

OPTIMALISASI PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN METODE PERANCANGAN TOLERANSI TAGUCHI

Patricia Wahyu Haumahu¹, Triastuti Wuryandari²

¹Alumni Program Studi Statistika FMIPA UNDIP

² Staf Pengajar Program Studi Statistika FMIPA UNDIP

Abstrak

Metode Taguchi adalah usaha peningkatan kualitas yang dikenal sebagai metode *off-line quality control*. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan produk yang lebih tangguh (*robust*) sehingga sering disebut sebagai metode *Robust Design*. Metode Taguchi berupaya mengoptimalkan desain produk dan proses sehingga performansi akhir akan sesuai dengan target dan mempunyai nilai variabilitas yang minimum. Terdapat dua tahapan utama metode Taguchi, yaitu metode perancangan parameter dan perancangan toleransi. Perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas dengan cara memperketat toleransi nilai target/optimum faktor terkontrol sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi. Alat analisis yang digunakan adalah ANOVA dan *Quality Loss Function* atau fungsi kerugian kualitas yang diusulkan oleh Taguchi. ANOVA digunakan untuk mengetahui faktor mana yang berkontribusi pada variabilitas total beserta besar kontribusinya. Fungsi kerugian kualitas bermanfaat untuk membantu peneliti mengetahui besar kerugian dan menentukan pertukaran yang seimbang antara kualitas dengan biaya yang dikeluarkan manufaktur sehingga metode perancangan toleransi menjadi lebih ekonomis. Dalam percobaannya, rancangan yang digunakan adalah *orthogonal array* Taguchi untuk mengurangi *run* sehingga menghemat waktu dan ongkos percobaan.

Kata Kunci: Metode Taguchi, *robust design*, perancangan toleransi, fungsi kerugian kualitas, ANOVA, *orthogonal array*

1. Pendahuluan

Perusahaan yang menghasilkan produk dan jasa yang lebih berkualitas memiliki peluang yang lebih besar untuk memenangkan persaingan sekaligus meraih keuntungan maksimal. Hal inilah yang kemudian mendorong produsen dalam bidang manufaktur dan jasa untuk memperhatikan masalah kualitas produknya (Montgomery, 2001). Peningkatan atau

perbaikan kualitas dapat dicapai salah satunya dengan pengendalian kualitas yang tepat. Terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan dalam pengendalian kualitas, yaitu *On-line Quality Control* dan *Off-line Quality Control*. Salah satu metode pengendalian kualitas secara *Off-line Quality Control* adalah metode yang diusulkan oleh Dr. Genichi Taguchi, yang dikenal sebagai Metode Taguchi.

Terdapat dua tahapan utama metode Taguchi, yaitu metode perancangan parameter dan perancangan toleransi (Besterfield, 2003). Pada umumnya, aplikasi metode Taguchi hanya dilakukan sampai pada tahap perancangan parameter. Hal ini dikarenakan pengaturan toleransi komponen pada tahap perancangan toleransi akan mengarah pada peningkatan biaya manufaktur (Ross, 1996). Akan tetapi, di lain pihak pengoptimalan dengan metode perancangan toleransi juga dapat meningkatkan kualitas produk sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.

Perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas dengan cara memperketat toleransi nilai target/optimum faktor terkontrol sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi. Metode ini sebaiknya hanya digunakan apabila hasil rancangan dari metode perancangan parameter terbukti tidak cukup dalam mengurangi keragaman atau peneliti ingin meningkatkan kualitas hasil rancangan parameter (Ross, 1996).

Alat analisis yang digunakan dalam metode ini adalah ANOVA dan *Quality Loss Function* atau fungsi kerugian kualitas yang diusulkan oleh Taguchi. Fungsi kerugian kualitas bermanfaat untuk membantu peneliti mengetahui besar kerugian dan menentukan pertukaran yang seimbang antara kualitas dengan biaya yang dikeluarkan manufaktur sehingga metode perancangan toleransi menjadi lebih ekonomis. Dalam percobaannya, rancangan yang digunakan adalah *orthogonal array* Taguchi untuk mengurangi *run* sehingga menghemat waktu dan ongkos percobaan.

2. Deskripsi Teoritis

2.1. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan usaha peningkatan kualitas secara *off-line* yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses (Bagchi, 1993). Sasaran metode tersebut adalah menjadikan produk tidak sensitif terhadap variabel gangguan (*noise*), sehingga disebut sebagai *robust design*. Metode ini digunakan dalam perancangan dan peningkatan kualitas dengan cara rancangan percobaan untuk menemukan penyebab utama yang sangat dominan mempengaruhi karakteristik kualitas dalam proses, sehingga variabilitas karakteristik kualitas dapat dikendalikan. Dengan metode ini, diperoleh kombinasi terbaik antara unit produk dan unit proses pada tingkat keseragaman data yang tinggi untuk mencapai karakteristik kualitas terbaik dengan biaya yang rendah.

2.2. Orthogonal Array (OA) Taguchi

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, di mana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh (Ross, 1996). Keuntungan OA adalah kemampuannya untuk mengevaluasi berapa faktor dengan jumlah tes yang minimum.

OA telah menyediakan berbagai kombinasi matriks OA untuk pengujian faktor dengan 2 dan 3 level dengan kemungkinan untuk pengujian *multiple level*. Pada OA, untuk level rendah dinotasikan dengan tanda “-“ dan untuk level tinggi dengan tanda “+”. Contoh dari OA L_8 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Orthogonal Array* Taguchi L_8

Run	Kolom							Σ
	1	2	3	4	5	6	7	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-7
2	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
3	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
4	-1	1	1	1	1	-1	-1	1
5	1	-1	1	-1	1	-1	1	1
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
7	1	1	-1	-1	1	1	-1	1
8	1	1	-1	1	-1	-1	1	1
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0

3. Pembahasan

3.1. Metode Perancangan Toleransi Taguchi

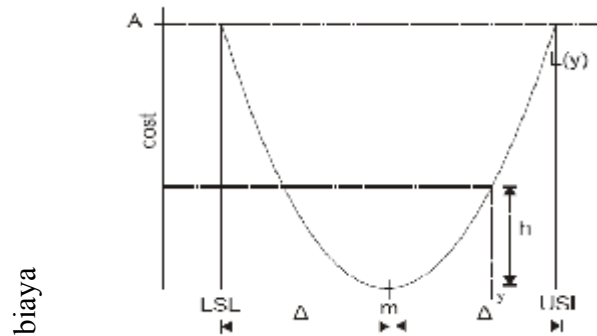
Perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas dengan cara memperketat toleransi nilai target/optimum faktor terkontrol sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi (Ross, 1996). Pada umumnya metode ini diterapkan dalam industri produk rakitan (*assembly*) (Stamatis, 2002). Dalam sebuah produk rakitan, karakteristik performansi dari komponen-komponen penyusunnya berpengaruh terhadap karakteristik dari performansi produk itu sendiri. Komponen-komponen penyusun tersebut menjadi faktor yang berpengaruh terhadap performansi dari produk secara keseluruhan. Karena melalui proses manufaktur, nilai optimum yang ditargetkan untuk masing-masing komponen agar performansi produk maksimal akan menyimpang. Akibatnya, perusahaan menetapkan batas spesifikasi yang masih dapat ditoleransi untuk masing-masing komponen tersebut. Toleransi inilah yang akan dilakukan pengaturannya dalam tahap perancangan toleransi, sehingga tercapai rancangan produk yang paling optimal dengan tingkat keragaman yang sesuai dengan harapan peneliti.

Pendekatan utama yang digunakan dalam analisis pada perancangan toleransi adalah fungsi kerugian kualitas Taguchi yang berfungsi untuk memperoleh pertukaran yang seimbang antara kualitas dan biaya, dan ANOVA untuk menentukan faktor mana yang signifikan serta untuk mengetahui besar kontribusi setiap faktor pada variabilitas total.

3.2 Fungsi Kerugian Kualitas Taguchi

Dr. Genichi Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan. Kualitas diukur dari penyimpangan karakteristik proses atau produk dari nilai targetnya. Apabila sebuah proses atau produk menghasilkan performa yang menyimpang dari target, maka akan terjadi kerugian semisal berupa ketidaknyamanan, kerugian material, perhentian produksi, perbaikan, biaya penyesuaian, atau perombakan total dari produk tersebut. Untuk mengukur besar kerugian tersebut maka digunakan kurva kuadratik yang dikenal dengan nama *Quality Loss Function* atau fungsi

kerugian kualitas Taguchi (Bagchi, 1993). Gambar 1 adalah gambar dari kurva kuadratik fungsi kerugian Taguchi.



Gambar 1. Fungsi Kerugian Kualitas Taguchi

Fungsi kerugian, ketika karakteristik kualitas adalah y dinotasikan sebagai $L(y)$, diperoleh dengan rumus berikut:

$$L(y) = k(y - m)^2, LSL \leq y \leq USL \quad (1)$$

dengan k adalah suatu konstanta.

Sedangkan nilai harapan fungsi kerugiannya adalah:

$$E[L(y)] = k \int_{LSL}^{USL} (y - m)^2 f(y) dy = \mu_L \quad (2)$$

Adapun estimasi dari nilai harapan persamaan (3.2) adalah:

$$\overline{L(y)} = k(MSD), \text{ dengan } MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \quad (3)$$

Besar rata-rata kerugian suatu sampel/kelompok adalah:

$$\overline{L(y)} = k \left[S^2 + (\bar{y} - m)^2 \right], \quad k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (4)$$

dengan:

$L(y)$: kerugian

$\overline{L(y)}$: rata-rata kerugian

S^2 : variansi Y dari sampel disekitar \bar{y}

\bar{y} : rata-rata dari nilai y pada suatu kelompok

$(\bar{y} - m)$: besar deviasi nilai rata-rata kelompok dari nilai target m

MSD : *Mean Squared Deviation*

Δ : jarak toleransi maksimal dari m

A : biaya kerugian maksimum yang disebabkan oleh produk yang gagal

3.3. Contoh Penerapan Metode Perancangan Toleransi Taguchi dengan Data Hasil

Percobaan 2 Taraf

Sebuah tim desain ingin melakukan peningkatan kualitas produk dengan mengoptimalkan rancangan yang sebelumnya telah diperoleh melalui perancangan parameter. Rancangan tersebut adalah rancangan sebuah produk, yaitu *control circuit*, yang merupakan rangkaian sambungan 12 jenis komponen listrik. Komponen tersebut dianggap sebagai faktor yang berpengaruh terhadap performansi dari *control circuit*.

Untuk meningkatkan kualitas dari *control circuit*, maka keragaman dari performansi yang dihasilkan *control circuit* perlu dikurangi. Pengurangan keragaman performansi produk berarti akan mengurangi rata-rata biaya kerugian yang diberikan oleh produk. Pengurangan tersebut dapat dicapai dengan perancangan toleransi faktor-faktor yang memiliki pengaruh

signifikan terhadap performansi *control circuit*. Untuk mengetahui faktor mana saja yang berpengaruh secara signifikan, dilakukan percobaan dimana rancangan yang digunakan adalah rancangan percobaan dua taraf. Taraf ditentukan dengan membuat rentang $\pm\sigma$ di sekitar nilai target optimum masing-masing faktor.

Tabel 2 menunjukkan komponen *control circuit* dengan nilai nominal yang ditargetkan oleh peneliti agar performansi produk optimum, taraf rancangan percobaan dua taraf, serta estimasi standar deviasi performansi dari setiap faktor yang masih dapat ditoleransi.

Tabel 2. Komponen *Control Circuit* dalam Percobaan

No	Faktor	Satuan	Target / Nominal	Standar Deviasi	Taraf 1 (m - σ)	Taraf 2 (m + σ)
1	Resistor A	K ilohms	2.2	0.11	2.09	2.31
2	Resistor B	K ilohms	0.470	0.0235	0.4465	0.4935
3	Kapasitor C	Mikrofarads	0.68	0.034	0.646	0.714
4	Resistor D	K ilohms	100	5	95	105
5	Kapasitor E	Mikrofarads	10	2	8	12
6	Transistor F	Hfe	180	21.6	158.4	201.6
7	Resistor G	K ilohms	10	0.5	9.5	10.5
8	Resistor H	K ilohms	1.5	0.07	1.43	1.57
9	Resistor I	K ilohms	10	0.5	9.5	10.5
10	Resistor J	K ilohms	10	0.5	9.5	10.5
11	Transistor K	Hfe	180	21.6	158.4	201.6
12	Voltase L	Volts	6.5	0.3	6.2	6.8

Percobaan dilakukan dengan 1 kali perulangan menggunakan *Orthogonal Array* (OA) L₁₆. Hasilnya terdapat di Tabel 3.

Dalam penelitian ini, tim desain menargetkan karakteristik performansi dari *control circuit* sebesar 570 putaran, dengan batas toleransi fungsional adalah sebesar ± 150 putaran. Diperkirakan biaya kerugian yang akan dikeluarkan apabila terjadi penyimpangan dari target adalah sebesar \$ 100. Oleh karena itu nilai konstanta k adalah sebesar :

$$k = \frac{A}{\Delta^2} = \frac{\$ 100}{(150)^2} = 0.004444$$

Estimasi nilai rata-rata biaya kerugian yang diberikan pada sampel hasil percobaan adalah:

$$\bar{L} = k [S^2 + (\bar{y} - m)^2] = 0.004444 [S^2 + (\bar{y} - 570)^2]$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} (523 + 430 + \dots + 668) = \frac{9125}{16} = 570.3125$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right] = \frac{1}{16} \left[(523 - 570.3125)^2 + (430 - 570.3125)^2 + \dots + (668 - 570.3125)^2 \right] = 6585.09$$

$$\text{ga } \bar{L} = 0.004444 \left[S^2 + (\bar{y} - 570)^2 \right] = 0.004444 \left[6585.09 + (570.3125 - 570)^2 \right] = \$29.26$$

Tabel 3. Orthogonal Array L16

Run	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	e ₁	e ₂	e ₃	Jumlah Putaran
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	523
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	430
3	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	674
4	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	572
5	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	609
6	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	534
7	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	578
8	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	527
9	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	605
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	707
11	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	541
12	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	669
13	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	430
14	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	480
15	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	578
16	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	668

Tabel ANOVA hasil percobaan setelah dilakukan proses *pooling-up* (penggabungan jumlah kuadrat yang terkecil) adalah sebagai berikut:

Tabel 4. ANOVA Hasil Percobaan

Sumber	Df	SS	MS	F	P value
A	1	3335.06	3335.06	24.89	0.002*
B	1	6280.63	6280.63	46.87	0.000*
C	1	10764.06	10764.06	80.32	0.000*
D	1	14945.06	14945.06	111.52	0.000*
F	1	715.56	715.56	5.34	0.054**
G	1	36960.06	36960.06	275.81	0.000*
I	1	29842.56	29842.56	222.69	0.000*
K	1	1580.06	1580.06	11.79	0.011*
error(pooled)	7	938.06	134.01		
Total	15	105361.40	105361.40	105361.40	

*Signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

**Tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95 %

Dengan membandingkan nilai F tiap faktor dengan nilai F_{tabel} maka terlihat bahwa nilai F_{hitung} untuk faktor A, B, C, D, G, I, K $> F_{tabel}$, dimana $F_{tabel}=F_{0.05;1;7}=5.59$ dengan $\alpha=5\%$. Faktor F tidak signifikan pada $\alpha=5\%$ karena $F_{hitung} = 5.34 < F_{tabel} = 5.59$. Oleh karena itu diperoleh kesimpulan bahwa faktor-faktor yang signifikan berpengaruh terhadap banyaknya jumlah putaran yang dihasilkan oleh *control circuit* pada tingkat kepercayaan 95 % adalah faktor A, B, C, D, G, I, dan faktor K.

Setelah menguji signifikansi setiap faktor, selanjutnya adalah menghitung persentase kontribusi masing-masing faktor. Persentase kontribusi bermanfaat untuk menghitung nilai keragaman (MSD) dan besar kerugian yang disumbangkan oleh masing-masing faktor. MSD_{Total} diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$MSD_T = S^2 + (\bar{y} - m)^2 = 6585.09 + (570.3125 - 570)^2 = 6585.188$$

Besarnya nilai MSD masing-masing faktor diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$MSD_{faktor} = MSD_T P_{faktor} \quad (5)$$

Sedangkan besar kerugian yang disumbangkan masing-masing faktor adalah:

$$L_{faktor} = k(MSD_{faktor}) \quad (6)$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Persen Kontribusi, MSD_{faktor}, dan L_{faktor}

Sumber	Df	SS	MS	F	SS'	%	MSD _{faktor}	L _{faktor} (\$)
A	1	3335.06	3335.06	24.89	3201.06	3.04	200.07	0.89
B	1	6280.63	6280.63	46.87	6146.62	5.83	384.17	1.71
C	1	10764.06	10764.06	80.32	10630.05	10.09	664.39	2.95
D	1	14945.06	14945.06	111.52	14811.05	14.06	925.70	4.11
F	1	715.56	715.56	5.34**	581.55	0.55	36.35	0.16
G	1	36960.06	36960.06	275.81	36826.05	34.95	2301.66	10.23
I	1	29842.56	29842.56	222.69	29708.55	28.20	1856.81	8.25
K	1	1580.06	1580.06	11.79	1446.06	1.37	90.38	0.40
Error	7	938.06	134.01		2010.40	1.91	125.65	0.56
Total		105361.4	105,361	105361.4	105361.4		6,585.19	29.26

**Tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95 %

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai MSD, kerugian, dan pertambahan kualitas (Q_{gain}) apabila rentang toleransi diperkecil. Dalam hal ini, faktor F dihilangkan mengingat faktor tersebut tidak signifikan. Q_{gain} dihitung dengan cara menghitung selisih nilai kerugian lama dengan nilai kerugian baru. Nilai MSD apabila rentang toleransi diperkecil adalah sebagai berikut:

$$MSD'_{faktor} = \frac{MSD_{faktor}}{\Delta^2} \quad (7)$$

dimana $\Delta = \frac{T_{faktor}}{T'_{faktor}}$ (8)

T_{faktor} adalah rentang toleransi yang saat ini digunakan oleh faktor (%)

T'_{faktor} adalah rentang toleransi yang lebih kecil untuk diterapkan pada faktor (%)

Sedangkan nilai kerugian apabila rentang toleransi diperkecil adalah:

$$L'_{faktor} = k(MSD'_{faktor}) \quad (9)$$

Nilai pertambahan kualitas (Q_{gain}) diperoleh dengan menghitung selisih kerugian faktor sebelum diperketat (L_{faktor}) dengan nilai kerugian setelah rentang toleransi diperkecil L'_{faktor} .

Setelah menghitung nilai Q_{gain} , maka langkah terakhir adalah mencari selisih nilai tersebut dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk memperkecil toleransi sehingga diperoleh nilai keuntungan bersih (Net_{gain}). Apabila nilai keuntungan bersih positif, atau dengan kata lain biaya pengetatan lebih kecil daripada kualitas yang akan didapatkan, maka diputuskan untuk melakukan pengetatan toleransi pada faktor tersebut.

Tabel 6. Nilai MSD , Kerugian, Pertambahan Kualitas, Keuntungan Bersih Apabila Toleransi Diperketat dan Keputusan Pengetatan Toleransi

Sumber	Toleransi Lama (%)	Toleransi Baru (%)	MSD	$L' (\$)$	$Q_{gain} (\$)$	$Biaya (\$)$	$Ngain$	Keputusan Pengetatan
A	5%	1%	8.0027599	0.036	0.854	0.06	0.79	Ya
B	5%	1%	15.36679	0.068	1.639	0.06	1.58	Ya
C	5%	1%	26.575536	0.118	2.834	1	1.83	Ya
D	5%	1%	37.028195	0.165	3.949	0.06	3.89	Ya
G	5%	1%	2.2717323	0.010	0.151	2	9.76	Ya
I	5%	1%	92.066535	0.409	9.819	0.06	7.86	Ya
K	12%	3%	74.272514	0.330	7.922	0.06	-0.62	Tidak
Total			5.6487389	0.025	0.377	1	25.7172799	

Jadi dari hasil perancangan toleransi, diperoleh rancangan yang paling optimum yang dapat menghasilkan produk yang optimal, yaitu pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rancangan yang Paling Optimal

No	Faktor	Satuan	Target / Nominal(m)	Standar Deviasi (σ)
1	Resistor A	Kilohms	2.2	0.022
2	Resistor B	Kilohms	0.470	0.0047

3	Kapasitor C	Mikrofarads	0.68	0.0068
4	Resistor D	Kilohms	100	1
5	Resistor G	Kilohms	10	0.1
6	Resistor I	Kilohms	10	0.1

Dengan menggunakan rancangan tersebut, maka akan diperoleh keuntungan kualitas sebesar \$25.71728 untuk setiap unit produknya.

4. Kesimpulan

Metode perancangan toleransi adalah metode peningkatan kualitas lanjutan yang dapat dilakukan setelah metode perancangan parameter dalam tahapan metode Taguchi. Peningkatan kualitas dengan metode perancangan toleransi dilakukan dengan cara memperketat nilai target/optimum faktor terkontrol sehingga keragaman performansi produk dapat dikurangi. Pendekatan utama yang digunakan dalam analisis pada perancangan toleransi adalah fungsi kerugian kualitas Taguchi yang berfungsi untuk memperoleh pertukaran yang seimbang antara kualitas dan biaya, dan ANOVA untuk menentukan faktor mana yang berkontribusi pada variabilitas total.

Daftar Pustaka

- Bagchi, T.P.1993. *Taguchi Method Explained: Practical Step to Robust Design*. Prentice Hall of India Privative Limited. New Delhi.
- Besterfield, D. H. 2003. *Total Quality Management, Third Edition*. Pearson Education Inc. New Delhi.
- Mitra, A. 1993. *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. Macmillan Publishing Company. New York.
- Montgomery, D.C. 2001. *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons Inc., Singapore.

- Montgomery, D.C. 2005. *Design and Analysis of Experiments, Sixth Edition*. John Wiley & Sons Inc., Singapore.
- Peace, G. S. 1993. *Taguchi Methods A Hands on Approach*. Addison Wesley Publishing Company. Canada.
- Ross, P. J. 1996. *Taguchi Techniques for Quality Engineering, Second Edition*. Mc Graw – Hill Companies Inc. New York.
- Roy, R. 1991. *A Primer on Taguchi Method*. American Supplier Institute. Michigan.
- Stamatis, D. 2002. *Six Sigma and Beyond: Design for Six Sigma, Volume VI*. St. Lucie Press. Michigan.
- Sudjana. 1991. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Tarsito: Bandung.