

# PERBAIKAN MUTU PADA PROSES DAN PRODUKSI SPUN-PILE DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

**Gideon H Kusuma, Ferryanto, S.G.**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

**Cahyono H., Dedy**

Alumni, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

## ABSTRAK

Pada produksi *spun-pile* yang ada selama ini seringkali ditemukan keretakan pada permukaan bagian dalam. Permukaan bagian dalam ini hanya terdiri dari mortar, sedangkan agregat kasar terdapat pada permukaan luar. Hal ini menyebabkan perbedaan susut sehingga terjadi retak. Retak-retak ini dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada tulangan dan sangat berpengaruh terhadap ketahanan (*durability*) produk tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari rancangan terbaik, yaitu produk dengan lapisan mortar setipis mungkin tanpa mengabaikan kekuatan yang disyaratkan (K 500). Metode yang digunakan adalah Metode Taguchi, suatu metode perbaikan mutu dengan prinsip memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Diambil sebagai faktor kendali adalah: *Sand Aggregate (S/A) ratio*, *admixture*, kecepatan dan durasi putaran, masing-masing dengan 3 level (3 nilai yang berbeda). Sedangkan faktor derau (*noise*, penyebab variasi) yang disimulasikan adalah gradasi pasir dengan 2 level (2 nilai yang berbeda). Memperhatikan faktor kendali dan faktor derau yang disimulasikan, dibutuhkan 18 eksperimen.

Melalui ukuran *signal to noise ratio* (SNR) dan analisis variansi diperoleh sebuah rancangan usulan yang tangguh dan kebal terhadap faktor derau (*noise*) serta dapat memberikan hasil yang lebih baik dari keadaan awal perusahaan.

Kata kunci: Eksperimen Terencana Taguchi, Kontrol Kualitas, *Spun Pile*, Rancang Campur Beton, Gradasi.

## ABSTRACT

*There are two major problems in producing concrete spun piles. First is the concrete strength and second is the uniformity of the cross section. Due to spinning, most concrete spun piles cross section consist of two layers. The inner part which is mortar with high water and cement content and the outer layer, which is quite dense with aggregate. Due to this different layer with different shrinkage properties concrete spun piles are prone to crack. This shrinkage cracks can cause corrosion on the prestressed wire thus influencing its durability.*

*This research was done to find the best design to give a product with the thinnest layer of mortar while achieving the strength (K 500). The Taguchi design of experiment method, a method to improve the quality of a product by minimizing the effect caused by variation without eliminating the causes, is used. The control factors chosen are Sand Aggregate (S/A) ratio, admixture, speed and duration of spinning, each with 3 levels. The simulated noise chosen is gradation of sand with 2 different levels. Eighteen (18) experiments are needed for the above simulated noise and control factor.*

*Through the Signal to Noise Ratio (SNR) and variance analysis, can be proposed a robust design which is less sensitive to the noise factors as well as giving better result from the previous product condition.*

*Keywords: Taguchi's Design of Experiments, Quality Control, Spun Piles, Concrete Mix Design, Grading.*

---

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil vol. 2 no. 1 Maret 2000

## PENDAHULUAN

Selama ini, di dalam proses produksi *spun-pile*, *quality control* terhadap mutu beton dilakukan secara *on line*, yaitu dengan mengontrol setiap material dan peralatan yang digunakan, dan melakukan *trial-mix* guna memperoleh mutu yang sesuai, tetapi tidak jarang mutu yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan yaitu terbentuknya lapisan mortar pada permukaan bagian dalam dari *spun-pile* ini, sehingga dapat mengakibatkan keretakan yang pada akhirnya mempengaruhi *durability* produk tersebut.

Metode Taguchi (1,2,3,4,5) yang merupakan suatu *off line quality control* adalah suatu metode yang berprinsip pada peningkatan mutu dengan meminimalkan pengaruh dari penyebab-penyebab perubahan tanpa menghilangkan penyebab-penyebab itu sendiri. Penyebab variasi itu dalam metode Taguchi dikenal sebagai faktor derau (*noise*). Metode ini telah berhasil diterapkan di berbagai masalah manufaktur seperti perancangan rangkaian elektronik, proses industri, suku cadang kendaraan, realibilitas konstruksi tempat tidur dan lain-lain. Rekayasa mutu beton dengan Metode Taguchi ini merupakan hal baru di dalam teknologi beton, mengingat sampai saat ini belum ada suatu referensi yang menerapkan Metode Taguchi dalam beton.

Tujuan dari eksperimen ini adalah menemukan rancangan faktor-faktor yang dapat dikendalikan dalam proses produksi *spun-pile* secara optimal [6] untuk lebih meminimalkan kepekaan hasil proses terhadap derau-derau yang ada. Mutu beton yang diteliti adalah K-500. Penelitian dilakukan terhadap suatu perusahaan *spun-pile*.

## PERANCANGAN PARAMETER

Perancangan parameter yang dikembangkan oleh Taguchi merupakan suatu perkembangan dari riset peningkatan mutu yang menggunakan dasar Perancangan Tangguh [2]. Hal penting dalam rekayasa ini adalah membangkitkan informasi tentang bagaimana rancangan parameter yang berbeda mempengaruhi unjuk kerja di bawah kondisi penggunaan yang berbeda. Langkah-langkah dalam perancangan parameter ini adalah :

1. Mengenali fungsi utama, efek samping dan jenis kerusakan.
2. Mengenali derau-derau
3. Mengenali karakteristik mutu yang akan diamati dan fungsi-fungsi obyektif yang akan dioptimumkan.

4. Mengenali faktor-faktor kendali dan perubahan-perubahan nilainya.
5. Mengenali matrik eksperimen dan selanjutnya dipilih matrik ortogonal yang sesuai.
6. Eksperimen berdasarkan perancangan di langkah 5 untuk memperoleh data.
7. Analisa data, penentuan level optimum dari faktor kendali.
8. Pemrosesan nilai-nilai parameter terbaik guna mendapatkan rancangan usulan.
9. Membuat perbandingan untuk mendapatkan hasil yang paling maksimal.
10. Membandingkan mutu proses yang baru dengan proses yang lama.

Eksperimen pada proses perancangan ini dilakukan di laboratorium dengan proses sesuai dengan proses produksi di pabrik. Dalam analisis menggunakan Metode Taguchi digunakan dua alat utama, yaitu :

### Signal To Noise Ratio (SNR)

SNR adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik. Dalam hal ini SNR bertindak sebagai indikator mutu selama perancangan untuk mengevaluasi akibat perubahan suatu perancangan parameter tertentu terhadap unjuk kerja produk.

Untuk jenis karakteristik mutu yang berbeda mempunyai rumus yang berbeda [3].

$$\text{SNR lower the better} = -10 \log \left( \frac{1}{r} \times \sum_{i=1}^r (y_i)^2 \right),$$

$$\text{SNR higher the better} = -10 \log \left( \frac{1}{r} \times \sum_{i=1}^r \left( \frac{1}{y_i} \right)^2 \right),$$

dimana  $r$  = banyaknya contoh yang diambil untuk tiap jenis eksperimen, dan  $y$  = nilai respon dari contoh ke- $i$  untuk jenis eksperimen tertentu,  $i = 1, 2, \dots, r$ .

Penerapan SNR dalam memperbaiki dan merancang mutu suatu produk atau proses lebih menekankan pada reduksi derau daripada peningkatan signalnya. Peningkatan signal menekankan penambahan sumber daya tambahan, inspeksi pengendalian produk dan penggunaan bahan mentah yang lebih mahal sehingga biaya yang dikeluarkan lebih besar. Reduksi derau menekankan pada kendali proses statistis untuk mendeteksi adanya variasi dan kemudian menghilangkan penyebabnya (menekankan pada perancangan parameter).

Dalam penelitian ini ketebalan mortar mempunyai karakteristik *Lower the better*, sedangkan *strength* mempunyai karakteristik *Higher the better*.

### Matriks Ortogonal

Matriks ortogonal merupakan dasar dari eksperimen yang akan dilakukan. Matriks ortogonal ini mampu mereduksi jumlah eksperimen secara signifikan dan dapat mempelajari sejumlah besar variabel keputusan dengan sejumlah kecil eksperimen [3]. Dalam matriks ortogonal ini dianggap tidak terjadi interaksi antara faktor-faktor kendali sehingga dalam pemilihan faktor-faktor kendali ini tidak boleh mengandung adanya hubungan interaksi antara faktor yang satu dan yang lain. Dengan anggapan tidak adanya interaksi ini maka jumlah eksperimen dapat direduksi. Matriks ortogonal ini sangat efisien untuk mencari informasi tentang perancangan parameter secara serentak. Dimana efek tiap faktor dapat dicari melalui rumusan :

$$\text{Efek faktor} = \frac{1}{a} \sum (\eta_o)$$

dimana  $o$  = nomor eksperimen yang mempunyai level sama,  $a$  = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks ortogonal dan  $\eta$  = SNR yang digunakan.

Penentuan matrik ortogonal yang akan dipakai bergantung pada derajat bebas, banyak faktor kendali, serta level faktor kendali. Derajat bebas dihitung dari banyak level dikurangi satu (1) [3]. Dalam mengevaluasi signifikansi tiap faktor digunakan *analysis of variance* (Anova). Anova mampu menguraikan variansi total ke dalam variansi faktor dan variansi galat sehingga akan dapat diketahui kontribusi tiap faktor terhadap total variansi.

## PERANCANGAN PERCOBAAN DAN PELAKSANAANNYA

### Faktor Kendali

Proses produksi meliputi : perakitan tulangan, komposisi beton segar (kadar air, semen, *admixture* dan *S/A ratio*), pengecoran, *prestressing*, *spinning* (kecepatan dan durasi putaran), *steam curing* dan *water curing*. Dari sini dipilih 4 faktor kendali dengan masing-masing berlevel 3 yaitu :

- Faktor Kendali A : S/A ratio**, karena berpengaruh langsung terhadap ketebalan mortar yang terjadi. **Level 1** diambil *S/A ratio* dengan level terkecil. **Level 3** diambil *S/A ratio* terbesar seperti kondisi di pabrik. **Level 2** diambil *S/A ratio* diantaranya.
- Faktor Kendali B : Kadar Admixture**, karena pengaturan *S/A ratio* dapat mempengaruhi *workability* maka perlu diimbangi dengan pengaturan *admixture*. **Level 1** merupakan kadar yang sesuai dengan

kondisi pabrik. **Level 2** dan **Level 3** dinaikkan kadarnya.

- Faktor Kendali C : Kecepatan Putaran**, karena mempengaruhi *uniformity* penampang. **Level 1** diambil di bawah kondisi pabrik. **Level 2** diambil kondisi pabrik. **Level 3** diambil di atas kondisi pabrik.
- Faktor Kendali D : Durasi Putaran**, **Level 1** diambil di bawah kondisi pabrik. **Level 2** diambil kondisi pabrik. **Level 3** diambil di atas kondisi pabrik.

### Faktor Derau

Sedang untuk faktor derau dibagi menjadi dua yaitu faktor derau yang tidak disimulasikan yaitu : **mutu semen dan mutu admixture** karena dibeli dari perusahaan lain sehingga mutunya tidak dapat dikendalikan oleh perusahaan dan faktor derau yang disimulasikan yaitu : **gradasi agregat, kebersihan agregat** (dalam percobaan ini diambil gradasi pasir), dan **tingkat kinerja pekerja**.

**Faktor Derau E : Gradasi Pasir**. Pasir yang dipakai termasuk dalam Zone 2. **Level 1** dikondisikan pasir halus dimana digunakan pasir yang gradasinya mendekati batas atas dari Zone 2. **Level 2** dikondisikan pasir kasar dimana digunakan pasir yang gradasinya mendekati batas bawah dari Zone 2.

Berdasarkan 4 faktor kendali yang telah dipilih, digunakan rancangan matrik ortogonal dengan 9 baris (menyatakan jumlah eksperimen yang akan dilakukan) dan 4 kolom (menyatakan faktor kendali) yang dituliskan sebagai L9, yang kemudian dikombinasikan dengan 1 faktor derau yang disimulasikan, sehingga matrik yang digunakan adalah seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1. Matrik Kombinasi Faktor Kendali dan Faktor Derau [3]**

Exp. No.	Faktor Kendali				Faktor Derau
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	2	2	2	1
4	1	2	2	2	2
5	1	3	3	3	1
6	1	3	3	3	2
7	2	1	2	3	1
8	2	1	2	3	2
9	2	2	3	1	1
10	2	2	3	1	2
11	2	3	1	2	1
12	2	3	1	2	2
13	3	1	3	2	1
14	3	1	3	2	2
15	3	2	1	3	1
16	3	2	1	3	2
17	3	3	2	1	1
18	3	3	2	1	2

**Pelaksanaan Percobaan**

Untuk masing-masing eksperimen dibuat 2 jenis benda uji yaitu benda uji *hollow silinder* dan benda uji kubus. Benda uji *hollow silinder* dibuat 4 buah untuk masing-masing eksperimen, dimana 2 buah untuk diukur ketebalan mortar dan 2 buah untuk diukur kekuatan tekannya pada usia 5,5 jam. Sedangkan benda uji kubus dibuat 9 buah untuk masing-masing eksperimen, dimana masing-masing 3 buah untuk ditest kuat tekannya pada usia 5,5 jam, 14 hari dan 28 hari. Hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari analisis variansi dan efek faktor-faktor diusulkan sebuah rancangan kombinasi faktor kendali yaitu (gambar 1) :

- A1 (*S/A Ratio* 0.35)
- B1 (*Admixture* 0.6%)
- C2 (Kecepatan 35-40 G)
- D1 (Durasi 5 menit)

Dari rancangan usulan ini dilakukan eksperimen kembali, kemudian hasil yang diperoleh dibandingkan dengan kondisi awal pabrik, yang ternyata memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi awal

**Tabel 2. Hasil Eksperimen**

Exp.	Mortar			Mean	Strength													
	Silinder	Mean	5.5 jam		Mean	14 hari	Mean	28 hari	Mean									
1	14.30%	12.69%	13.50%	259.76	248.79	254.28	263.20	240.64	240.64	248.16	503.84	511.36	481.28	498.83	571.52	631.68	586.56	596.59
2	10.90%	11.17%	11.04%	292.23	279.27	285.75	225.60	218.08	248.16	230.61	594.08	601.60	601.60	599.09	675.72	725.60	684.79	695.37
3	5.65%	6.30%	5.98%	315.01	300.26	307.64	360.96	338.40	345.92	348.43	579.04	669.28	676.80	641.71	646.72	706.88	609.12	654.24
4*	100%	100%	100%	236.26	223.05	229.66	203.04	210.56	165.44	193.01	556.48	496.32	436.16	496.32	671.18	621.30	680.25	657.58
5*	100%	100%	100%	169.70	151.50	160.60	225.60	218.08	225.60	223.09	526.40	586.56	624.16	579.04	579.04	564.00	594.08	579.04
6*	100%	100%	100%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	250.00	250.00	250.00	250.00	300.00	300.00	300.00	300.00
7	9.06%	11.13%	10.10%	231.63	223.05	227.34	210.58	218.08	210.56	213.07	503.84	496.32	541.44	513.87	556.48	526.40	564.00	548.96
8	10.39%	9.37%	9.88%	308.84	286.17	297.51	248.16	255.68	270.72	258.19	594.08	564.00	616.64	591.57	684.79	662.11	657.58	668.16
9	7.62%	8.19%	7.91%	218.84	227.25	223.05	210.56	203.04	180.48	198.03	586.56	571.52	601.60	586.56	646.72	594.08	639.20	626.67
10*	100%	100%	100%	205.26	179.56	192.41	225.60	210.56	172.96	203.04	518.88	594.08	647.72	586.89	634.90	721.07	702.93	686.30
11*	100%	100%	100%	210.42	188.74	199.58	172.96	165.44	165.44	167.95	548.96	586.56	586.56	574.03	564.00	564.00	586.56	571.52
12*	100%	100%	100%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	250.00	250.00	250.00	250.00	300.00	300.00	300.00	300.00
13	17.20%	19.20%	18.20%	218.84	231.63	225.24	172.96	165.44	188.00	175.47	496.32	503.84	481.28	493.81	526.40	511.36	571.52	536.43
14	13.57%	10.65%	12.11%	243.52	263.31	253.42	233.12	218.08	225.60	225.60	609.12	601.60	609.12	606.61	675.72	662.11	657.58	665.14
15	13.55%	14.12%	13.84%	198.31	171.58	184.95	195.52	165.44	165.44	175.47	451.20	451.20	473.76	458.72	518.88	533.92	511.36	521.39
16*	100%	100%	100%	227.29	218.84	223.07	233.12	195.52	218.08	215.57	519.26	499.76	500.66	506.56	653.04	659.84	632.63	648.50
17	16.79%	14.73%	15.76%	207.46	202.94	205.20	188.00	180.48	165.44	177.97	518.88	421.12	458.72	466.24	473.76	503.84	526.40	501.33
18*	100%	100%	100%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	250.00	250.00	250.00	250.00	300.00	300.00	300.00	300.00

Keterangan :

\* = Silinder yang dihasilkan sangat kasar bagian dalamnya (tidak dapat dipadatkan dengan baik). Nilai-nilai yang diambil di sini adalah nilai *dummy*.

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dilakukan analisis sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan SNR untuk masing-masing karakteristik mutu. Contoh perhitungan SNR untuk mortar dan *strength* dapat dilihat pada Tabel 3.
2. Melakukan perhitungan efek tiap faktor untuk masing-masing karakteristik mutu. Contoh perhitungan untuk Mortar dapat dilihat pada Tabel 4.
3. Membuat grafik efek tiap faktor. Contoh grafik efek tiap faktor untuk mortar dapat dilihat pada Gambar 1.
4. Melakukan perhitungan Anova (*Analysis of Variance*) untuk masing-masing karakteristik mutu. Contoh perhitungan Anova untuk Mortar dapat dilihat pada Tabel 5.

pabrik. Hasil dapat dilihat pada Tabel 6. Seluruh hasil percobaan ini dapat dilihat dalam referensi [7].

**Tabel 3. SNR untuk mortar dan Strength**

Exp. No.	A	B	C	D	SNR Strength				
					SNR Mortar	Silinder	5.5 jam	14 hari	28 hari
1	1	1	1	1	18.182	48.583	47.564	54.682	56.128
2	1	2	2	2	2.995	48.308	47.560	54.889	56.337
3	1	3	3	3	0.000	41.587	42.215	50.227	51.520
4	2	1	2	3	20.008	48.147	47.325	54.786	55.561
5	2	2	3	1	2.983	46.279	46.042	55.366	56.318
6	2	3	1	2	0.000	42.038	41.692	50.215	51.496
7	3	1	3	2	16.217	47.535	45.840	54.673	55.425
8	3	2	1	3	2.928	46.079	45.687	53.640	55.188
9	3	3	2	1	2.904	42.085	41.819	49.872	51.223

**Tabel 4. Efek tiap Faktor untuk SNR, Karakteristik Mortar**

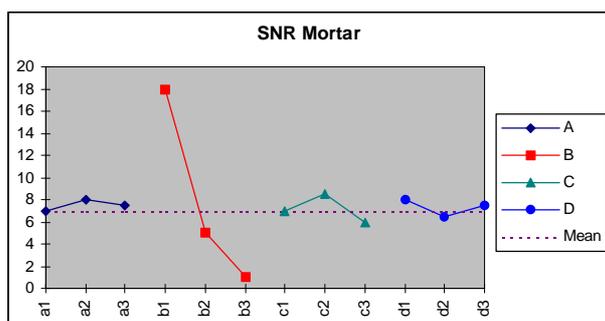
	A	B	C	D
Level 1	7.059	18.136	7.037	8.023
Level 2	7.664	2.969	8.636	6.404
Level 3	7.350	0.968	6.400	7.645
Differential	0.605	17.168	2.236	1.619
Rank	4	1	2	3

**Tabel 5. Hasil Perhitungan ANOVA untuk SNR, ANOVA of Mortar**

Factor	Average in Factor Level			df	Sq	Mq	F-ratio	Sq'	r%
	1	2	3						
A. Sand/Aggregate ratio	7.059	7.664	7.350	2	0.549	0.275	0.230	-	
B. Admixture	18.136	2.969	0.968	2	528.782	264.391	217.900	526.360	97.19
C. Speed	7.037	8.636	6.400	2	7.962	3.981	3.280	5.540	1.02
D. Duration	8.023	6.404	7.645	2	4.304	2.152	1.770	-	
Error				4	4.853	1.213	1.000	9.710	1.79
Total				8	541.600	67.700		541.600	100

**Tabel 6. Selang Kepercayaan tiap Karakteristik Mutu pada Kondisi Awal dan Kondisi Usulan**

	Kondisi	
	Awal	Usulan
MORTAR	17.07% ± 15.31%	9.51% ± 8.51%
STRENGTH SILINDER	255.44 ± 83.01	268.50 ± 24.16
STRENGTH 5,5 JAM	216.83 ± 56.99	237.33 ± 42.96
STRENGTH 14 HARI	517.63 ± 71.24	523.04 ± 68.74
STRENGTH 28 HARI	594.84 ± 197.62	595.60 ± 85.92



Gambar 1. Grafik Efek tiap Faktor untuk SNR Mortar

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil-hasil eksperimen dan analisisnya terlihat bahwa rancangan parameter faktor kendali A1 (S/A Ratio 0.35), B1 (Admixture 0.6%), C2 (kecepatan 35-40 G), D1 (durasi 5 menit) memberikan hasil yang lebih baik dibanding kondisi awal perusahaan. Hal ini membuktikan bahwa Metode Taguchi dapat

diterapkan di dalam perbaikan mutu pada proses dan produksi *Spun-pile*.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi perkembangan teknologi beton pada umumnya dan produsen *spun-pile* pada khususnya dalam usaha perbaikan dan peningkatan mutu. Penelitian dapat dikembangkan dengan lebih memperhatikan hal-hal yang sekiranya dapat ditingkatkan lagi, yaitu :

- ♦ Menambah faktor-faktor yang mungkin untuk dikendalikan sehingga faktor yang belum dijadikan faktor kendali dalam penelitian ini dapat dijadikan faktor kendali dalam penelitian berikutnya seperti misalnya *W/C ratio*.
- ♦ Menambah faktor-faktor derau yang disimulasikan seperti misalnya gradasi material disimulasikan *continuous grading* dan *gap grading*, kebersihan material dan suhu *steam curing*.
- ♦ Mengatur kembali interval level-level faktor.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ferryanto, S.G., *Rekayasa Mutu Menggunakan Perancangan Tangguh (Metode Taguchi)*, Seminar sehari di PT. Hartono Istana Elektronik, Kudus 1995.
2. Ross, P.J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Inc., New York 1988.
3. Phadke, M.S., *Quality Engineering Using Robust Design*, AT & T Bell 1989.

4. Belaverdam, Nicolo, *Quality by Design*, Prentice Hall, Englewoodcliffs, New Jersey 1995.
5. Montgomery, D.C., *Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons, Inc. (Second Edition), New York 1991.
6. Walter H. Dilger, Amin Ghali, S.V. Krishna Mohan Rao, *Improving The Durability and Performance of Spun-Cast Concrete Piles*, PCI Journal Maret-April 1996.
7. Cahyono H., Dedy, *Perbaikan Mutu Pada Proses dan Produksi Spun Pile Dengan Menggunakan Metode Taguchi*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya 1997.