov-Smirnov* adalah:

$$D_n = \text{maksimum}[|F_n(x) - F_0(x)|]$$

di mana:

$D_n$  : jarak tegak maksimum antar fungsi sebaran empiris dan fungsi sebaran normal

$F_0(x)$  : fungsi peluang kumulatif contoh

$F_n(x)$  : fungsi peluang kumulatif sebaran normal

Titik kritis uji *Kolmogorov-Smirnov* yang digunakan sebagai kriteria pengujian kenormalan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Titik Kritis Uji *Kolmogorov-Smirnov*

$\alpha$	0.01	0.05	0.1
$D_n \alpha$	$1.63/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$



## 2.4. Kemampuan Proses $C_p$ dan $C_{pk}$

Analisis kemampuan proses digunakan untuk menaksir kemampuan suatu proses produksi dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi mutu, dengan kata lain apakah proses terkendali. Analisis kemampuan proses mengasumsikan bahwa data menyebar normal. Proses dikatakan stabil jika keragaman alami, bukan berasal dari mesin, operator atau yang lain. Menurut Banks (1989) cara yang baik untuk menyatakan kemampuan proses adalah melalui rasio kemampuan proses ( $C_p$ ) :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

di mana:

$USL$  = batas spesifikasi atas

$LSL$  = batas spesifikasi bawah

karena  $\sigma$  tidak diketahui dapat diduga dengan simpangan baku contoh ( $s$ ). Menurut Aft (1998) batas nilai  $6\sigma$  disebut batas toleransi alami yang berarti peluang semua nilai individu akan berada dalam batas spesifikasi mendekati 0.9973.

Suatu proses dengan  $C_p \geq 1$  menunjukkan arti bahwa tidak ada unit produksi yang keluar dari batas spesifikasi (Aft, 1998). Menurut Banks (1989) kekurangan  $C_p$  adalah tidak dapat menggambarkan lokasi relatif dari nilai tengah proses terhadap batas spesifikasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dihitung nilai  $C_{pk}$ :

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s}\right)$$

Jika  $C_{pk} = C_p$ , proses terpusat pada nilai tengah spesifikasi atau target produksi akan tetapi  $C_{pk} < C_p$  menunjukkan bahwa terjadi pergeseran proses.

## 2.5. Metode Gage R&R

Donald (2006) menggunakan Gage R&R untuk mengidentifikasi presisi dan akurasi suatu hasil pengukuran. Identifikasi hasil pengukuran menggunakan Gage R&R berhubungan dengan keakuratan data. Jika hasil pengukuran tidak akurat dan

presisi, maka *Gage R&R* dapat menjadi dasar perbaikan metode pengukuran.

Tujuan utama *Gage R&R* menurut Montgomery (2005) adalah menganalisis seberapa besar ragam yang disebabkan oleh sistem pengukuran, sehingga dapat diketahui keakuratan dan ketepatan sistem pengukuran. Dalam sistem pengukuran, *Gage R&R* digunakan untuk mengukur pengulangan hasil pengukuran oleh beberapa operator. Dua komponen keragaman sistem pengukuran disebabkan oleh pengulangan dan *reproducibility*. Pengulangan berat bersih mewakili keragaman ketika metode *Gage R&R* digunakan mengukur botol pada waktu yang sama oleh seorang operator. *Reproducibility* diakibatkan keragaman beberapa operator mengukur berat botol pada waktu yang sama. Dengan demikian sistem pengukuran sering disebut *Gage R&R* atau *Gage repeatability* dan *reproducibility*. Selain kedua sumber keragaman di atas, terdapat sumber lain dalam sistem pengukuran yakni keragaman antar waktu atau *part to part*. Jika keragaman ini besar, maka tidak ada kesalahan pengukuran yang dilakukan oleh operator.

Berdasarkan beberapa pernyataan di atas, analisis *Gage R&R* didasarkan pada tiga aspek yakni pengulangan, *reproducibility* dan waktu yang tersarang dalam operator. Keragaman disebabkan pengulangan dan *reproducibility* merupakan fokus utama dalam analisis *Gage R&R* karena berhubungan langsung dengan operator. Dengan demikian jika ragam *reproducibility* tinggi maka kesalahan dalam sistem pengukuran sangat mungkin terjadi. Model linier metode *Gage R&R* tersarang yang terbentuk sesuai dengan persamaan (2.3).

### **2.5.1. *Gage Run Chart***

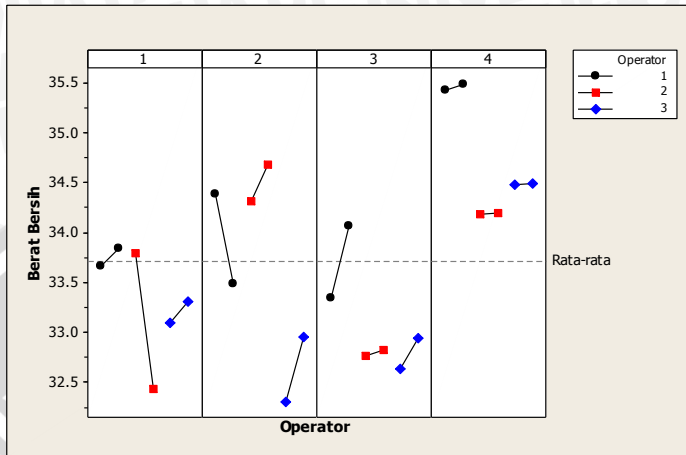
*Gage run chart* merupakan metode visual yang digunakan untuk mengetahui perbedaan hasil pengukuran yang dilakukan oleh setiap operator dan perbedaan di antara operator pada waktu yang sama. Proses pembuatan *gage run chart*, didasarkan hasil pengukuran setiap operator. Hasil pengukuran ini digambarkan dalam bentuk garis dan titik, sehingga membentuk *gage run chart* untuk setiap operator dalam satu kesatuan.

Sebagai ilustrasi penerapan *gage run chart*, lihat berat bersih botol Mega Surya 250 ml pada Tabel 2.5 yang dihasilkan oleh tiga operator pada empat waktu berbeda.

Tabel 2.5. Hasil Pengukuran Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Operator (i)	Waktu (j)	Botol (k)	
		1	2
1	1	33.67	33.84
	2	34.39	33.49
	3	33.34	34.07
	4	35.43	35.49
2	1	33.80	32.43
	2	34.32	34.68
	3	32.77	32.82
	4	34.18	34.20
3	1	33.10	33.31
	2	32.31	32.96
	3	32.64	32.94
	4	34.48	34.49

Dasar pembuatan *gage run chart* adalah membandingkan hasil pengukuran oleh operator pada setiap waktu yang digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika hasil pengukuran mendekati nilai tengah maka sistem pengukuran memiliki akurasi tinggi. Jarak antar titik yang membentuk garis lurus (horizontal) merupakan tingkat presisi pengukuran yang dilakukan oleh operator. Semakin membentuk garis horizontal maka memiliki tingkat presisi tinggi. Berikut disajikan *gage run chart* untuk berat bersih botol Mega Surya 250 ml.



Gambar 2.5. *Gage Run Chart* untuk Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Terlihat pada Gambar 2.5 hasil pengukuran operator dua pada waktu ketiga dan keempat membentuk garis horizontal, sehingga memiliki tingkat presisi tinggi. Berbeda dengan hasil pengukuran waktu pertama, garis yang terbentuk semakin vertikal, sehingga memiliki tingkat presisi rendah. Sedangkan hasil pengukuran pada waktu pertama oleh operator satu, memiliki tingkat akurasi tinggi karena mendekati nilai rata-rata. *Gage run chart* hanya menunjukkan tingkat presisi dan akurasi hasil pengukuran oleh operator secara visual, sedangkan untuk menentukan apakah terjadi kesalahan hasil pengukuran oleh operator akan ditunjukkan pada analisis ragam dan grafik *Gage R&R*.

Analisis *gage run chart* tidak dapat digunakan untuk mengetahui secara pasti apakah sistem pengukuran yang dilakukan oleh operator terjadi kesalahan atau tidak. Analisis *gage run chart* hanya digunakan untuk mengetahui secara visual hasil pengukuran antar operator, sehingga mempermudah dalam mengamati. Untuk mengetahui secara pasti keragaman hasil pengukuran oleh operator terjadi kesalahan maka dilakukan analisis ragam *Gage R&R* tersarang.

### 2.5.2. Analisis Ragam *Gage R&R* Tersarang

Montgomery dan Runger (1993) menjelaskan salah satu prinsip rancangan percobaan adalah sumber keragaman yang berasal dari perlakuan yang ditentukan berdasarkan tujuan percobaan.

Hipotesis yang melandasi pengujian terhadap pengaruh operator ke-*i* adalah:

$$\begin{aligned} H_0 : \alpha_i &= 0 \\ H_1 : \alpha_i &\neq 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Sedangkan hipotesis yang melandasi pengujian terhadap pengaruh waktu ke-*j* adalah:

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_j &= 0 \\ H_1 : \sigma_j &\neq 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Metode *Gage R&R* tersarang mengusulkan model acak linier adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{i(j)} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.3)$$

di mana:

*i* = 1,2,...,o

*j* = 1,2,...,b

*k* = 1,2,...,n

o = banyaknya operator

b = banyaknya pengukuran (waktu)

n = banyaknya botol

$Y_{ijk}$  = hasil pengukuran botol ke-*k* oleh operator ke-*i* pada waktu ke-*j*

$\mu$  = rata-rata umum

$\alpha_i$  = pengaruh acak operator ke-*i*

$\beta_{i(j)}$  = pengaruh acak waktu ke-*j* tersarang pada operator ke-*i*

$\varepsilon_{ijk}$  = pengaruh acak galat hasil pengukuran botol ke-*k* oleh operator ke-*i* pada waktu ke-*j*

Pengaruh operator dan waktu dipilih secara acak berdasarkan jadwal kerja operator sehingga kedua faktor bersifat tidak tetap. Penentuan



perlakuan disesuaikan dengan tujuan penelitian, karena itu dalam model *Gage R&R* tersarang diasumsikan bahwa  $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_{galat}^2)$ . Tabel analisis ragam *Gage R&R* dijelaskan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6. Analisis Ragam *Gage R&R* Tersarang

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	E(Kuadrat Tengah)
Operator	$o - 1$	$bn \sum_{i=1}^o (Y_{i..} - \bar{Y}_{...})^2$	$\sigma^2 + bn\sigma_o^2$
Waktu (Operator)	$o(b - 1)$	$n \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^b (Y_{ij.} - \bar{Y}_{i..})^2$	$\sigma^2 + n\sigma_{j(o)}^2$
Pengulangan	$ob(n - 1)$	$\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2$	$\sigma^2$
Total	$obn - 1$	$\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{...})^2$	

Jika  $H_0$  pada (2.1) dan (2.2) benar:

$$\frac{KT_{Operator}}{KT_{Waktu(Operator)}} \sim F_{(o-1), o(b-1)}$$

$$\frac{KT_{Waktu(Operator)}}{KT_{Pengulangan}} \sim F_{o(b-1), ob(n-1)}$$

Selain analisis ragam *Gage R&R* tersarang untuk respon, terdapat perhitungan lanjut yakni *Gage R&R* yang bertujuan untuk menganalisis seberapa besar ragam yang disebabkan oleh sistem pengukuran, sehingga dapat diketahui keakuratan dan ketepatan sistem pengukuran (Montgomery, 2005). Proses perhitungan *Gage R&R* seperti disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. *Gage R&R*

Sumber Keragaman	Komponen Ragam	% Komponen Ragam
Total <i>Gage R&amp;R</i> ( <i>gage</i> )	$V_{gage}$	% $V_{gage}$
<i>Repeatability</i> ( <i>repe</i> )	$V_{repe}$	% $V_{repe}$
<i>Reproducibility</i> ( <i>repro</i> )	$V_{repro}$	% $V_{repro}$
<i>Part to Part</i> (waktu)	$V_{waktu}$	% $V_{waktu}$
Total Keragaman (tot)	$V_{tot}$	% $V_{tot}$

di mana :

$$V_{repe} = \sigma^2$$

$$V_{repro} = o * \left( \frac{(\sigma^2 + bn\sigma_0^2) - (\sigma^2 + n\sigma_{J(o)}^2)}{bn} \right)$$

$$V_{gage} = V_{repe} + V_{repro}$$

$$V_{waktu} = \left( \frac{(\sigma^2 + n\sigma_{J(o)}^2) - \sigma^2}{n} \right)$$

$$V_{tot} = V_{gage} + V_{waktu}$$

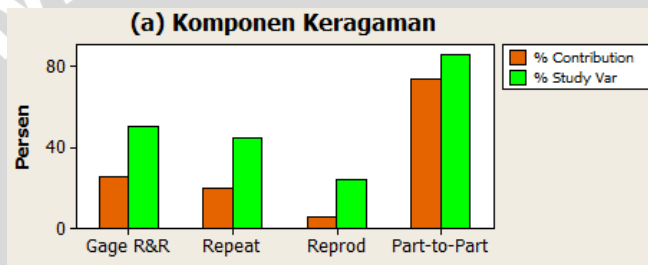
Setelah menguji apakah hasil pengukuran yang dilakukan oleh operator berbeda atau tidak, agar lebih mudah dalam melihat persentase sumber keragaman dan mengindikasikan operator mana yang melakukan kesalahan hasil pengukuran maka buat grafik *Gage R&R* tersarang.

### 2.5.3. Grafik *Gage R&R* Tersarang

Grafik *Gage R&R* tersarang digunakan untuk melihat komponen keragaman secara visual dan memantau hasil pengukuran setiap operator. Bagian dari grafik *Gage R&R* tersarang akan dijelaskan sebagai berikut:

### 2.5.3.1. Grafik Komponen Keragaman

Grafik komponen keragaman merupakan bentuk visual dari *Gage R&R*. Keuntungan grafik ini lebih mudah dalam melihat persentase sumber keragaman. Interpretasi grafik ini sama seperti *Gage R&R*, dikatakan terjadi kesalahan hasil pengukuran apabila total *Gage R&R* lebih besar dibanding komponen keragaman yang dihasilkan oleh *part to part* (waktu). Kontribusi keragaman *Gage R&R* berasal dari pengulangan dan *reproducibility*. Berikut merupakan contoh grafik komponen keragaman berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml.



Gambar 2.6. Grafik Komponen Keragaman *Gage R&R* Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Gambar 2.6 menunjukkan persen keragaman *Gage R&R* kecil dibanding dengan *part to part*, artinya tidak terjadi kesalahan hasil pengukuran oleh operator.

### 2.5.3.2. Grafik Kendali *R*

Grafik kendali *R* merupakan salah satu grafik yang digunakan untuk memantau keragaman sebuah proses. Metode yang digunakan untuk membentuk grafik *R* pada dasarnya memiliki kesamaan dengan grafik  $\bar{X}$  (Grant, 1998). Berikut disajikan contoh beserta rumus perhitungan grafik *R* setiap operator.

$$R_{ij} = Y_{ij(2)} - Y_{ij(1)}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^b R_{ij}}{n}$$

$$CL = \bar{R}$$

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

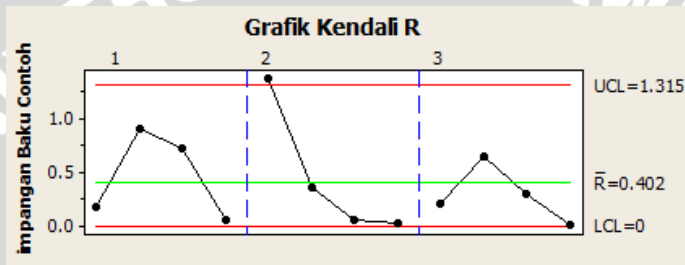
di mana:

$R_{ij}$  = kisaran berat bersih pada operator ke-i dan waktu ke-j

$CL$  = garis tengah grafik kendali

$UCL$  = batas kendali atas perusahaan

$LCL$  = batas kendali bawah perusahaan



Gambar 2.7. Grafik Kendali  $R$  Gage  $R\&R$  Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan oleh satu dan tiga terkendali sedangkan hasil pengukuran oleh operator dua terindikasi satu titik berada diluar batas kendali dan hasil pengukurannya menunjukkan trend menurun, artinya terjadi kesalahan pengukuran oleh operator dua.

### 2.5.3.3. Grafik Kendali $S$

Tujuan grafik kendali  $S$  sama seperti grafik kendali  $R$  yaitu memantau keragaman proses. Akan tetapi penerapan grafik kendali ini berbeda. Grafik kendali  $S$  digunakan apabila ukuran contoh besar ( $n > 10$ ).

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^b s_{ij}}{n}$$

$$CL = \bar{s}$$

$$UCL = B_4 \bar{s}$$

$$LCL = B_3 \bar{s}$$

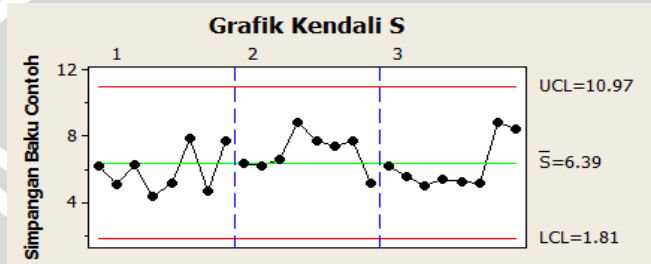
di mana:

$s_{ij}$  = simpangan baku berat bersih pada operator ke-i dan waktu ke-j

$CL$  = garis tengah grafik kendali

$UCL$  = batas kendali atas perusahaan

$LCL$  = batas kendali bawah perusahaan



Gambar 2.8. Grafik Kendali  $S$  Gage R&R Berat Bersih Galon Aqua 15 liter

Gambar 2.8 hasil pengukuran oleh tiga operator terkendali, artinya pengukuran yang dilakukan oleh tiga operator tidak menunjukkan perbedaan.

#### 2.5.3.4. Grafik Kendali $\bar{Y}$

Grafik kendali  $\bar{Y}$  digunakan untuk memantau perubahan rata-rata hasil pengukuran dalam sebuah proses. Untuk membentuk grafik kendali  $\bar{Y}$ , langkah awal yang harus dilakukan adalah menghitung garis tengah untuk grafik kendali. Garis tengah dari grafik kendali  $\bar{Y}$  adalah  $\bar{\bar{Y}}$  kemudian ditentukan  $UCL$  dan  $LCL$ . Berikut disajikan prosedur pembuatan grafik kendali  $\bar{Y}$  (Grant dan Richard, 1998).

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \dots + \bar{Y}_n}{n}$$

$$UCL = \bar{\bar{Y}} + z\sigma_{\bar{Y}}$$

$$LCL = \bar{\bar{Y}} - z\sigma_{\bar{Y}}$$



di mana:

$\bar{\bar{Y}}$  = rata-rata dari rata-rata

$z$  = nilai peubah normal baku

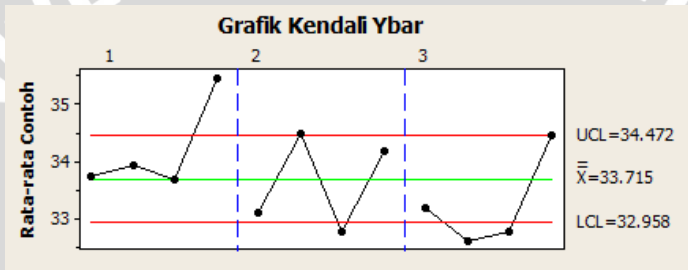
=  $\begin{cases} 1, \text{ peluang data terkendali sebesar } 68.85\% \\ 2, \text{ peluang data terkendali sebesar } 95.44\% \\ 3, \text{ peluang data terkendali sebesar } 99.74\% \end{cases}$

$\sigma_{\bar{Y}}$  = salah baku rata-rata contoh

$n$  = ukuran contoh

$UCL$  = batas kendali atas

$LCL$  = batas kendali bawah



Gambar 2.9. Grafik Kendali  $\bar{Y}$  Gage R&R Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Terlihat pada Gambar 2.9 hasil pengukuran tiga operator tidak terkendali artinya memberikan kemungkinan bahwa terjadi kesalahan hasil pengukuran oleh operator, untuk menentukan secara pasti apakah terjadi kesalahan hasil pengukuran oleh operator maka dapat dilihat keragaman total *Gage R&R* atau kriteria sistem pengukuran yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

#### 2.5.4. Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan Nilai $r$

Kriteria sistem pengukuran berdasarkan nilai  $r$  menurut Ronald (2010) digunakan untuk memutuskan apakah sebuah sistem pengukuran berguna untuk tujuan tertentu, nilai  $r$  ditetapkan berdasarkan nilai ragam pada sistem pengukuran seperti tertulis di bawah ini:

$$r = \frac{\sqrt{V_{repe} + V_{repro}}}{\sqrt{V_{waktu} + V_{repe} + V_{repro}}}$$

di mana:

$V_{repe}$  = ragam pengulangan

$V_{repro}$  = ragam *reproducibility*

$V_{waktu}$  = ragam waktu

Penentuan keakuratan sistem pengukuran oleh Engel dan De Vies (1997) didasarkan pada Tabel 2.8 (AIAG, 2003).

Tabel 2.8. Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan r

Kriteria	Kualitas Sistem Pengukuran
$r \leq 0.1$	Baik
$0.1 < r \leq 0.3$	Sedang
$0.3 < r$	Buruk

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Data Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan data primer yang diperoleh dengan cara dokumentasi yaitu melakukan pencatatan hasil penimbangan pada tanggal 11-15 Juli 2011. Sebanyak 24 botol sabun Mega Surya 250 ml diambil secara acak setiap hari, setiap 2 jam sekali berat bersih 2 botol ditimbang oleh operator. Sedangkan untuk galon Aqua dan Club A 19 liter, 240 galon ditimbang dalam sehari pada tanggal 18 Juli 2011. Sebanyak 10 galon diambil untuk ditimbang berat bersih oleh operator. Tiga data tersebut merupakan data menyebar normal yang disajikan pada Lampiran 1, 2 dan 3.

### 3.2. Metode Analisis Data

Langkah-langkah analisis yang dilakukan terhadap data dalam penelitian ini adalah:

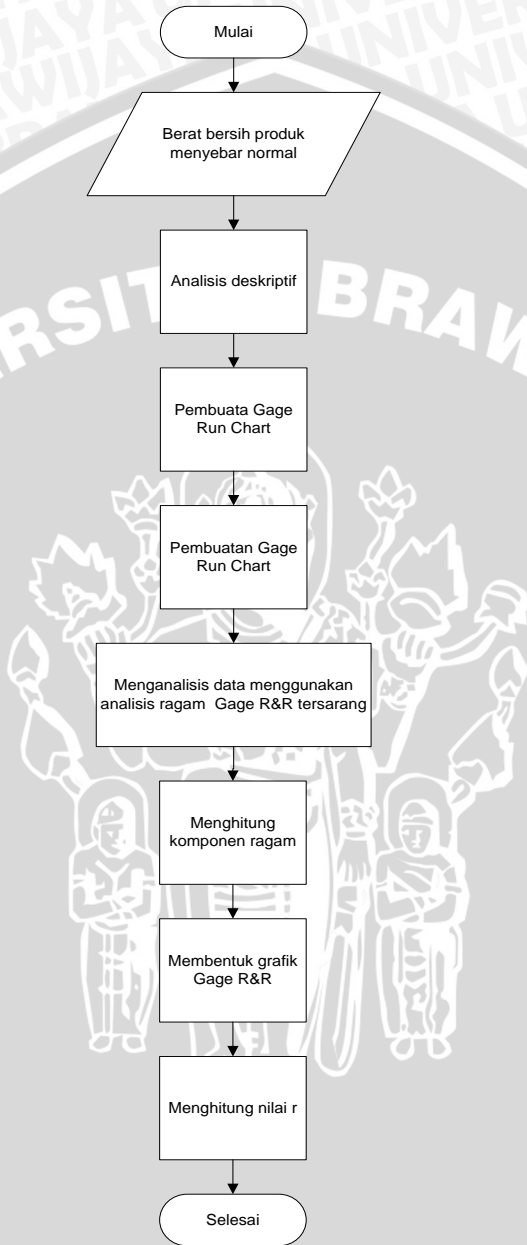
1. Analisis deskriptif menggunakan statistik deskriptif dan histogram.
2. Pengujian asumsi kenormalan galat menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov*.
  - 2.1. Apabila dari hasil pengujian menyatakan bahwa data menyebar normal maka analisis data dilanjutkan pada tahap 3.
  - 2.2. Apabila dari hasil pengujian menyatakan bahwa data tidak menyebar normal, maka data tidak dapat melanjutkan analisis ke tahap 3.
3. Pendeteksian akurasi dan presisi secara visual hasil pengukuran oleh operator menggunakan *Gage Run Chart*.
4. Analisis sistem pengukuran menggunakan metode *Gage R&R* tersarang berdasarkan metode analisis ragam dan grafik.
  - 4.1. Menganalisis setiap data menggunakan analisis ragam *Gage R&R* tersarang.
  - 4.2. Menghitung komponen ragam setiap sumber keragaman pada analisis *Gage R&R*.
  - 4.3. Membentuk grafik *Gage R&R* tersarang.
  - 4.4. Interpretasi hasil analisis ragam dan grafik *Gage R&R* tersarang.

5. Analisis kualitas sistem pengukuran.
  - 5.1. Menghitung kriteria sistem pengukuran berdasarkan nilai  $r$ .
  - 5.2. Menggolongkan hasil perhitungan sesuai Tabel 2.8.

Tahapan pendeteksian hasil pengukuran oleh operator menggunakan *Gage Run Chart* dan analisis *Gage R&R* dikerjakan dengan bantuan *software* MINITAB 15.







Gambar 3.1. Diagram Alir Metode *Gage R&R*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis Deskriptif

Langkah pertama dalam penerapan analisis sistem pengukuran menggunakan metode *Gage R&R* adalah analisis deskriptif yang bertujuan untuk mengetahui gambaran umum hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter produksi PT. Berlina Tbk. Berikut disajikan tabel statistik deskriptif dan histogram frekuensi berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter.

Tabel 4.1. Statistik Deskriptif Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter

Berat Bersih	n	Rata-rata	Simpangan Baku	Kisaran
Botol sabun Mega Surya 250 ml	120	33.503	0.816	3.990
Galon Aqua 19 liter	240	753.120	8.740	40.000
Galon Club A 19 liter	240	761.120	8.420	9.000

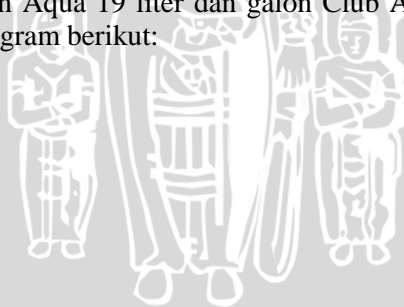
Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa sebagian botol sabun Mega Surya 250 ml memiliki berat bersih 33.503 gram, dengan simpangan baku 0.816 gram atau kurang lebih 68% botol sabun Mega Surya 250 ml memiliki berat bersih  $33.503 \pm 0.816$  gram dan kisaran 3.990 gram. Sebagian besar galon Aqua 19 liter memiliki berat bersih 753.120 gram, dengan simpangan baku 8.740 gram atau kurang lebih 68% galon Aqua 19 liter memiliki berat bersih  $753.120 \pm 8.740$  gram dan kisaran 40.000 gram. Dari 240 galon Club A 19 liter sebagian besar memiliki berat bersih 761.120 gram dengan simpangan baku 8.420 gram atau kurang lebih 68% galon Club A 19 liter memiliki berat bersih  $761.120 \pm 8.4200$  gram dan kisaran 9.000 gram.

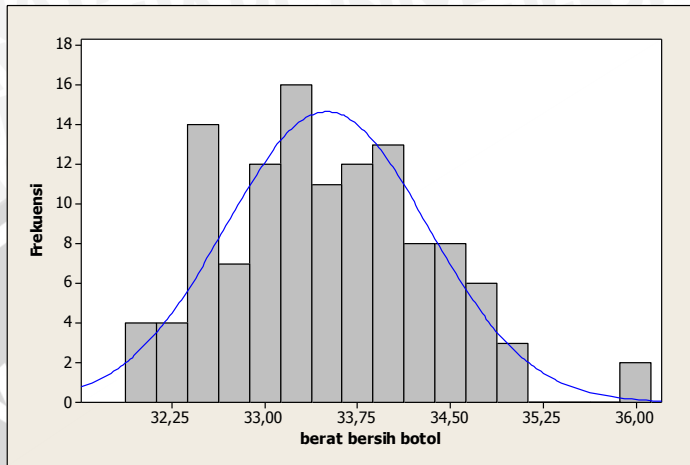
Untuk melihat apakah terdapat contoh yang tidak memenuhi syarat perusahaan maka nilai minimum dan maksimum setiap peubah dibandingkan dengan batas spesifikasi perusahaan:

Tabel 4.2. Batas Spesifikasi Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter

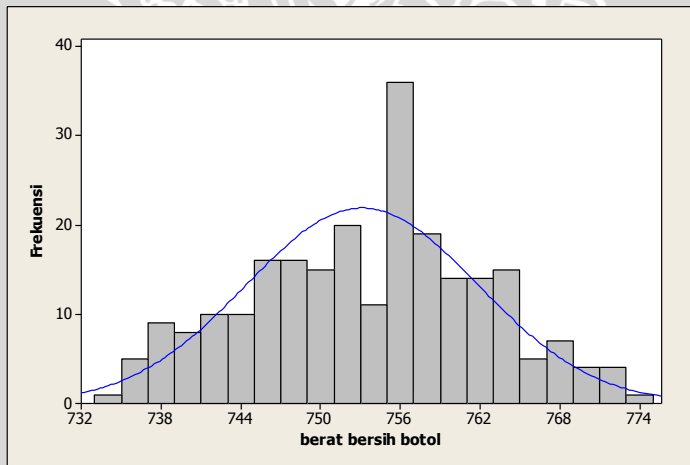
Berat Bersih	Batas Spesifikasi (gram)
Botol sabun Mega Surya 250 ml	32-36
Galon Aqua 19 liter	735-765
Galon Club A 19 liter	750-770

Nilai minimum dan maksimum pada Tabel 4.1 dibandingkan dengan batas spesifikasi pada Tabel 4.2. Berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml sesuai ketentuan perusahaan karena kisaran nilai minimum dan maksimum berada di batas spesifikasi, sedangkan berat bersih galon Aqua 19 liter terdapat contoh yang berada di luar batas spesifikasi minimum maupun maksimum. Begitu pula dengan galon Club A 19 liter terdapat contoh dengan berat bersih kurang dari batas spesifikasi minimum dan lebih besar dibanding batas spesifikasi maksimum. Frekuensi berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter dapat dilihat melalui histogram berikut:



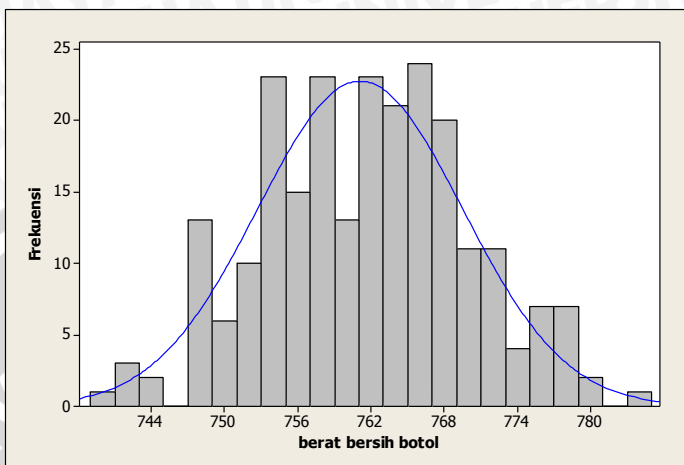


Gambar 4.1. Histogram Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml



Gambar 4.2. Histogram Berat Bersih Galon Aqua 19 liter





Gambar 4.3. Histogram Berat Bersih Galon Club A 19 liter

Terlihat pada Gambar 4.1, terdapat beberapa kelas berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml memiliki frekuensi besar yaitu pada kelas ketiga hingga kesebelas. Karena kelas yang memiliki frekuensi besar berada di tengah maka secara keseluruhan bentuk histogram ini menyerupai bentuk kurva sebaran normal, sehingga dapat diasumsikan bahwa hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml menyebar normal.

Gambar 4.2 menyajikan histogram berat bersih galon Aqua 19 liter. Terlihat bahwa terdapat frekuensi berat bersih kelas duabelas dengan nilai tengah 756 gram lebih besar dibanding dengan frekuensi kelas lain. Dari histogram ini diketahui bahwa frekuensi hasil pengukuran yang tidak sesuai dengan batas spesifikasi minimum maupun maksimum perusahaan cukup tinggi. Sedangkan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa bentuk histogram berat bersih galon Club A 19 liter menyerupai bentuk kurva sebaran normal akan tetapi terdapat beberapa kelas yang melebihi batas spesifikasi.

#### 4.2. Kenormalan Data

Analisis *Gage R&R* dilandasi pada asumsi bahwa hasil pengukuran menyebar normal. Pengujian kenormalan pada hasil pengukuran dilakukan untuk mendeteksi data tersebut memenuhi

asumsi dasar *Gage R&R*. Hasil pengujian asumsi kenormalan tersaji di bawah ini.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Asumsi Kenormalan Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter

Berat Bersih	Statistik Uji (KS)	Nilai Peluang
Botol sabun Mega Surya 250 ml	0.054	>0.150
Galon Aqua 19 liter	0.046	>0.150
Galon Club A 19 liter	0.031	>0.150

Tabel 4.3 menyajikan hasil pengujian kenormalan berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter memenuhi asumsi normalitas karena nilai peluang dari statistik uji berada pada daerah penerimaan  $H_0$  pada taraf nyata 5%.

#### 4.3. Analisis Kapabilitas Proses

Suatu proses dikatakan memiliki kapabilitas tinggi bila semua hasil pengukuran berada dalam batas spesifikasi. Besaran yang menyatakan kemampuan suatu proses produksi adalah  $C_p$  dan  $C_{pk}$ , yang tersaji pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter

Berat Bersih	$C_p$	$C_{pk}$
Botol sabun Mega Surya 250 ml	1.59	1.20
Galon Aqua 19 liter	0.58	0.46
Galon Club A 19 liter	0.51	0.45

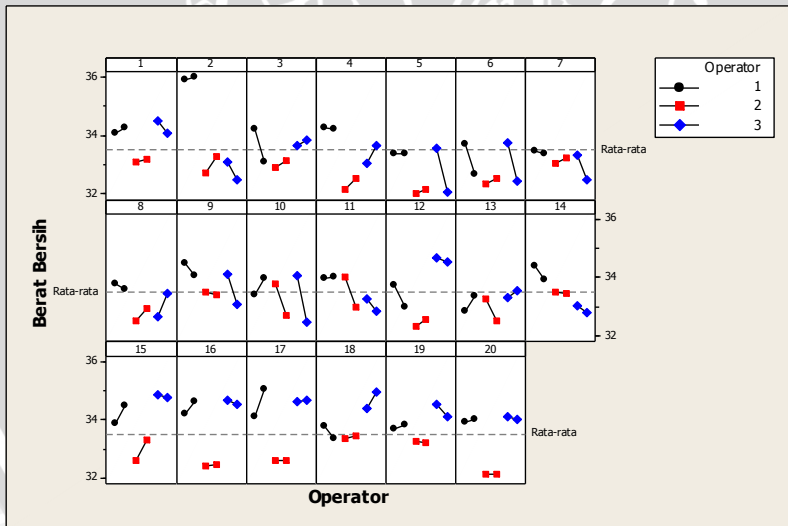
Proses dengan  $C_p \geq 1$  menunjukkan bahwa tidak ada berat bersih botol yang diproduksi berada di luar batas spesifikasi, sedang  $C_p < 1$  menunjukkan adanya berat bersih berada di luar batas spesifikasi.  $C_p$  sabun Mega Surya 250 ml > 1 sehingga sesuai dengan ketentuan perusahaan akan tetapi nilai  $C_p$  sabun Mega Surya

250 ml >  $C_{pk}$ , hal ini menunjukkan bahwa terjadi pergeseran proses. Semakin banyak hasil pengukuran yang tidak sesuai dengan batas spesifikasi maka nilai  $C_p$  maupun  $C_{pk}$  akan semakin rendah. Keadaan ini terjadi pada produksi galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter di mana nilai  $C_p < 1$ , (0,58 dan 0,51) sedangkan nilai  $C_{pk}$  adalah 0,46 dan 0,45.

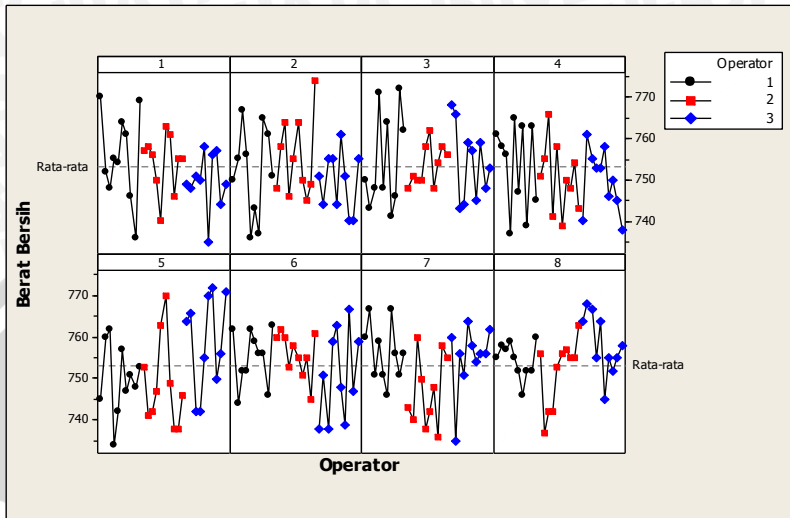
#### 4.4. Analisis Gage R&R

##### 4.4.1. Analisis Gage Run Chart

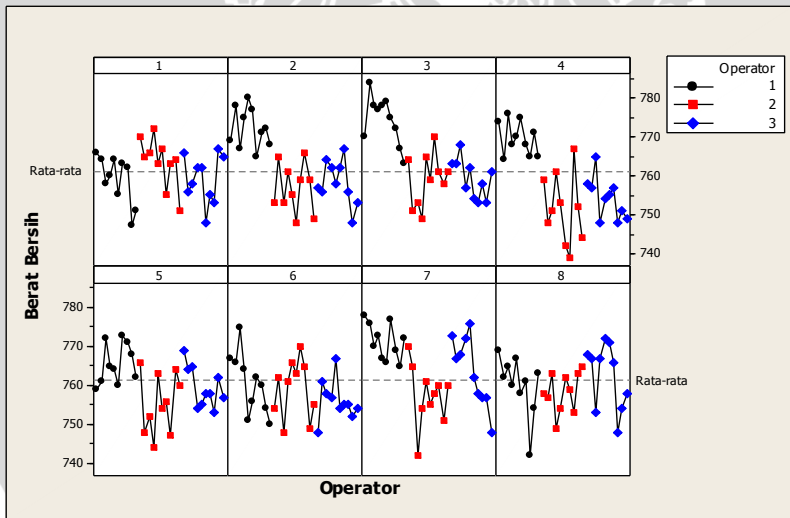
Analisis *gage run chart* merupakan salah satu prosedur dalam melakukan analisis sistem pengukuran. Analisis *gage run chart* bertujuan untuk mengetahui secara visual akurasi dan presisi hasil pengukuran yang dilakukan oleh operator dan menilai seberapa besar perbedaan hasil pengukuran di antara operator dengan waktu. Hasil analisis *gage run chart* digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi operator yang melakukan kesalahan dalam pengambilan contoh dan pengukuran terhadapnya. *Gage run chart* setiap produk adalah:



Gambar 4.4. *Gage Run Chart* Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml



Gambar 4.5. *Gage Run Chart* Berat Bersih Galon Aqua 19 liter



Gambar 4.6. *Gage Run Chart* Berat Bersih Galon Club A 19 liter

Gambar 4.4 menunjukkan *gage run chart* berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml. Kemiringan garis antar titik yang saling berhubungan menunjukkan apakah pengukuran yang dilakukan

setiap operator memenuhi syarat presisi. Jika garis lurus antara dua titik contoh membentuk garis horisontal maka hasil pengukuran semakin presisi. Hasil pengukuran oleh operator dua secara umum dapat dikatakan presisi, sedangkan dua operator lain tidak presisi.

Keakuratan pengukuran didasarkan pada kedekatan hasil pengukuran dengan garis tengah (garis putus). Semakin jauh titik dengan garis tengah, maka semakin rendah keakuratan pengukuran. Terlihat pada Gambar 4.4, sebagian besar hasil pengukuran oleh operator jauh dari garis tengah sehingga dinyatakan hasil pengukuran tidak akurat. Secara garis besar dapat dikatakan bahwa hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml tidak akurat dan tidak presisi.

Gambar 4.5 menunjukkan *gage run chart* hasil pengukuran berat bersih galon Aqua 19 liter. Hasil pengukuran tiga operator menunjukkan bahwa sebagian besar tidak presisi. Hal ini ditunjukkan dengan kemiringan garis antar titik pengukuran oleh setiap operator tidak membentuk garis horisontal. Hasil pengukuran oleh semua operator tidak akurat karena sebagian besar berada jauh dari garis tengah.

Seperti Gambar 4.4 dan 4.5, Gambar 4.6 merupakan *gage run chart* hasil pengukuran berat bersih galon Club A 19 liter yang menunjukkan bahwa pengukuran berat bersih galon Club A 19 liter oleh operator tidak presisi karena sebagian besar tidak membentuk garis horisontal. Tetapi diketahui bahwa operator satu memiliki hasil pengukuran yang relatif lebih presisi dibandingkan operator lain karena pada waktu tertentu beberapa hasil pengukuran membentuk garis horisontal. Secara umum dapat dikatakan bahwa semua operator memiliki hasil pengukuran yang tidak akurat karena tidak mendekati nilai tengah.

#### **4.4.2. Analisis Ragam *Gage R&R* Tersarang**

Analisis ragam digunakan untuk mengetahui apakah faktor yaitu operator dan waktu yang tersarang dalam operator berpengaruh terhadap berat bersih. Hipotesis yang melandasi pengujian terhadap pengaruh operator ke- $i$  adalah:

$$H_0 : \alpha_i = 0$$

$$H_1 : \alpha_i \neq 0$$



Hipotesis yang melandasi pengujian terhadap pengaruh waktu ke-j adalah:

$$H_0 : \sigma_j = 0$$

$$H_1 : \sigma_j \neq 0$$

Tabel 4.5. Analisis *Gage R&R* Tersarang Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml Berdasarkan Metode Analisis Ragam

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	<i>p-value</i>
Operator	2	24.742	12.371	15.990	0.000
Waktu (Operator)	57	44.101	0.774	4.458	0.000
Pengulangan	60	10.413	0.174		
Total	119	79.257			

Tabel 4.6. Analisis *Gage R&R* Tersarang Berat Bersih Galon Aqua 19 liter Berdasarkan Metode Analisis Ragam

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	<i>p-value</i>
Operator	2	143.800	71.879	0.732	0.493
Waktu (Operator)	21	2062.400	98.211	1.323	0.162
Pengulangan	216	16037.300	74.247		
Total	239	18243.500			

Tabel 4.7. Analisis *Gage R&R* Tersarang Berat Bersih Galon Club A 19 liter Berdasarkan Metode Analisis Ragam

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	<i>p-value</i>
Operator	2	3629.000	1814.520	9.294	0.001
Waktu (Operator)	21	4099.800	195.230	4.575	0.000
Pengulangan	216	9216.700	42.670		
Total	239	16945.500			

Pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.7 terlihat bahwa pengaruh operator dalam menimbang berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml dan galon Club A 19 liter nyata ( $15.990 > 3.159$ ,  $9.294 > 3.467$ ), sehingga perbedaan operator memberikan pengaruh terhadap berat bersih. Sedangkan untuk galon Aqua 19 liter yang ditampilkan pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa statistik uji pengaruh operator galon Aqua 19 liter  $< 3.467$ , sehingga  $H_0$  diterima yang berarti perbedaan operator tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran atau kesalahan hasil pengukuran disebabkan oleh pengulangan yang dilakukan oleh setiap operator.

Untuk mengetahui secara pasti persen komponen ragam hasil pengukuran, maka dilakukan analisis *Gage R&R*. Berikut disajikan analisis *Gage R&R* berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter.

Tabel 4.8. Analisis *Gage R&R* Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Sumber Keragaman	Komponen Ragam	%Komponen Ragam
Total <i>Gage R&amp;R</i>	0.463	60.70
<i>Repeatability</i>	0.174	22.73
<i>Reproducibility</i>	0.290	37.97
<i>Part to Part</i> (waktu)	0.300	39.30
Total Keragaman	0.763	100.00

Tabel 4.9. Analisis *Gage R&R* Berat Bersih Galon Aqua 19 liter

Sumber Keragaman	Komponen Ragam	%Komponen Ragam
Total <i>Gage R&amp;R</i>	74.247	96.87
<i>Repeatability</i>	74.247	96.87
<i>Reproducibility</i>	0.000	0.00
<i>Part to Part</i> (waktu)	2.396	3.13
Total Keragaman	76.643	100.00

Tabel 4.10. Analisis *Gage R&R* Berat Bersih Galon Club A 19 liter

Sumber Keragaman	Komponen Ragam	%Komponen Ragam
Total <i>Gage R&amp;R</i>	62.911	80.48
<i>Repeatability</i>	42.670	54.59
<i>Reproducibility</i>	20.241	25.89
<i>Part to Part</i> (waktu)	15.256	19.52
Total Keragaman	78.117	100.00

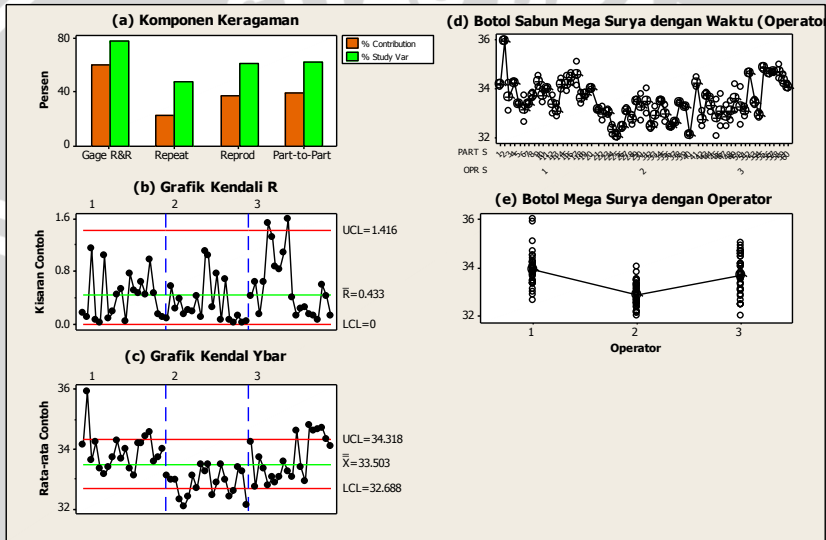
Analisis *Gage R&R* menjelaskan kontribusi keragaman terhadap keragaman total produk. Tabel 4.8 menyajikan kontribusi keragaman berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml. Persentase komponen ragam berasal dari *Gage R&R* (60.70%) lebih besar dibandingkan dengan *part to part* (waktu) (39.30%). Hal ini menjelaskan penyebab terbesar keragaman botol sabun Mega Surya 250 ml berasal dari kesalahan operator. Kesalahan pengukuran oleh operator dapat diakibatkan oleh dua faktor, yaitu *repeatability* dan *reproducibility*. Dilihat dari dua faktor tersebut, faktor yang lebih dominan adalah *reproducibility* karena kontribusi yang dihasilkan 37.97% lebih besar dibanding keragaman oleh *repeatability* (22.73%). Dengan demikian keragaman botol sabun Mega Surya 250 ml disebabkan oleh perbedaan pengukuran oleh operator.

Tabel 4.9 menunjukkan pula bahwa terjadi kesalahan pengukuran berat bersih Galon Aqua 19 liter karena *Gage R&R* mencapai 96.87% yang lebih besar dibanding *part to part* (waktu). Berbeda dengan berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, faktor dominan yang mempengaruhi kesalahan pengukuran adalah pengulangan yang dilakukan oleh operator karena persentase keragaman *repeatability* lebih besar dibanding *reproducibility* (96.87% > 0%).

Sumber keragaman berat bersih Galon Club A 19 liter tersaji pada Tabel 4.10. Sama seperti Galon Aqua 19 liter, terjadi kesalahan pengukuran terhadap Galon Club A 19 liter yang disebabkan oleh *repeatability* dengan persentase sebesar 54.59% dari keragaman total produk.

### 4.4.3. Grafik Gage R&R Tersarang

Grafik Gage R&R merupakan bagian analisis Gage R&R yang digunakan untuk mengetahui secara visual persentase komponen ragam dan grafik kendali setiap operator. Hasil analisis grafik Gage R&R berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter disajikan pada Gambar 4.7 sampai Gambar 4.9:



Gambar 4.7. Grafik Gage R&R Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml

Grafik Gage R&R pada Gambar 4.7 menyajikan komponen keragaman, diagram kotak garis, grafik kendali  $\bar{Y}$  dan  $R$  peubah berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml. Interpretasi grafik komponen keragaman seperti Tabel 4.8, yaitu terjadi kesalahan pengukuran akibat perbedaan operator. Grafik kendali  $\bar{Y}$  dan  $R$  digunakan untuk memantau keragaman hasil produksi dan dipilah menjadi tiga bagian berdasarkan operator. Terlihat bahwa sebagian besar data berada di atas garis tengah grafik kendali  $\bar{Y}$  pada operator satu dan terdapat satu titik pengamatan yang keluar (Gambar 4.7.c). Pada operator dua, sebagian besar data berada di bawah garis tengah grafik kendali dan beberapa titik keluar dari batas kendali bawah,

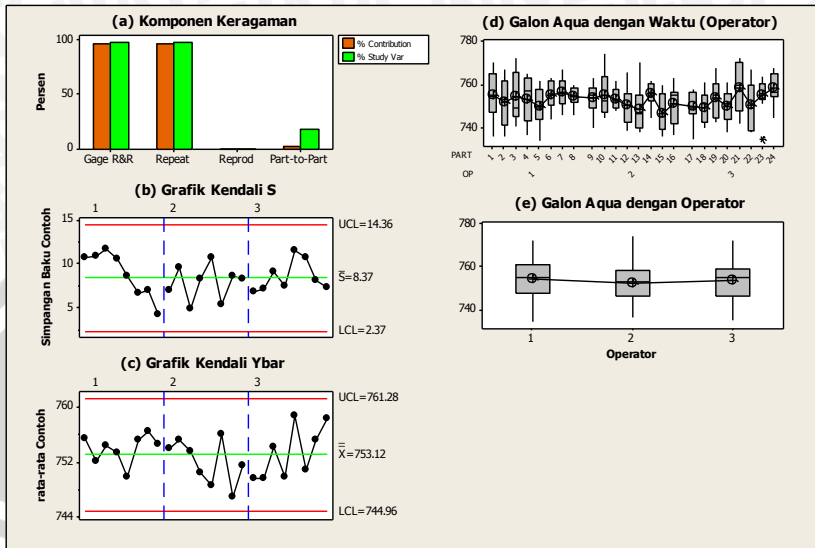
sedangkan operator tiga terdapat beberapa titik pengamatan keluar dari batas atas.

Pada grafik ini (Gambar 4.7.c) terlihat pola titik, yaitu lima titik berada di atas garis tengah secara berurutan pada operator satu, begitu pula dengan titik pengamatan untuk operator dua dan tiga, secara berurutan berada di bawah garis tengah. Faktor penyebab pola ini dimungkinkan karena perubahan kualitas bahan botol, kesalahan kalibrasi alat ukur maupun kerusakan alat kemungkinan menyebabkan kesalahan pengukuran. Tampak pada grafik kendali  $R$  pola keragaman berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml (Gambar 4.7.b). Keragaman terbesar terletak pada operator tiga hingga menyebabkan titik keluar dari batas kendali atas.

Rata-rata berat bersih botol oleh operator dalam setiap waktu disajikan dalam grafik Botol Mega Surya dengan Waktu (Operator) (Gambar 4.7.d). Titik-titik ini sama seperti yang tersaji dalam grafik kendali  $\bar{Y}$ . Selain itu, rata-rata berat bersih botol setiap operator tersaji dalam grafik Botol Mega Surya dengan Operator pada Gambar 4.7.e. Grafik ini menunjukkan bahwa rata-rata berat bersih botol operator dua paling rendah dibandingkan operator lain, sedangkan operator satu dan tiga menimbang botol yang menghasilkan rata-rata berat bersih botol hampir sama. Kesalahan pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml mungkin disebabkan karena kesalahan oleh operator dua.



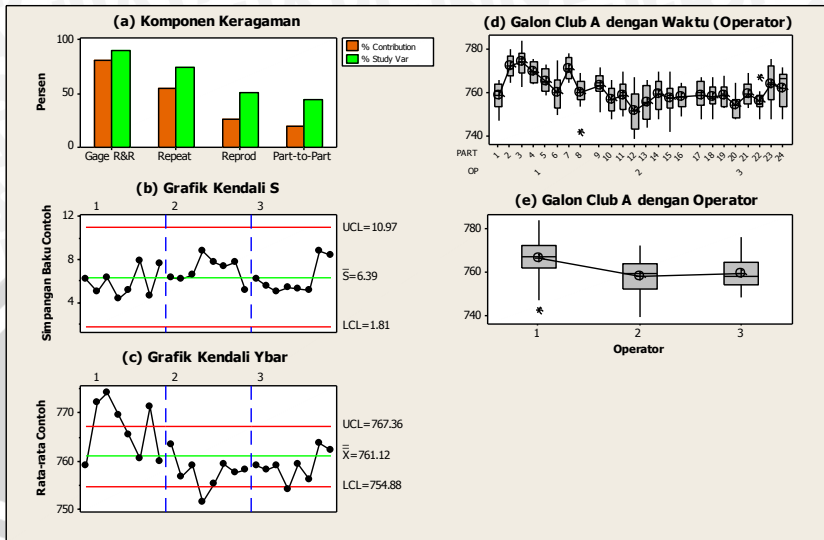




Gambar 4.8. Grafik *Gage R&R* Berat Bersih Galon Aqua 19 liter

Tabel 4.9 digambarkan pada grafik komponen keragaman Gambar 4.8.a. Rata-rata berat bersih hasil pengukuran setiap operator menunjukkan terdapat kesalahan pengukuran yang disebabkan pengulangan pengukuran botol oleh operator. Terlihat titik-titik pengamatan pada grafik kendali  $\bar{Y}$  untuk semua operator terkendali (berada dalam batas kendali), begitu pula pada grafik kendali  $S$  (Gambar 4.8.c dan Gambar 4.8.b). Tetapi ditemukan tren pada titik pengamatan operator dua, sehingga ada indikasi terdapat kesalahan pengukuran. Penyebab pola ini terjadi, mungkin disebabkan perubahan konsentrasi operator dalam menimbang akibat kelelahan.

Ringkasan lima angka berat bersih galon Aqua 19 liter setiap waktu ditampilkan pada Gambar 4.8.d. Terlihat bahwa nilai tengah relatif tidak sama pada setiap waktu dan terdapat pencilan saat waktu ke-23. Ringkasan lima angka berdasarkan operator ditampilkan pada grafik Galon Aqua dengan Operator (Gambar 4.8.e). Hasil pengukuran berat bersih oleh tiga operator hampir sama, dengan rata-rata berat bersih botol operator dua sedikit di bawah dibanding operator lain.



Gambar 4.9. Grafik *Gage R&R* Berat Bersih Galon Club A 19 liter

Gambar 4.9 menyajikan grafik komponen keragaman, diagram kotak garis, grafik kendali  $\bar{Y}$  dan  $S$ . Grafik komponen keragaman menunjukkan bahwa terdapat kesalahan pengukuran oleh operator (Gambar 4.9.a). Grafik kendali  $\bar{Y}$  berat bersih galon Club A 19 liter memperlihatkan sebagian besar titik-titik pengamatan untuk operator satu lebih besar dari garis tengah dan terdapat tiga titik pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (Gambar 4.9.c). Untuk operator dua hampir semua titik berada di bawah garis tengah dan satu titik berada di luar batas kendali bawah. Demikian pula dengan operator tiga, hampir semua titik berada di bawah garis tengah. Pola menurun ditemukan di bagian operator satu, hal ini bisa disebabkan karena operator kurang teliti mengukur berat bersih atau terjadi kelelahan dalam melakukan pengukuran, sedangkan pola titik pengamatan untuk operator dua dan tiga secara berturut-turut berada di bawah garis tengah grafik. Pola ini mungkin disebabkan oleh perubahan kualitas dari bahan baku galon Club A 19 liter atau akibat dari penurunan konsentrasi operator dalam menimbang. Titik pengamatan pada grafik kendali  $S$  untuk semua operator berada di daerah kendali (Gambar 4.9.b).

Untuk membandingkan hasil pengukuran antar operator, maka dibentuk nilai lima angka pada setiap operator. Gambar 4.9.e

menjelaskan bahwa nilai tengah hasil pengukuran operator satu lebih besar dibanding dengan operator lain. Bisa diduga bahwa kesalahan pengukuran berat bersih galon Club 19 liter dilakukan oleh operator satu. Ringkasan lima angka juga dibuat setiap waktu, dari hasil tersebut terlihat bahwa di saat awal hasil pengukuran berat bersih galon Club 19 liter relatif tinggi (Gambar 4.9.d). Hal tersebut dapat dimungkinkan akibat kesalahan kalibrasi alat yang digunakan oleh operator atau terjadi permasalahan psikologis operator karena baru memulai kerja.

#### 4.4.4. Analisis Kriteria Sistem Pengukuran Berdasarkan Nilai $r$

Analisis kualitas ini digunakan untuk menentukan kriteria sistem pengukuran berdasarkan nilai  $r$ . Dengan tingkat kepercayaan 0.95 nilai  $r$  yang dihasilkan adalah:

Tabel 4.11. Nilai  $r$  berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter

Berat Bersih	Nilai $r$	Kualitas Sistem Pengukuran
Botol sabun Mega Surya 250 ml	0.778	Buruk
Galon Aqua 19 liter	0.984	Buruk
Galon Club A 19 liter	0.897	Buruk

Karena berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter memiliki nilai  $r > 0.3$ , sehingga kualitas sistem pengukuran buruk.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.3. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Berdasarkan *gage run chart*, hasil pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua dan Club A 19 liter tidak akurat dan tidak presisi. Akibat dari hasil pengukuran yang tidak akurat dan tidak presisi, indeks kemampuan proses berat bersih galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter bernilai  $<1$ , sedangkan indeks kemampuan proses berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml sesuai dengan batas spesifikasi tetapi terdapat pergeseran proses karena nilai  $Cp(1.59) > Cpk(1.20)$ .
2. Berdasarkan analisis ragam, operator mempunyai pengaruh yang besar terhadap hasil pengukuran setiap produk. Hal ini diperkuat dengan analisis *Gage R&R* yang menunjukkan bahwa, terjadi kesalahan pengukuran berat bersih. Untuk berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml besar kontribusi *Gage R&R* sebesar 60.70% lebih besar dari persentase keragaman akibat waktu (39.30%). Begitu pula dengan berat bersih Galon Aqua 19 liter dan Club A 19 liter, persentase *Gage R&R* secara berturut-turut adalah 96.87% dan 80.48% lebih besar dari persentase keragaman akibat waktu. Berdasarkan grafik kendali secara umum disimpulkan bahwa terdapat indikasi adanya kesalahan pengukuran oleh operator karena munculnya pola menurun maupun berkumpulnya sejumlah titik-titik pengamatan di bawah atau di atas garis tengah. Pengukuran berat bersih botol sabun Mega Surya 250 ml, galon Aqua 19 liter dan galon Club A 19 liter dinilai buruk. Hal ini dikarenakan nilai  $r$  masing-masing produk  $>0.3$ , yaitu secara berturut-turut 0.778, 0.984 dan 0.897.

#### 5.4. Saran

Berdasarkan penelitian, disarankan kepada perusahaan untuk melakukan pengawasan terhadap kinerja operator yang bertugas agar tidak terjadi kesalahan dalam pengukuran sehingga tidak terjadi kesalahan dalam menyimpulkan hasil penelitian. Untuk pengawasan produk selanjutnya, sebaiknya melakukan analisis *Gage R&R* sebelum melakukan analisis lebih lanjut. Hal itu diharapkan agar data dapat mewakili keadaan sebenarnya.





## DAFTAR PUSTAKA

- Aft, L. S. 1998. *Fundamental of Industrial Qualitycontrol. 3<sup>rd</sup> edition*. Arizona: McGraw Hill Companies, inc.
- Automotive Industry Action Group. 2003. *Measurement System Analysis: Reference Manual, 3rd edition*. Detroit, MI: Automotive Industry Action Group.
- Banks, J. 1989. *Principles of Quality Control*. Canada: John Wiley and Son, inc.
- Donald, S.E. 2006. *Improved Gage R&R Measurement Studies. Part One*. Quality Progress, 77-79.
- Donald, S.E. 2006. *Appraiser Variation in Gage R&R Measurement. Part Two*. Quality Progress, 75-78.
- Engel, J. and De Vries, B. 1997. *Evaluating a Well-know Criterion for Measurement Precision*. Journal of Quality Technology, 29:469-476.
- Erdmann, T.P. and Ronald, J.M. 2010. *Quality Quabdaries: A Gage R&R Study in a Hospital*. Quality Engineering, 22:46-53.
- Grant, E.L. and Richard, S.L. 1998. *Statistical Quality Control Sixth Edition*. Terjemahan Ir. Hidayat Kandahjaya, MSc. Jakarta: Erlangga.
- Kazerouni, A.F. 2009. *Design and Analysis of Gage R&R Studies: Making Decisions Based on ANOVA Method*. Word Academy of Science, Engineering and Technology, 52.
- Montgomery, D.C. and Runger, G.C. 1993a. *Gage Capability and Designed Experiments. Part I: Basic Methods*. Quality Engineering, 6:115-135.
- Montgomery, D.C. and Runger, G.C. 1993b. *Gage Capability and Designed Experiments. Part II: Experimental Design Methods and Variance Component Estimation*. Quality Engineering, 6:289-305.

Montgomery, D.C. 2005. *Design and Analysis of Experiments. Sixth Edition.* Wiley.

Van Wieringen, W.N. 2003. *Statistical Models for the Precision of Categorical Measurement System.* Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands. Amsterdam.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 1. Hasil Pengukuran Berat Bersih Botol Mega Surya 250 ml

Operator (i)	Waktu (j)	Botol (k)	
		1	2
1	1	34.06	34.22
	2	35.89	35.99
	3	34.21	33.07
	4	34.26	34.20
	1	33.37	33.35
	2	33.68	32.64
	3	33.42	33.34
	4	33.80	33.61
	1	34.50	34.07
	2	33.43	33.96
	3	33.98	34.02
	4	33.73	32.98
	1	32.85	33.35
	2	34.40	33.95
	3	33.87	34.51
	4	34.21	34.64
	1	34.10	35.07
	2	33.81	33.34
	3	33.67	33.82
	4	33.95	34.04
	1	33.08	33.16
	2	32.70	33.26
	3	32.88	33.11
	4	32.12	32.50
	1	32.00	32.15
	2	32.32	32.52
	3	33.01	33.20
	4	32.50	32.92

2	1	33.52	33.43	
	2	33.78	32.69	
	3	34.01	32.98	
	4	32.32	32.57	
	1	33.26	32.51	
	2	33.51	33.46	
	3	32.62	33.30	
	4	32.40	32.45	
	1	32.62	32.61	
	2	33.34	33.45	
	3	33.25	33.24	
	4	32.11	32.14	
	3	1	34.45	34.04
		2	33.07	32.45
		3	33.65	33.80
		4	33.02	33.65
1		33.55	32.02	
2		33.74	32.43	
3		33.30	32.44	
4		32.65	33.48	
1		34.14	33.07	
2		34.06	32.48	
3		33.26	32.86	
4		34.67	34.55	
1		33.30	33.53	
2		33.04	32.80	
3		34.90	34.76	
4		34.67	34.55	
1	34.64	34.69		
2	34.41	34.99		
3	34.55	34.14		
4	34.14	34.02		

Lampiran 2. Berat Bersih Galon Aqua 19 liter

Operator (i)	Waktu (j)	Galon (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	770.00	752.00	748.00	755.00	754.00	764.00	761.00	746.00	736.00	769.00
	2	750.00	755.00	767.00	756.00	736.00	743.00	737.00	765.00	761.00	751.00
	3	750.00	743.00	748.00	771.00	748.00	764.00	741.00	746.00	772.00	762.00
	4	761.00	758.00	756.00	737.00	765.00	747.00	763.00	739.00	763.00	745.00
	5	745.00	760.00	762.00	734.00	742.00	757.00	747.00	751.00	748.00	753.00
	6	762.00	744.00	752.00	752.00	762.00	759.00	756.00	756.00	746.00	763.00
	7	760.00	767.00	751.00	759.00	751.00	746.00	767.00	756.00	751.00	756.00
	8	755.00	758.00	757.00	759.00	755.00	752.00	746.00	752.00	752.00	760.00
2	1	757.00	758.00	756.00	750.00	740.00	763.00	761.00	746.00	755.00	755.00
	2	748.00	758.00	764.00	746.00	755.00	764.00	750.00	745.00	749.00	774.00
	3	748.00	751.00	750.00	750.00	758.00	762.00	748.00	754.00	758.00	756.00
	4	751.00	755.00	766.00	741.00	758.00	739.00	750.00	748.00	754.00	743.00
	5	753.00	741.00	742.00	747.00	763.00	770.00	749.00	738.00	738.00	746.00
	6	760.00	762.00	760.00	753.00	758.00	755.00	751.00	755.00	745.00	761.00
	7	743.00	740.00	760.00	750.00	738.00	742.00	748.00	736.00	758.00	755.00
	8	756.00	737.00	742.00	742.00	753.00	756.00	757.00	755.00	755.00	763.00



3	1	749.00	748.00	751.00	750.00	758.00	735.00	756.00	757.00	744.00	749.00
	2	751.00	744.00	755.00	755.00	744.00	761.00	751.00	740.00	740.00	755.00
	3	768.00	766.00	743.00	744.00	759.00	757.00	745.00	759.00	748.00	753.00
	4	740.00	761.00	755.00	753.00	753.00	758.00	746.00	750.00	745.00	738.00
	5	764.00	766.00	742.00	742.00	755.00	770.00	772.00	750.00	756.00	771.00
	6	738.00	751.00	738.00	759.00	763.00	748.00	739.00	767.00	747.00	759.00
	7	760.00	735.00	756.00	751.00	764.00	758.00	754.00	756.00	756.00	762.00
	8	764.00	768.00	767.00	755.00	764.00	745.00	755.00	752.00	755.00	758.00



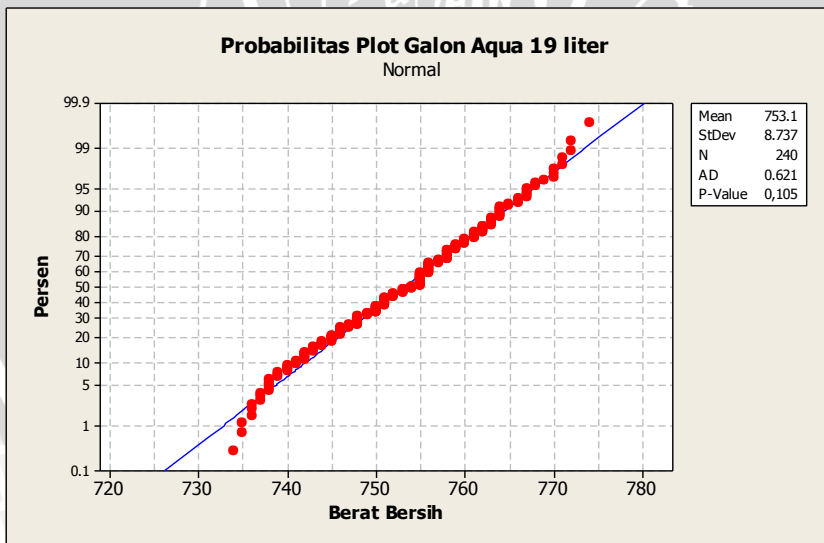
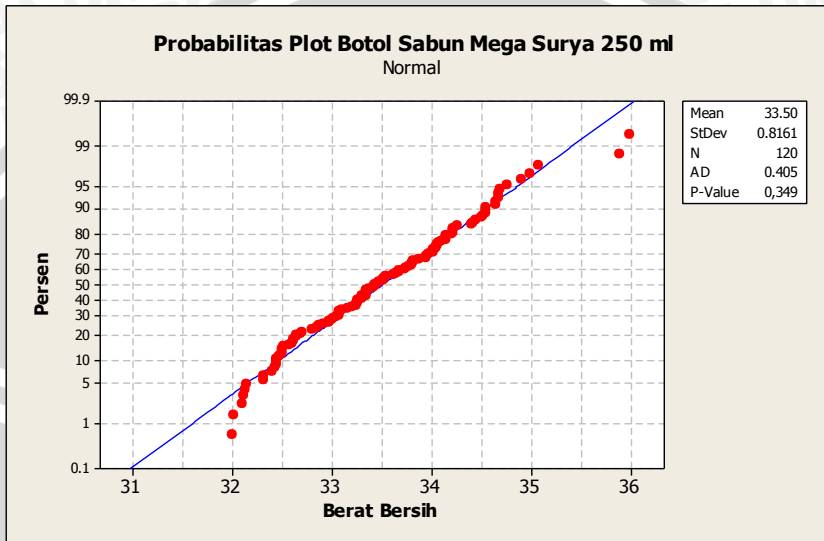
Lampiran 3. Berat Bersih Galon Club A 19 liter

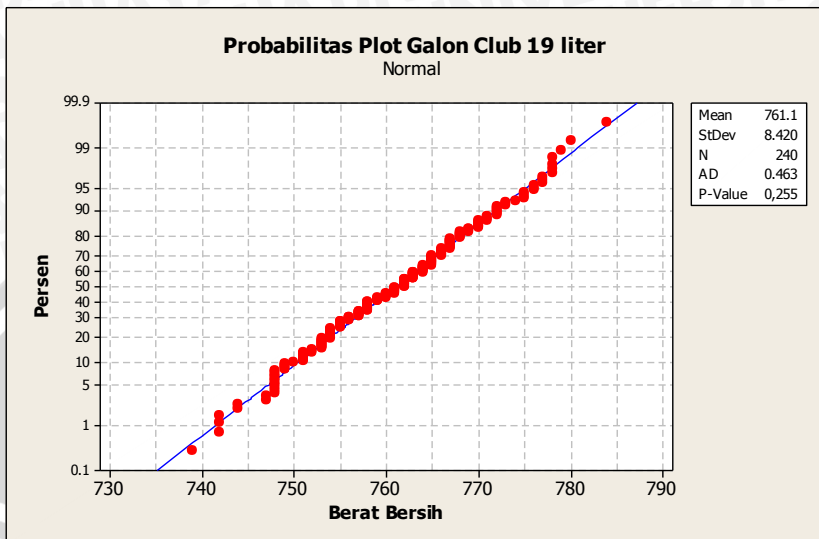
Operator (i)	Waktu (j)	Galon (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	766.00	764.00	758.00	760.00	764.00	755.00	763.00	762.00	747.00	751.00
	2	769.00	778.00	767.00	775.00	780.00	777.00	765.00	771.00	772.00	768.00
	3	770.00	784.00	778.00	777.00	778.00	779.00	775.00	772.00	767.00	763.00
	4	774.00	764.00	776.00	768.00	770.00	775.00	768.00	765.00	771.00	765.00
	1	759.00	761.00	772.00	765.00	764.00	760.00	773.00	771.00	768.00	762.00
	2	767.00	766.00	775.00	764.00	751.00	756.00	762.00	760.00	754.00	750.00
	3	778.00	776.00	770.00	773.00	767.00	766.00	777.00	769.00	765.00	772.00
	4	769.00	762.00	765.00	760.00	767.00	758.00	761.00	742.00	754.00	763.00
2	1	770.00	765.00	766.00	772.00	763.00	767.00	755.00	763.00	764.00	751.00
	2	753.00	765.00	753.00	761.00	755.00	748.00	759.00	766.00	759.00	749.00
	3	764.00	751.00	753.00	749.00	765.00	759.00	770.00	761.00	758.00	761.00
	4	759.00	748.00	751.00	761.00	753.00	742.00	739.00	767.00	752.00	744.00
	1	766.00	748.00	752.00	744.00	763.00	754.00	756.00	747.00	764.00	760.00
	2	754.00	762.00	748.00	761.00	766.00	763.00	770.00	765.00	749.00	755.00
	3	770.00	765.00	742.00	754.00	761.00	755.00	758.00	760.00	751.00	760.00
	4	758.00	757.00	763.00	749.00	754.00	762.00	759.00	753.00	763.00	765.00

3	1	766.00	756.00	758.00	762.00	762.00	748.00	755.00	753.00	767.00	765.00
	2	757.00	756.00	764.00	762.00	758.00	762.00	767.00	756.00	748.00	753.00
	3	763.00	763.00	768.00	757.00	762.00	754.00	753.00	758.00	753.00	761.00
	4	758.00	757.00	765.00	748.00	754.00	755.00	757.00	748.00	751.00	749.00
	1	769.00	764.00	765.00	754.00	755.00	758.00	758.00	753.00	762.00	757.00
	2	748.00	761.00	758.00	757.00	767.00	754.00	755.00	755.00	752.00	754.00
	3	773.00	767.00	768.00	772.00	776.00	762.00	758.00	757.00	757.00	748.00
	4	768.00	767.00	753.00	767.00	772.00	771.00	766.00	748.00	754.00	758.00



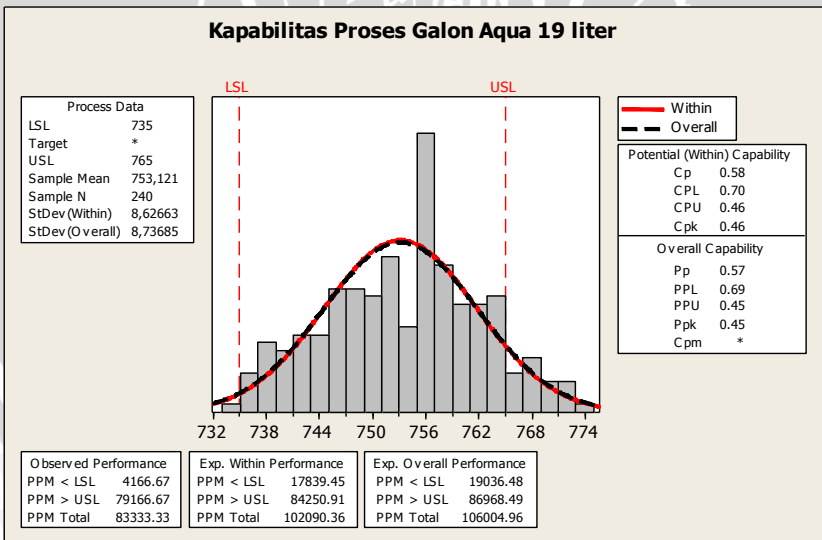
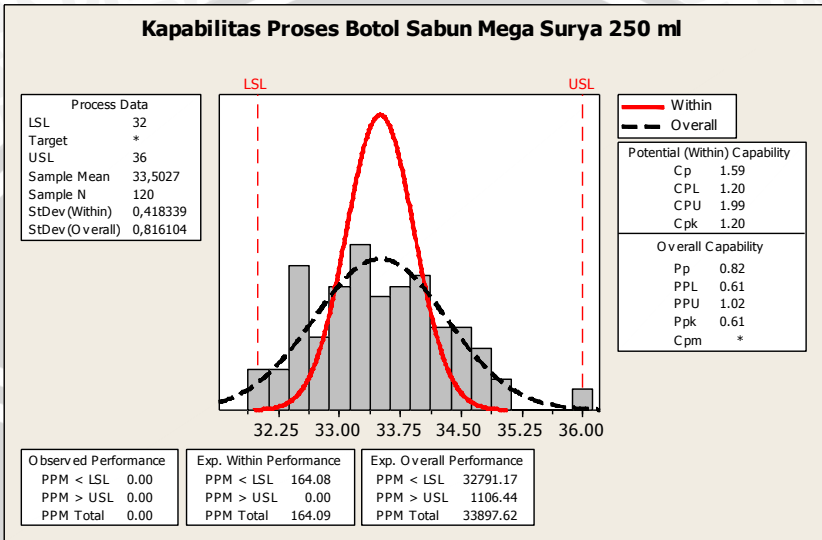
Lampiran 4. Gambar Kenormalan Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter





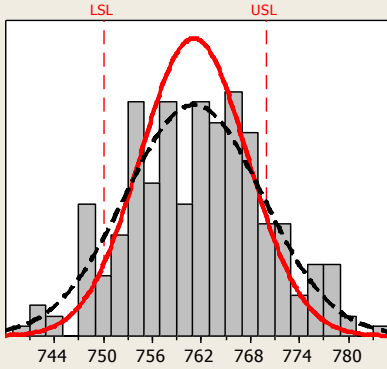


Lampiran 5. Gambar Analisis Kapabilitas Proses Berat Bersih Botol Sabun Mega Surya 250 ml, Galon Aqua 19 liter dan Galon Club A 19 liter



### Kapabilitas Proses Galon Club 19 liter

Process Data	
LSL	750
Target	*
USL	770
Sample Mean	761,121
Sample N	240
StDev (Within)	6,53979
StDev (Overall)	8,42031



Potential (Within) Capability	
Cp	0.51
CPL	0.57
CPU	0.45
Cpk	0.45
Overall Capability	
Pp	0.40
PPL	0.44
PPU	0.35
Ppk	0.35
Cpm	*

Observed Performance	
PPM < LSL	100000.00
PPM > USL	133333.33
PPM Total	233333.33

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	44519.49
PPM > USL	87277.02
PPM Total	131796.52

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	93298.19
PPM > USL	145828.46
PPM Total	239126.65