

PENINGKATAN DAN PENYERAGAMAN KUALITAS BATU KAPUR OLAHAN DENGAN APLIKASI RANCANGAN KOKOH TAGUCHI

EKO BUDI LEKSONO

Program Studi Teknik Industri - Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra 101 GKB, Gresik. Telp. 031-3951414.
eko_budileksono@umg.ac.id

ABSTRACT

The problem of quality is often found in limestone combustion of small and medium central industry in Manyar Regency, Gresik, in which, the quality of limestone is defected and has high variation of CaO. One of many methods to improve it is by applying Robust Design from Taguchi, them, its result is socialized in a central industry as a reference for those who conduct combustion in producing material. *This study found four controlled factors that each of them consists of two levels that can influence the quality of limestone: A) raw material (level 1 = yellow limestone; level 2 = white limestone); B) Combustion material (level 1 = wood & rubber; level 2 = wood and gerbage sawmill); C) Combustion length of time (level 1 = five days; level 2 = four days); D) Combustion temperature (level 1 = $\pm 800^{\circ}\text{C}$; Level 2: $\pm 875^{\circ}\text{C}$). Meanwhile, the optimal combination factor level to improve the quality of limestone is A_2 , C_1 , D_1 , and B_2 . If factor of combination level is applied, the number of defected good in each combustion can be predicted as much as 1,41% and the defected variable among combustion is 0.37%.*

Key words: limestone, robust design, taguchi, quality

PENDAHULUAN

Saat teknologi pengolahan batu kapur berkembang dan permintaan konsumen akan kualitas batu kapur yang baik dengan harga murah, maka alternatif yang terbaik bagi industri pembakaran batu kapur adalah mencari strategi produksi yang baik. Strategi produksi yang baik akan menyebabkan kualitas batu kapur olahan yang dihasilkan semakin bagus dengan biaya produksi yang relatif rendah.

Sentra industri pembakaran batu kapur yang berada di Kec. Manyar, Gresik merupakan kategori industri kecil dan menengah. Dengan didukung topografi tanah yang banyak mengandung kapur, dan banyaknya industri besar, menengah maupun kecil yang ada di wilayah Gresik, industri-industri tersebut banyak memerlukan kapur hasil olahan dalam proses produksinya, maka sentra industri ini sangat layak untuk dikembangkan.

Banyak industri pembakaran batu kapur di wilayah Kecamatan Manyar tidak memperdulikan

kualitas dari batu kapur yang dihasilkannya, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian laboratorium yang menunjukkan tidak stabilnya kadar batu kapur (CaO) hasil olahan sehingga banyak konsumen yang kurang puas, bahkan ada beberapa mitra kerja dari beberapa pengusaha pembakaran batu kapur yang memutuskan kerja sama karena kualitas kapur yang dipasok banyak yang jelek, dalam arti kadar CaO dari kapur yang diolah sangat bervariasi dan tidak seragam.

Berdasarkan brainstorming dengan pelaku pembakaran batu kapur diketahui ada 3 faktor-faktor produksi yang dapat dikendalikan dalam proses pembakaran. Dan jenis bahannya bakunya yaitu: batu kapur putih, batu kapur kuning, jenis bahan bakarnya kayu dan serbuk gergaji, kayu dan karet, lama pembakaran 4-5 hari. (Laksono dan Sholeh, 2004) jenis bahan baker mempunyai hubungan yang signifikan dan kualitas batu kapur olahan mempunyai hubungan yang signifikan dengan kualitas batu kapur olahan.

Hal ini ditunjukkan kontribusinya sebesar 20.46% terhadap rerata persentase cacat pada setiap pembakaran serta 60.06% terhadap variabilitas cacat yang terjadi antar pembakaran.

Batuan kapur adalah batuan padat yang mengandung *kalsium karbonat*, berwarna putih, abu-abu, kuning tua, abu-abu kebiruan, jingga dan hitam. Berat jenis batu kapur antara 2,6–2,8 dan dalam keadaan murni berbentuk kristal kalsit, terdiri atas CaO (Laksono, 2004). Apabila diberi larutan *Asam* (HCL) akan larut dan mengeluarkan gas tak berbau, yaitu CO_2 . Kalsinasi batu kapur pada suhu agak tinggi akan melepaskan gas CO_2 dan sisanya disebut "*Quicklime*" yang terdiri dari *Oxida Kalsium* (CaO). Apabila *quiklime* tersebut di beri air, maka akan terjadi penghidratan yang cepat menjadi *Hydroksida Calsium* (Ca(OH)2) atau disebut "*Hydrated Lime*" (Laksono, 2005).

Batu kapur adalah bahan galian yang terbanyak kegunaannya, antara lain: a) Bahan bangunan, pengeras jalan dan untuk bangunan dam; b) Bahan baku untuk *portland semen*, semen alam dan *kalk zandsteen*; c) Industri keramik, terutama dalam pembuatan gelas; d) Industri kimia, untuk bahan baku pembuatan *kalsium* dalam pabrik gula, pembuatan gas CO_2 , CaC_2 , CaO , bahan-bahan kedokteran, pasta, pencegah penyakit tanaman dan untuk pembuatan pupuk; e) Industri logam, sebagai *flux* dan bahan bahan tahan api; dan f) Bahan baku untuk seni budaya dan *lithographi*.

Proses produksi pembakaran batu kapur meliputi: penyiapan bahan baku, penataan batu kapur, pembakaran, dan pengeringan. Dengan adanya permasalahan di atas, maka diperlukan suatu penelitian yang arahnya dapat meningkatkan kualitas produk batu kapur di sentra industri batu kapur yang ada di wilayah Kec. Manyar Kab. Gresik sehingga memenuhi spesifikasi kualitas yang diinginkan konsumen. Tujuan penelitian ini mengaplikasikan metode Taguchi dalam meningkatkan dan menyeragamkan kualitas batu kapur.

METODE

Obyek penelitian ini adalah jenis bahan baku, jenis bahan bakar, lama pembakaran, dan suhu pembakaran. Untuk menentukan jumlah eksperimen minimal dalam penelitian ini

menggunakan matriks yang disebut *ortogonal array* dengan pendekatan metode Taguchi.

Menurut Taguchi, ada 2 (dua) segi umum kualitas, yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja, sedangkan kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang disyaratkan oleh rancangan (Apte, 2000).

Taguchi membagi upaya meningkatkan kualitas atas 3 (tiga) hal, yaitu sebagai berikut. Desain sistem: upaya di mana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk. Desain parameter: digunakan untuk mencegah terjadi variabilitas, di mana parameter ditentukan untuk menghasilkan performansi yang baik. Desain toleransi: kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk/proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas (Peac, 1993).

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N ratio untuk meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Jenis dari S/N rasio tergantung pada karakteristik yang diinginkan, yaitu sebagai berikut.

Smaller-the-Better (STB) = karakteristik kualitas di mana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik.

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

Larger-the-Better (LTB) = Karakteristik kualitas di mana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik.

$$S/N_{LTB} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/Y_i^2 \right]$$

Nominal-the-Better (NTB) = Karakteristik kualitas di mana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik (Sujana, 1995).

$S/N_{NTB} = -10 \log V_e$ (untuk variansi saja)

$S/N_{NTB} = 100 \log \left[\frac{V_m - V_e}{r \times V_e} \right]$ (untuk rata-rata dan variansi)

Taguchi mengembangkan faktor perancangan dan pengembangan produk/proses ke dalam dua kelompok, yaitu faktor terkendali dan faktor noise. Faktor terkendali adalah faktor yang ditetapkan (atau dapat dikendalikan) oleh produsen selama tahap perancangan produk/proses dan tidak dapat diubah oleh konsumen. Sedangkan faktor noise adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen (Ross, 1996). Faktor noise dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu sebagai berikut. Eksternal: sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk. Unit ke unit: merupakan hasil dari produksi di mana selalu ada perbedaan dari setiap item yang sejenis yang telah diproduksi atau variasi toleransi. Deteriorasi: disebut juga noise internal karena faktor ini berasal dari sesuatu (internal) yang berubah dari proses atau degradasi dari komponen mesin yang memasuki *over time*.

Dalam perancangan eksperimen Taguchi, penanganan faktor noise melalui 3 (tiga) cara, yaitu: dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing perobaan; dengan memasukkan faktor noise tersebut kedalam percobaan dengan menempatkannya diluar faktor terkendali; dengan menganggap faktor terkendali bervariasi (Taguchi, 2003).

Perancangan eksperimen merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan memengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk/proses.

Langkah-langkah sistematis dari eksperimen Taguchi, yaitu: a) menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan; b) menentukan tujuan

penelitian; c) menentukan metode pengukuran; d) identifikasi faktor; e) memisahkan faktor kontrol dan faktor noise; f) menentukan level setiap faktor dan nilai faktor; g) mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi; h) menggambarkan *linier graph* untuk faktor kontrol dan interaksi; i) memilih *orthogonal array*; j) pemasukan faktor atau interaksi ke dalam kolom; k) melakukan eksperimen; l) analisis hasil eksperimen; m) interpretasi hasil; n) pemilihan level faktor untuk kondisi optimal; o) perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal; dan p) menjalankan eksperimen konfirmasi (Krottmaier, 1994).

Hal-hal yang dilakukan dalam analisis hasil eksperimen adalah: a) persen kontribusi: bagian dari total variasi yang menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi yang signifikan untuk mengurangi variasi; dan b) rasio signal terhadap noise (S/N): Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N guna meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam menentukan jumlah level factor ditentukan secara subyektif berdasarkan pertimbangan Range data dari proses pem, bakaran batu kapur yang telah seraam, semakin lebar Rage data maka semkain banyak jumlah level yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini digunakan 2 level dalam tiap faktor.

Eksperimen dilakukan di 5 (lima) objek industri pembakaran batu kapur yang ada di Desa Suci dan Desa Pongangan, Kec. Manyar Gresik. Hasil eksperimen dapat disimak pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Data Hasil Eksperimen

Eksp	Faktor								Persentase Cacat Hasil Eksperimen (%)					Rerata Replikasi (%)	S/N (μ)	Kadar CaO (%)
	e	e	e	A	B	C	D	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5				
1	1	1	1	1	1	1	1	2,6	2,41	3,2	3,33	3,56	3,02	- 9,694	73,7	
2	1	1	1	2	2	2	2	4	1,41	1,6	1,16	1,8	1,99	- 3,267	86,55	
3	1	2	2	1	1	2	2	3,8	3,08	3,5	3,03	2,54	3,19	- 10,157	73,36	
4	1	2	2	2	2	1	1	1,25	1,08	1,75	0,66	0,76	1,1	- 1,348	69,57	
5	2	1	2	1	2	1	2	1,2	3,16	4	3,2	2,4	2,79	- 10,647	70,25	
6	2	1	2	2	1	2	1	1,87	1,66	2	1,33	1	1,57	- 4,173	75,29	
7	2	2	1	1	2	2	1	1,9	2,83	3	2,91	2,5	2,63	- 8,499	74,77	
8	2	2	1	2	1	1	2	1,12	0,83	1,2	0,86	0,98	0,99	- 0,085	62,68	

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada sentra industri batu kapur diketahui ada 3 faktor dan level pada proses produksi batu kapur yang dapat dikendalikan, sebagai berikut.

Faktor A: Jenis Bahan Baku

Level 1 = batu kapur kuning;

Level 2 = batu kapur putih

Faktor B: Jenis Bahan Bakar

Level 1 = kayu dan karet;

Level 2 = kayu dan serbuk gergaji)

Faktor C: Lama Pembakaran

Level 1 = 5 hari;

Level 2 = 4 hari

Faktor D: Suhu Pembakaran

Level 1: $\pm 800^{\circ} \text{C}$;

Level 2: $\pm 875^{\circ} \text{C}$

Berdasarkan banyaknya faktor dan level di atas, maka *ortogonal array* dari Taguchi yang dipakai adalah $L_8 (2^7)$.

Apabila variabel respons semakin kecil maka persentase cacat yang dihasilkan pada setiap pembakaran kualitas semakin baik (*smaller the better*).

Tabel 2. Analisis Varian Pooling dan Persen Kontribusi pada Rerata Persentase Cacat

Source	Pool	DF	SS	MS	F hitung	SS'	P (%)
A		1	22,22	22,22	47,645	21,74	54,07
B	Y	1	0,04	0,044	-	-	-
C	Y	1	1,36	1,36	-	-	-
D	Y	1	0,26	0,26	-	-	-
e		35	16,32	0,46			
Pooled e		38	17,99	0,47		18,47	45,93
st		39	40,21	1,03		40,21	100
Mean		1	187,25				
ST		40	227,47				

P = persentase kontribusi terhadap cacat

Berdasarkan kontribusi persentase cacat Tabel 2 menunjukkan bahwa jenis bahan baku mempunyai hubungan yang signifikan dengan kualitas batu kapur olahan, hal ini ditunjukkan kontribusinya sebesar 54,07%.

Berdasarkan hasil eksperimen didapat kombinasi level terbaik dari setiap faktor yang berpengaruh terhadap kualitas kapur olahan adalah $A_2 C_1 D_1 B_2$ (bahan baku kapur putih, lama pembakaran 5 hari, suhu pembakaran $\pm 800^{\circ} \text{C}$ dan bahan bakar kayu dan serbuk gergaji).

Analisis hasil eksperimen ini diketahui bahwa faktor jenis bahan baku mempunyai hubungan

Tabel 3. Pooling dan Persen Kontribusi pada *Signal To Noise Ratio*

Source	Pool	DF	SS	MS	F Hitung	SS'	P (%)
A		1	113,429	113,429	143,267	112,637	97,265
B	Y	1	0,015	0,015	-	-	-
C	Y	1	2,335	2,335	-	-	-
D	Y	1	0,024	0,024	-	-	-
e							
Pooled e		3	2,375	0,792		3,167	2,734
st		4	115,804	28,951			
Mean		1	286,482				
Total		8	412,676				

P = persentase kontribusi terhadap cacat

Tabel 4. Respons Pengaruh Faktor Berdasarkan Rerata Persentase Cacat

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	2,91	2,19	1,98	2,08
Level 2	1,42	2,13	2,34	2,24
Selisih	1,49	0,06	0,36	0,16
Ranking	1	4	2	3

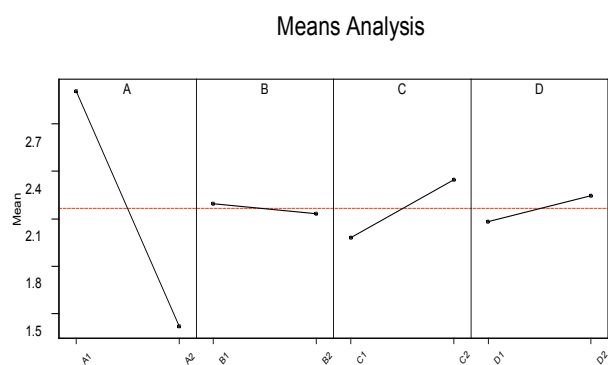
yang signifikan dengan kualitas batu kapur olahan dibanding dengan jenis bahan bakar. Lama pembakaran juga memengaruhi kualitas batu olahan dibandingkan dengan suhu pembakaran. Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh yang sangat dominan terhadap kualitas batu kapur olahan. Yang pertama, jenis bahan baku, kedua lama pembakaran, ketiga suhu pembakaran, dan yang terakhir jenis bahan bakar.

Dalam memproduksi batu kapur olahan, hal yang perlu diutamakan untuk memengaruhi kualitas batu kapur olahan adalah bahan baku, hal ini mempunyai pengertian bahwa bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan kualitas yang diinginkan harus menggunakan batu kapur kuning dan batu kapur putih. Selain bahan baku, lama pembakaran juga sangat memengaruhi kualitas batu olahan, pembakaran dilakukan selama 5 hari atau 4 hari. Apabila lama pembakaran melebihi 5 hari dan 4 hari, maka hasil produksi tidak sesuai dengan standar kualitas batu olahan.

Suhu pembakaran yang dihasilkan dalam penelitian ini sebesar $800^{\circ} \text{C} \pm 875^{\circ} \text{C}$. Apabila suhu pembakaran melebihi atau kurang dari $800^{\circ} \text{C} \pm 875^{\circ} \text{C}$ maka hasil kualitas batu kapur olahan tidak bagus. Jenis bahan bakar sangat tidak memengaruhi kualitas hasil batu olahan, hal ini ditunjukkan dengan ranking yang didapat pada

Tabel 4 sehingga jenis bahan bakar apapun yang digunakan tidak memengaruhi kualitas.

Gambar 2 dapat dilihat pengaruh masing-masing faktor kontrol terhadap S/N ratio, slope dan standar deviasi secara grafis. Informasi yang diperoleh dari *Means analysis* ini dapat memperkuat keputusan penentuan faktor dan kombinasi level yang optimal. Dalam penelitian ini faktor yang mempunyai pengaruh signifikan pada nilai S/N rasio adalah faktor A. Sedangkan faktor B dan D pengaruhnya kurang signifikan *interaction plot* digunakan untuk mengetahui efek interaksi antara 2 faktor terhadap S/N ratio dan slope.



Gambar 2. Grafik respons

Berdasarkan hasil eksperimen didapat kombinasi level optimal dari setiap faktor yang berpengaruh terhadap kualitas kapur olahan adalah $A_2 C_1 D_1 B_2$ (bahan baku kapur putih, lama pembakaran 5 hari, suhu pembakaran $\pm 800^\circ C$ dan bahan bakar kayu dan serbuk gergaji).

Prediksi Rerata Persentase Cacat dan S/N Optimal. Dengan tingkat kepercayaan 90%, maka interval kepercayaan dari setiap level faktor adalah:

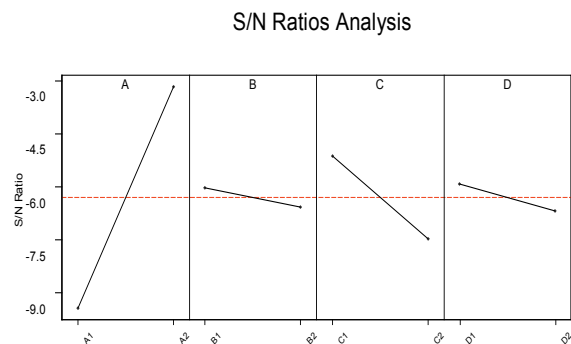
$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} \text{ rerata persentase cacat} &= \bar{Y} + [(A_2 - \bar{Y})] \\ &= 2,1635 + (1,4183 - 2,1635) \\ &= 1,4183\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} \text{ S/N} &= \bar{Y} - [(A_2 - \bar{Y})] \\ &= A_2 - \bar{Y} \\ &= -2,2187 + 5,9841689 = 3,7654 = 0,037 \end{aligned}$$

Pengaruh interaksi ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Dua faktor dikatakan berinteraksi jika secara grafis kedua garis berpotongan. Dari Gambar 3

Tabel 5. Respons Pengaruh Faktor Berdasarkan Ratio Signal terhadap Noise

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	-9,749	-6,027	-5,444	-5,929
Level 2	-2,218	-5,94	-6,524	-6,039
Selisih	-7,531	0,087	1,08	0,11
Rangking	1	4	2	3



Gambar 3. Grafik respons S/N rasio

dapat dilihat bahwa faktor A menunjukkan respon pengaruh yang sangat besar, sedangkan faktor B dan faktor D pengaruhnya tidak begitu kuat hal ini diperjelas pada Tabel 5.

Kombinasi level faktor optimal untuk menghasilkan batu kapur olahan yang berkualitas adalah $A_2 C_1 D_1 B_2$ (bahan baku kapur putih, lama pembakaran 5 hari, suhu pembakaran $\pm 800^\circ C$ dan bahan bakar kayu dan serbuk gergaji).

Jika kombinasi level faktor optimal ini diaplikasikan untuk mengolah batu kapur di sentra industri pembakaran batu kapur Kec. Manyar Gresik, maka dengan tingkat kepercayaan 90% dapat diprediksikan bahwa rerata jumlah persentase cacat pada setiap pembakaran batu kapur sebesar 1,41% dan variabilitas cacat antara setiap pembakaran 0,37%.

SIMPULAN

Dari ketiga faktor yang diteliti dikatakan bahwa faktor A (jenis bahan baku) mempunyai kontribusi yang sangat signifikan terhadap terjadinya cacat pada setiap pembakaran, yaitu 54,07% serta mempunyai kontribusi yang sangat signifikan terhadap terjadinya variabilitas jumlah cacat antar pembakaran sebesar 97,27%.

DAFTAR PUSTAKA

- Apte, P.R., 5 (five) Day Course on Taguchi Method for Quality Cost Optimization, [http://www.tifr.res.in/~apte/CU_PRA_TAGUCHI.Htm/file: TAGUCHI Method – Abstract and course contents \(10 Oktober 2000\)](http://www.tifr.res.in/~apte/CU_PRA_TAGUCHI.Htm/file:TAGUCHI%20Method-Abstract%20and%20course%20contents%20(10%20Oktober%202000).htm).
- Belavendram, N., 1991. *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. New York: Prentice Hall.
- Budi Leksono, Eko dan Mugammad Sholeh, *Aplikasi Robst Design Untuk Meningkatkan Kualitas Batu Kapur Olehan (CaO) di Sentra Industri Batu Kapur Kec. Manyar – Gresik*, Proseding Seminar Nasional Peran Teknologi Dalam Transformasi Budaya Manusia, Fak. Teknik Univ. Teknologi Yogyakarta, 2004.
- Budi Leksono, Eko, 2005. *Analisis Faktor Bahan Baku, Jenis Bahan Bakar, Lama Pembakaran dan Suhu Pembakaran Guna Peningkatan Kualitas Kapur Olahan (CaO) Dengan Metode Taguchi di Sentra Industri Pembakaran Batu Kapur Kec. Manyar – Gresik*, Laporan Penelitian Dosen Muda Dirjen Dikti, Fak Teknik UNMUH Gresik.
- Fowlkes, William Y, dan Creveling, Clyde M., 1995. *Engineering Methods for Robust Design: Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*. New York: Addison – Wesley Publishing Company.
- Glen, Stuart Peace. *Taguchi Methods "A hand – on Approach*.
- Krottmaier, J., 1994. *Optimazing Engineering Design*, Singapore: McGraw-Hill.
- Peace, Glen S., 1993. *Taguchi Methods A Hands on Approach*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Raymond. H dan Ronald. E., 1986. *Ilmu Peluang dan Statistik Untuk Insinyur dan Ilmuwan*, edisi kedua. Bandung: ITB.
- Ross, Philip J., 1996. *Taguchi Techniques for Quality Engeenering*, 2nd Ed. New York: McGraw-Hill.
- Sujana, 1995. *Desain dan Analisis Eksperimen*, edisi keempat. Bandung: Penerbit Tarsito.
- Taguchi, Genichi, *What Are Taguchi Methods?* http://www.amsup.com/taguchi_methods/index.htm. (25 Maret 2003).