

Menguji Sistem Pengukuran menggunakan metode ANOVA *two way random effect model with replication*

Nandang Rusmana, MT

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jln. Ir. H. Juanda Komplek Kanayakan Dago, Tromol Pos 851, Bandung 40008 Indonesia

Phone: (022)2500241, Fax : (022)2502649, E-mail : nandangr@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Pengujian sistem pengukuran berguna untuk mengetahui kemampuan sistem pengukuran yang digunakan dalam suatu proses produksi. Sistem pengukuran dilakukan dengan cara mengukur komponen produk beberapa kali menggunakan sebuah alat ukur. Hasil pengukuran biasanya diolah menggunakan software statistik yang sudah ada, tanpa memberikan penjelasan tentang perhitungan dan kesimpulan dari hasil pengujian.

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan tahapan pengujian sistem pengukuran yang digunakan pada produk paralel pad menggunakan model standar gauge R&R. Model standar yang digunakan berupa model *two way random effect model with replication* berupa pengolahan data menggunakan data hasil pengukuran dimensi paralel pad. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur mikrometer digital dengan kecermatan 0,001 mm. Hasil penelitian menunjukkan langkah-langkah perhitungan untuk pengujian sistem pengukuran paralel pad menggunakan model *two way random effect model with replication*.

Kata Kunci : Gauge R&R, Sistem Pengukuran, *Two way random effect model with replication*

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Salah satu sistem pengukuran yang digunakan pada pembuatan komponen produk paralel pad adalah berupa pengukuran dimensi lebar dan tinggi menggunakan jangka sorong digital. Pengukuran dilakukan oleh beberapa operator yang berbeda. Pengukuran ini berguna untuk memastikan bahwa hasil dimensi paralel pad masih bisa memenuhi kualitas yang diminta.

Pengukuran yang dilakukan oleh beberapa orang operator dapat menghasilkan ukuran yang berbeda apabila tiap operator memiliki keterampilan yang berbeda dalam mengukur produk. Hal ini dapat berpengaruh pada kualitas produk akhir.

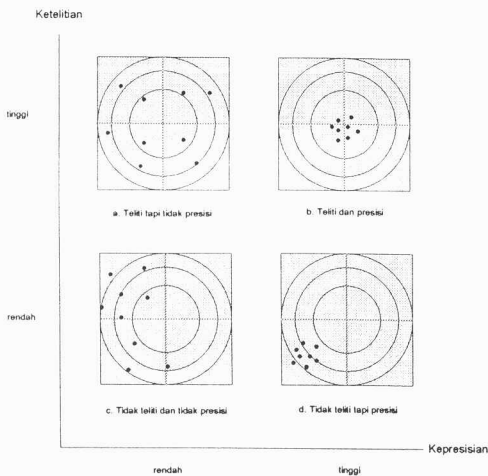
Pengujian sistem pengukuran menggunakan model standar ANOVA berguna untuk menilai kemampuan sistem pengukuran dan biasanya dilakukan menggunakan software statistik yang langsung memberikan hasil perhitungan tanpa menguraikan tahapan yang dilakukan. Disamping itu, perhitungan statistik hanya memberikan angka yang tidak menjelaskan maksud dari hasil perhitungan tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penyimpangan dalam Proses Pengukuran

Pada umumnya proses pengukuran melibatkan tiga komponen utama yaitu benda ukur, alat ukur dan operator (*appraiser*). Ketiga komponen ini memiliki keterbatasan yang dapat menyebabkan hasil pengukuran menjadi tidak pernah absolut. Pengukuran yang dilakukan secara berulang pada benda ukur yang sama menggunakan alat ukur dan operator yang sama dapat menghasilkan ukuran yang berbeda walaupun mungkin perbedaannya sangat kecil. Hal ini berkaitan dengan istilah kepresisian (*precision*) dan ketelitian (*accuracy*).

Montgomery (2009) mendefinisikan ketelitian sebagai kemampuan alat ukur untuk mengukur secara rata-rata nilai sebenarnya (*true value*) dengan benar, sedangkan kepresisian didefinisikan sebagai ukuran variabilitas yang melekat dalam sistem pengukuran. Konsep kepresisian dan ketelitian digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Konsep ketelitian dan kepresisian (Sumber: Montgomery, 2009, dengan sedikit modifikasi)

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa posisi target pada tengah lingkaran dianggap sebagai nilai sebenarnya dari karakteristik yang diukur, sedangkan beberapa titik yang tersebar di sekitar lingkaran merupakan hasil pengukurannya. Hasil pengukuran yang cenderung mengumpul pada daerah yang berdekatan dikatakan memiliki kepresisian yang tinggi dan hasil pengukuran yang secara rata-rata berada mendekati nilai sebenarnya dikatakan berketelitian tinggi.

Faktor-faktor yang menyebabkan penyimpangan dalam sistem pengukuran (Rochim dan Hardjoko, 1997) adalah sebagai berikut:

1. Penyimpangan yang bersumber dari alat ukur.

Alat ukur yang tidak terkalibrasi sangat memungkinkan untuk menghasilkan ukuran yang menyimpang. Penyimpangan alat ukur dapat disebabkan oleh perubahan yang terjadi pada alat ukur akibat pemakaian. Misalnya keausan bidang kontak sensor gerak pada mikrometer. Hal ini dapat menyebabkan hasil ukur jadi menyimpang sehingga dapat menurunkan kualitas produk yang dihasilkan.

2. Penyimpangan yang bersumber dari benda ukur.

Benda yang diukur dapat berkontribusi terhadap penyimpangan hasil ukur. Misalnya benda yang elastis akan mengalami perubahan bentuk saat alat ukur menekan permukaan sehingga akan terjadi kesalahan pada hasil ukur dan benda panjang yang berat akan melengkung saat ditumpu oleh dua dukungan sehingga pengukuran yang dilakukan tidak menghasilkan ukuran yang benar.

3. Penyimpangan yang bersumber dari posisi pengukuran.

Pengukuran dimensi panjang yang tidak mengikuti kaidah ABBE akan menghasilkan ukuran yang menyimpang. Prinsip pengukuran menurut ABBE adalah garis ukur harus disegariskan dengan garis

dimensi. Garis dimensi adalah garis yang menyatakan spesifikasi dimensi yang harus diukur, sedangkan garis ukur adalah garis yang terdapat pada alat ukur sebagai skala pengukuran. Untuk menghasilkan ukuran dengan ketelitian dan kepresisian yang lebih baik maka kedua garis tersebut harus berimpit pada saat pengukuran.

4. Penyimpangan yang bersumber dari lingkungan.

Lingkungan akan berpengaruh terhadap hasil ukur apabila kondisinya tidak terkendali. Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi hasil pengukuran adalah:

a. Kebersihan yang baik.

Debu atau kotoran yang menempel pada benda ukur akan mempengaruhi hasil pengukuran. Hal ini akan terlihat jelas apabila pengukuran yang dilakukan membutuhkan hasil yang sangat teliti, seperti pada pengukuran suaian.

b. Tingkat kebisingan yang rendah.

Getaran yang terjadi di sekitar tempat pengukuran akan menimbulkan kebisingan. Selain mengganggu konsentrasi pada saat pengukuran, getaran tersebut dapat menimbulkan ketidakpastian (*floating*) pada alat ukur.

c. Pencahayaan yang mencukupi.

Pencahayaan dibutuhkan oleh operator untuk menyetel benda ukur, alat ukur dan melihat hasil ukur. Pencahayaan yang kurang akan mengakibatkan kesalahan dalam pengambilan data hasil ukur.

d. Temperatur 25-27 °C, kelembaban 70-75 %.

Perubahan temperatur pada saat pengukuran akan menghasilkan ukuran yang berbeda. Hal ini akan terlihat jelas apabila pengukuran dilakukan terhadap benda ukur yang mempunyai koefisien muai yang besar seperti aluminium. Kelembaban akan berpengaruh terhadap tingkat korosi benda ukur. Material benda ukur dari logam akan mudah korosi apabila lingkungannya memiliki kelembaban yang tinggi. Dengan demikian temperatur dan kelembaban akan mempengaruhi hasil ukur.

5. Penyimpangan yang bersumber dari operator.

Operator yang berbeda akan cenderung menghasilkan ukuran yang berbeda pada saat mengukur benda yang sama. Hal ini disebabkan karena keterampilan yang dimiliki oleh tiap operator berbeda. Operator yang terlatih dan berpengalaman akan menghasilkan ukuran yang lebih dapat dipercaya. Untuk menghasilkan ukuran yang dapat dipercaya dibutuhkan keterampilan khusus yang ditunjang dengan teori pengukuran.

Studi Kapabilitas Sistem Pengukuran

Salah satu aktivitas dalam rangka peningkatan kualitas dilakukan melalui studi kapabilitas sistem pengukuran. Burdick, *et al.* (2003) dan Montgomery (2009) membahas tentang tujuan studi kapabilitas sistem pengukuran, yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan total variabilitas yang disebabkan oleh alat ukur.

2. Memisahkan variabilitas dalam beberapa komponen.
3. Menilai kapabilitas alat ukur.

Montgomery (2009) dan Kazerouni (2009) membahas beberapa aspek penting pada kapabilitas sistem pengukuran, yaitu meliputi:

1. *Repeatability*, yaitu variansi yang disebabkan oleh pengulangan pengukuran pada benda ukur yang sama menggunakan alat ukur yang sama.
2. *Reproducibility*, yaitu variansi yang disebabkan oleh operator yang berbeda mengukur benda ukur yang sama menggunakan alat ukur yang sama.
3. *Linearity*, yaitu perbedaan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya sepanjang rentang pengukuran tertentu.
4. *Bias*, yaitu perbedaan antara rata-rata hasil pengukuran dan nilai sebenarnya komponen yang diukur.
5. *Stability*, yaitu perbedaan tingkat variabilitas dalam sistem pengukuran pada suatu periode.

Dalam penjelasannya, Kazerouni (2009) mengelompokkan *linearity*, *bias* dan *stability* ke dalam ketelitian, yaitu aspek yang menunjukkan perbedaan antara nilai rata-rata hasil pengukuran dan nilai yang sebenarnya, sedangkan *repeatability* dan *reproducibility* dikelompokkan menjadi kepresisian, yaitu variansi yang muncul diakibatkan oleh pengukuran benda ukur yang sama menggunakan alat ukur yang sama. Studi kapabilitas sistem pengukuran mengenai kepresisian dikenal dengan istilah *Gauge Repeatability and Reproducibility (Gauge R&R)*.

Berbagai alat bantu yang digunakan dalam studi kapabilitas sistem pengukuran dirangkum dalam suatu analisis sistem pengukuran. Kazerouni (2009) mendefinisikan analisis sistem pengukuran (*Measurement System Analysis, MSA*) sebagai sekumpulan alat bantu dalam pengukuran, penerimaan (*acceptance*), dan analisis data yang terdiri dari topik seperti SPC, analisis kapabilitas dan *Gauge R&R* yang bertujuan untuk memahami pengukuran produk dengan cara menggunakan alat ukur ataupun inspeksi secara visual.

III. PENGUMPULAN DATA DAN KERANGKA PENYELESAIAN

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil sepuluh buah benda produksi berupa paralel pad yang diukur oleh tiga orang operator yang dipilih secara acak.

Setiap operator mengukur paralel pad menggunakan mikrometer digital dengan kecermatan 0,001 mm sebanyak sepuluh buah yang masing-masing

diukur sebanyak tiga kali. Hasil pengukuran dicatat untuk digunakan sebagai data pada pengujian sistem pengukuran.

Model Standar Studi Gauge R&R

Model statistik yang umum digunakan dalam menguji sistem pengukuran adalah menggunakan persamaan *random effects model analysis of variance (ANOVA)* (Burdick, Park, dan Montgomery, 2005; Hoffa dan Laux (2007); dan Montgomery, 2009) yang dikenal sebagai model standar untuk percobaan *Gauge R&R* yaitu Persamaan 3.1.

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + O_j + (PO)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.1)$$

dimana:

Y_{ijk}	= Hasil ukur komponen produk i yang dilakukan oleh operator j pada pengukuran yang ke- k
μ	= Konstanta yang merupakan rata-rata keseluruhan dari hasil pengukuran komponen produk
P_i	= Pengaruh dari komponen produk (part) yang ke- i , $i = 1, 2, \dots, I$
O_j	= Pengaruh dari operator (<i>appraiser</i>) yang ke- j , $j = 1, 2, \dots, J$
$(PO)_{ij}$	= Interaksi komponen produk i dan operator j
ε_{ijk}	= Pengaruh random error untuk komponen produk i yang dilakukan operator j pada pengukuran yang ke- k , $k = 1, 2, \dots, K$

Persamaan 3.1 tersebut memodelkan Y_{ijk} sebagai obyek yang diobservasi, dalam hal ini berupa hasil ukur komponen produk, μ adalah konstanta yang menyatakan rata-rata komponen produk, sedangkan variabel lainnya berupa variabel acak yang terdiri dari P_i mewakili pengaruh (*effect*) komponen produk, O_j mewakili pengaruh operator, $(PO)_{ij}$ mewakili interaksi (*joint effects*) antara komponen produk dan operator sedangkan ε_{ijk} merupakan variabel acak yang mewakili random error. Variabel acak tersebut diasumsikan berdistribusi normal dengan rata-rata = 0, dan memiliki variansi yang dikenal sebagai *variance components* yaitu:

$$\begin{aligned} V(P_i) &= \sigma_p^2 \text{ (mewakili variansi komponen produk)} \\ V(O_j) &= \sigma_o^2 \text{ (mewakili variansi operator)} \\ V[(PO)_{ij}] &= \sigma_{po}^2 \text{ (mewakili variansi interaksi} \\ &\text{komponen produk dan operator)} \\ V(\varepsilon_{ijk}) &= \sigma^2 \text{ (mewakili variansi error)} \end{aligned}$$

Sehingga variansi total menjadi Persamaan 3.2.

$$V(Y_{ijk}) = \sigma_{Total} = \sigma_p^2 + \sigma_o^2 + \sigma_{po}^2 + \sigma^2 \quad (3.2)$$

Penilaian Kapabilitas Alat Ukur

Menilai kapabilitas alat ukur bermanfaat untuk menentukan kesesuaian sistem pengukuran tersebut terhadap aplikasi yang dijelankannya. Beberapa acuan dalam menilai kapabilitas alat ukur telah diusulkan untuk menentukan sistem pengukuran yang dapat diterima.

AIAG pada tahun 2002 juga merekomendasikan *number of distinct categories (ndc)* yang dikenal dengan *classification ratio* (Wheeler dan Lyday, 1989, dalam Hoffa dan Laux, 2007) sebagai berikut:

$$ndc = \sqrt{2} \frac{\sigma_{part}}{\sigma_{gauge}} \quad (3.3)$$

Minitab menggunakan metoda pembulatan ke bawah (*truncation*) dalam menghitung nilai *ndc* tersebut dengan panduan sebagai berikut (sumber <http://www.minitab.com/support/answers/answer.aspx?ID=2393>):

- ≥ 14 *distinct categories*, yaitu sistem pengukuran dapat diterima.
- 4-13 *distinct categories*, yaitu sistem pengukuran dapat diterima tergantung pada faktor-faktor seperti kepentingan aplikasi, harga alat ukur, biaya perbaikan dan yang lainnya.
- ≤ 3 *distinct categories*, yaitu sistem pengukuran tidak dapat diterima dan harus dilakukan perbaikan.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Data hasil pengukuran paralel pad dikumpulkan dan dibuatkan dalam sebuah format *spread sheet*. Data tersebut kemudian diolah menjadi data deviasi dari nilai nominal dalam satuan mikrometer. Hasilnya terlihat pada Tabel 4.1. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam perhitungan.

Perhitungan dimulai dengan menghitung *sum of square part* yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SS_p = \sum_{i=1}^I \frac{(Y_{i..})^2}{JK} - \frac{Y_{...}^2}{N} \quad (4.1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{10} \frac{(Y_{i..})^2}{JK} &= \frac{(Y_{1..})^2 + (Y_{2..})^2 + \dots + (Y_{9..})^2 + (Y_{10..})^2}{JK} \\ &= \frac{(139)^2 + (122)^2 + \dots + (51)^2 + (80)^2}{3(3)} \\ &= \frac{137604}{9} = 15.289,33 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran

Part	Operator								
	A			B			C		
	Tes 1	Tes 2	Tes 3	Tes 1	Tes 2	Tes 3	Tes 1	Tes 2	Tes 3
1	13	13	13	18	17	19	17	15	14
2	12	11	9	12	14	13	17	17	17
3	18	17	14	17	18	18	20	16	16
4	13	11	12	13	14	15	17	13	15
5	12	12	10	13	14	13	18	17	14
6	17	17	14	18	17	17	15	15	16
7	13	12	12	13	14	15	13	13	13
8	6	7	6	11	11	9	8	7	7
9	2	3	2	5	7	4	5	11	12
10	8	8	8	10	12	9	9	8	8

Sedangkan:

$$\begin{aligned} \frac{Y_{...}^2}{N} &= \frac{(Y_{111} + Y_{211} + \dots + Y_{933} + Y_{1033})^2}{N} \\ &= \frac{(13 + 12 + \dots + 12 + 8)^2}{90} \\ &= \frac{(1.128,00)^2}{90} = 14.137,60 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$SS_p = 15.289,33 - 14.137,60 = 1.151,73$$

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung *sum of square operator* yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SS_o = \sum_{j=1}^J \frac{(Y_{.j.})^2}{IK} - \frac{Y_{...}^2}{N} \quad (4.2)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^3 \frac{(Y_{.j.})^2}{IK} &= \frac{(Y_{.1.})^2 + (Y_{.2.})^2 + (Y_{.3.})^2}{IK} \\ &= \frac{(325)^2 + (400)^2 + (403)^2}{10(3)} \\ &= \frac{428034}{30} = 14.267,8 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$SS_o = 14.267,8 - 14.137,60 = 130,20$$

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung *sum of square interaksi part* dan operator, yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SS_{PO} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(Y_{ij.})^2}{K} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SS_P - SS_O \quad (4.3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{(Y_{ij.})^2}{K} \\ &= \frac{(Y_{11.})^2 + (Y_{21.})^2 + \dots + (Y_{93.})^2 + (Y_{103.})^2}{K} \\ &= \frac{(39)^2 + (32)^2 + \dots + (28)^2 + (25)^2}{3} \\ &= \frac{46.690}{3} = 15.563,33 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$SS_{PO} = 15.563,33 - 14.137,60 - 1.151,73 - 130,20 = 143,80$$

Perhitungan dilanjutkan dengan menghitung *sum of square* total yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SS_{Total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (Y_{ijk})^2 - \frac{Y_{...}^2}{N} \quad (4.4)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 (Y_{ijk})^2 = (Y_{111})^2 + (Y_{112})^2 + \dots + (Y_{1032})^2 \\ & \quad + (Y_{1033})^2 \\ &= (13)^2 + (12)^2 + \dots + (12)^2 + (8)^2 = 15.674 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$SS_{Total} = 15.674 - 14.137,60 = 1.536,40$$

Maka:

$$\begin{aligned} SS_E &= SS_{Total} - SS_P - SS_O - SS_{PO} \\ &= 1.536,40 - 1.151,73 - 130,20 - 143,80 \\ &= 110,67 \end{aligned}$$

Hasil *Sum of Square* di atas digunakan untuk menghitung *Mean Square (MS)* sebagai berikut:

$$MS_P = \frac{SS_P}{I-1} = \frac{1.151,73}{10-1} = 127,970 \quad (4.5)$$

$$MS_O = \frac{SS_O}{J-1} = \frac{130,20}{3-1} = 65,100 \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} MS_{PO} &= \frac{SS_{PO}}{(I-1)(J-1)} = \frac{143,80}{(10-1)(3-1)} \\ &= 7,989 \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{J(K-1)} = \frac{110,67}{3(10)(3-1)} = 1,844 \quad (4.8)$$

Expectation nilai *Mean Square* digunakan untuk menaksir variansi masing-masing komponen, yaitu sebagai berikut (Montgomery, 2009):

- Variansi error:

$$\hat{\sigma}^2 = MS_E = 1,844 \quad (4.9)$$
- Variansi gabungan interaksi komponen produk dan operator:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{PO}^2 &= \frac{MS_{PO} - MS_E}{K} = \frac{7,989 - 1,844}{3} \\ &= 2,0481 \end{aligned} \quad (4.10)$$
- Variansi operator:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_O^2 &= \frac{MS_O - MS_{PO}}{IK} = \frac{65,100 - 7,989}{10(3)} \\ &= 1,9037 \end{aligned} \quad (4.11)$$
- Variansi komponen produk:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_P^2 &= \frac{MS_P - MS_{PO}}{JK} = \frac{127,970 - 7,989}{3(3)} \\ &= 13,3313 \end{aligned} \quad (4.12)$$

Analisis Sistem Pengukuran dihitung dengan menggunakan nilai *ndc* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} ndc &= \sqrt{2} \frac{\sigma_{Part}}{\sigma_{Gauge}} = \sqrt{2} \frac{\sqrt{13,3313}}{\sqrt{1,9037 + 2,0481 + 1,844}} \\ &\approx 2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Menurut standar AIAG (2002, dalam Hoffa, 2007) unjuk kerja sistem pengukuran dengan nilai *ndc* dibawah 2 menyatakan sistem pengukuran yang tidak dapat diterima.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian Sistem Pengukuran menggunakan metode ANOVA *two way random effect model with replication* dapat disimpulkan beberapa hal:

- Pengujian sistem pengukuran menggunakan model standar tidak memenuhi kriteria sistem pengukuran yang dapat diterima.
- Sistem pengukuran memerlukan perbaikan agar memenuhi standar yang ada.
- Penggunaan metode ANOVA *two way random effect model with replication* dapat dihitung secara manual tanpa software statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Burdick, R. K., C. M. Borrer, dan D. C. Montgomery (2003) : A review of methods for measurement systems capability analysis, *Journal of Quality Technology*, 35
- Burdick, R. K., Y. J. Park, D. C. Montgomery, dan C. M. Borrer (2005) : Confidence Intervals for Misclassification Rates in a Gauge R&R Study, *Journal of Quality Technology*, 37

3. Chang, T. C. (2008) : Simultaneous Monitoring of Bias, Linearity, and Precision of Multiple Measurement Gauges, *Journal of Quality Technology*, 40
4. Hoffa, D. W., dan C. Laux (2007) : Gauge R&R: An Effective Methodology for Determining the Adequacy of a New Measurement System for Micron-level Metrology, *Journal of Industrial Technology*, 23
5. Kazerouni, A. M. (2009) : Design and Analysis of Gauge R&R Studies: Making Decisions Based on ANOVA Method, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 52
6. Minitab Inc. (2010) : Number of Distinct Categories and %Study, Diunduh dari <http://www.minitab.com/support/answers/answer.aspx?ID=2393> pada tanggal 10 Mei 2011
7. Mitutoyo Corp. (2002) : MeasureLink SPC Software for Windows (User's Guide Version 5.0): Gage Repeatability and Reproducibility, Mitutoyo Corp.
8. Montgomery, D. C. (2009) : Introduction to Statistical Quality Control, 6, John Wiley & Sons
9. Sower, V. E., J. G. Motwani, dan M. J. Savoie (1994) : δ Charts for Short Run Statistical Process Control, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 11