

**PENENTUAN SETTING VARIABEL PROSES PEMBAKARAN YANG  
MENGOPTIMALKAN (CO) DAN TEMPERATUR GAS BUANG PADA  
BOILER ABB-CE DENGAN METODE TAGUCHI DAN TOPSIS  
(STUDI KASUS DI PLTU PAITON SWATA PHASA II)**

Heru Darsanto\* dan Haryono\*\*

\* PLTU Paiton

\*\* Jurusan Statistik FMIPA-ITS

**ABSTRACT:** *Paiton Phase II Independent Power Producer (IPP) is a coal power station that operates 2x610 MW net steam turbine generators. This research is focused on lowest efficiency of transformation from chemical energy to thermal energy in the steam generator (boiler). Based on information technology provided by ABB CE, there are four process variables affecting the combustion i.e. tilting (nozzle angle), air distribution, combination of elevation and furnace draft. Beside, there are two responses that represent the combustion performance i.e. [CO] gas and furnace exit temperature. The other variable that influences the combustion but is not controlled is type of coal called noise variable. The aim of this research is to find which process variables that have the most significant effect to the responses and identify the existing interaction among them. The second aim is to find the optimal combustion setting and calculate the improvement efficiency. In order to achieve that purpose, the Experiment Matrix called Orthogonal Array (OA) developed by Taguchi is used. The result of this experiment matrix will be brought in to the signal ratio to noise (S/N) that transfer data in to a value that represents a measure of variance (precision and accurate). The next step is analysing data using Analysis of Variance (ANOVA). The result of S/N ratio and ANOVA is a setting that results in an optimal solution of [CO] and furnace exit temperature individually. The TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarly to Ideal Solution) is than used to get the only one setting producing optimal solution for both responses (multi responses optimization).*

**Keywords :** *orthogonal array, taguchi, TOPSIS*

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Phase II mempunyai kapasitas pembangkitan sebesar 2x610 MW. Proses pembangkitan listrik ini dimulai dari perubahan energi kimia batubara menjadi energi panas di dalam boiler sampai akhirnya menjadi energi listrik. Dari perubahan energi yang ada, perubahan energi kimia menjadi energi panas merupakan perubahan yang paling rendah efisiensinya sehingga penelitian dipusatkan kepada perubahan energi ini. Optimasi pengaturan pembakaran ini dilakukan dengan menentukan variabel yang mempengaruhi proses pembakaran serta level-levelnya dan menentukan respon yang mewakili *performance* pembakaran serta faktor *noise*.

Berdasarkan latar belakang ini maka perlu ditentukan kombinasi keempat parameter yaitu *tilting* (sudut pengarah nosel), distribusi udara, kombinasi elevasi nosel dan besarnya tarikan udara yang menghasilkan respon optimum yaitu kandungan gas CO serendah-rendahnya (*smaller the better*) dan temperatur gas

buang 135°C setepat-tepatnya (*nominal the best*) pada penggunaan 2 jenis batubara (Kideco dan Lati).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon sekaligus mengidentifikasi adanya interaksi antar faktor-faktor tersebut. Menentukan suatu kombinasi setting pada proses pembakaran didalam boiler yang tepat sehingga dapat mengoptimalkan [CO] dan temperatur gas buang yang optimal dengan tetap memperhatikan variabel *noise* yaitu jenis batubara. Menghitung efisiensi perbaikan respon dengan membandingkan antara setting yang optimal dengan setting yang sekarang digunakan (*existing*).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Taguchi (Peace, 1992) yang mengemukakan tiga konsep dasar kualitas yaitu:

1. Kualitas harus dirancang kedalam produk dan tidak sekedar melakukan inspeksi terhadapnya.
2. Kualitas adalah jangkauan terbaik dalam meminimumkan simpangan dari target tertentu. Selanjutnya konsep ini dikembangkan dalam satu besaran yang disebut *Signal to Noise Ratio (S/N)*.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi simpangan dari standar tertentu dan kerugian harus diukur dalam keseluruhan sistem. Konsep ini dikembangkan dalam satu konsep fungsi kerugian (*Loss Function*).

Rancangan ini mengambil fraksi eksperimen yang dibentuk dalam kolom-kolom orthogonal yang disebut *Orthogonal Array* (Peace, 1992). Kondisi perlakuan dipilih sedemikian rupa sehingga tetap menjaga orthogonalitas diantara beragam faktor utama dan interaksinya. Jadi OA adalah matriks seimbang dari faktor dan level, sedemikian rupa sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*confounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain.

Rasio S/N merupakan rancangan untuk mentransformasikan pengulangan data (paling sedikit dua kali untuk satu eksperimen) kedalam suatu nilai yang merupakan ukuran keragaman yang timbul (Ing Tong, dan Su, 1997). Kombinasi faktor yang memberikan hasil optimal pada eksperimen tentunya akan memberikan rasio S/N yang tertinggi.

$$S/N = - 10 \log \text{MSD} \dots\dots\dots(1)$$

dimana, MSD = *Mean Square Deviation*

Untuk karakteristik kualitas *nominal the best*

$$\text{MSD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 = \frac{1}{n} \{ (y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots\dots\dots + (y_n - m)^2 \} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk karakteristik kualitas lebih kecil lebih baik (*the smaller the better*)

$$\text{MSD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 = \frac{1}{n} \{ (y_1^2 + y_2^2 + \dots\dots\dots + y_n^2) \} \dots\dots\dots(3)$$

dimana  $y_i$  = nilai hasil pengamatan/respon ke  $i$

$m$  = nilai target dari eksperimen,

$n$  = jumlah replikasi

Analisa variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik dengan memecahkan total variansi eksperimen ke dalam sumber-sumber variansi yang

diamati. Variansi yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan.

Untuk mengatasi persoalan *multi response* pada metode Taguchi, maka perlu digunakan prosedur *Technique for Order Preference by Similarly to Ideal Solution* (TOPSIS) yang dikembangkan melalui aplikasi *Fuzzy set* pada *Multiple Attribute Decision Making* (Ing Tong, dan Su, 1997). Prosedur ini meliputi beberapa langkah sebagai berikut:

- 1 Menentukan prioritas respon kemudian menterjemahkannya kedalam istilah linguistik dan mentransformasikan istilah linguistik tersebut ke dalam *crisp score*.
- 2 Menghitung *loss function* (fungsi kerugian),  
Untuk respon *nominal the best*,

$$L_{ij} = k \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r (Y_{ijk} - m)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Untuk respon *the smaller the better*,

$$L_{ij} = k \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 \dots\dots\dots(5)$$

- $L_{ij}$  = *quality loss* untuk respon ke (j) dan kombinasi perlakuan ke (i)
- $Y_{ijk}$  = data pengamatan dari respon ke (j), kombinasi perlakuan ke (i) dan (k)
- k = koefisien fungsi kerugian
- r = banyak replikasi (pengulangan)
- i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n, k = 1,2,...,r

Melakukan normalisasi nilai fungsi kerugian,

$$r_{ij} = \frac{L_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m L_{ij}^2}} \dots\dots\dots(6)$$

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}, \quad i = 1,2,\dots,m \text{ dan } j = 1,2,\dots,n$$

dimana  $r = [r_{ij}]$  adalah matriks keputusan normalisasi dan  $v = [v_{ij}]$  adalah matriks keputusan normalisasi terbobot.

3. Menghitung kedekatan relatif (*relative closeness*) dari masing-masing kombinasi perlakuan berupa Solusi Ideal ( $A^*$ ) dan Solusi Ideal - negatif ( $A^-$ )
  - $A^* = [(\max v_{ij} \mid j \in J), (\min v_{ij} \mid j \in J) \mid i = 1,2,\dots, m \text{ dan } j = 1,2,\dots,n]$
  - $A^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*]$
  - $A^- = [(\min v_{ij} \mid j \in J), (\max v_{ij} \mid j \in J) \mid i = 1,2,\dots, m \text{ dan } j = 1,2,\dots,n]$
  - $A^- = [v_1, v_2, \dots, v_n]$

dimana,  $J = [j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ diasosiasikan dengan kriteria keuntungan}]$   
 $J' = [j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ diasosiasikan dengan kriteria biaya}]$   
 Ukuran pemisah dari solusi ideal dan solusi ideal negatif,

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(8)$$

Menghitung nilai TOPSIS,

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m \dots\dots\dots(9)$$

4. Menentukan kombinasi level yang optimum dengan cara,
  - a. Menghitung pengaruh level terhadap nilai TOPSIS.
  - b. Menentukan kombinasi level optimum dengan cara memilih level-level faktor yang memberikan nilai TOPSIS terbesar.

Berdasarkan informasi teknologi pada Boiler ABB-CE PLTU Paiton, terdapat empat variabel proses yang mempengaruhi proses pembakaran (Anonymous, 1997). Keempat variabel proses dengan level-levelnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Proses Pembakaran dengan Level-levelnya

Variabel	A	B	C	D
Level 1	+ 10 derajat	Bias OFA 0,8	Elevasi atas	- 1,2 mbar
Level 2	0 derajat	Bias OFA 1	Elevasi tengah	- 1,4 mbar
Level 3	- 10 derajat	Bias OFA 1,2	Elevasi bawah	- 1,6 mbar

Respon yang diamati dibatasi 2 yang terbesar sensitivitasnya terhadap perubahan variabel proses diatas yaitu:

1. Kandungan gas CO dengan kualitas *the lower the better*.
  2. Temperatur gas keluaran cerobong dengan kualitas *nominal the best*.
- Percobaan tersebut dilakukan untuk 2 jenis batubara yaitu Kideco yang mempunyai faktor pembentukan *slag* yang rendah dan Lati yang tinggi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan respon S/N Ratio level-level proses ditunjukkan pada Tabel 2. Makin tinggi rasio S/N berarti hasil eksperimen makin kokoh terhadap faktor *noise* atau mempunyai ragam yang paling kecil, sehingga perlu dipilih level dengan nilai terbesar dari setiap faktor yang paling berpengaruh (perubahan nilai respon dari suatu level ke level yang lain paling besar),

- Kandungan Gas CO diperoleh kombinasi faktor dan level: B<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>
- Temperatur Gas Buang diperoleh kombinasi faktor dan level: A<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, AxC<sub>1</sub>

Tabel 2. Respon S/N Ratio [CO] dan Temperatur Gas Buang

	Kandungan Gas CO (mg/Nm <sup>3</sup> )						
	A	B	AB	C	AC	BC	D
Level 1	-3,685	-3,7529	-3,644	-3,625	-3,622	-3,5597	-3,411
Level 2	-3,331	-3,2277	-3,635	-3,480	-3,637	-3,634	-3,650
Level 3	-3,748	-3,783	-3,484	-3,657	-3,504	-3,569	-3,702
Delta	-0,417	-0,5553	-0,159	-0,177	-0,133	-0,074	-0,291
Peringkat	2	1	5	4	6	7	3
	Temperatur Gas Buang (°C)						
	A	B	AB	C	AC	BC	D
Level 1	-1,36	-1,0497	-0,912	-1,287	-0,820	-0,954	-1,045
Level 2	-0,945	-0,935	-0,943	-0,883	-1,002	-0,957	-0,869
Level 3	-0,48	-0,8002	-0,93	-0,613	-0,961	-0,872	-0,869
Delta	-0,88	-0,2495	-0,031	-0,674	-0,182	-0,084	-0,176
Peringkat	1	3	7	2	4	6	5

Nilai rata-rata level-level proses dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Respon Nilai Rata-Rata [CO] dan Temperatur Gas Buang

	Kandungan Gas CO (mg/Nm <sup>3</sup> )						
	A	B	AB	C	AC	BC	D
Level 1	72,417	76,361	67,806	67,583	67,555	62,638	56,750
Level 2	52,056	45,111	67,639	61,555	67,777	67,638	70
Level 3	76,222	79,222	65,250	71,555	65,361	70,416	73,944
Delta	24,167	34,111	2,555	10	2,416	7,777	17,194
Peringkat	2	1	6	4	7	5	3
	Temperatur Gas Buang (°C)						
	A	B	AB	C	AC	BC	D
Level 1	139,91	138,625	137,96	139,613	137,966	137,933	138,277
Level 2	137,97	137,861	137,84	137,836	137,875	137,930	137,994
Level 3	135,84	137,228	137,91	136,263	137,872	137,85	137,441
Delta	4,075	1,397	0,111	3,35	0,094	0,083	0,836
Peringkat	1	3	5	2	7	6	4

Analisa rasio S/N menunjukkan bahwa untuk temperature gas buang, faktor Ax<sub>C1</sub> menduduki peringkat keempat, sedangkan analisa variansi menunjukkan bahwa faktor tersebut tidak berpengaruh signifikan. Sehingga yang dipilih adalah faktor dan level yang memiliki peringkat berikutnya yaitu D<sub>2</sub>.

Dari faktor-faktor yang menunjukkan pengaruh (perubahan nilai respon dari suatu level ke level yang lain paling besar) dipilih yang paling tinggi rasio S/N.

- Kandungan Gas CO diperoleh kombinasi faktor dan level: B<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>
- Temperatur Gas Buang diperoleh kombinasi faktor dan level: A<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, D<sub>2</sub>

Analisis variansi adalah suatu teknik didalam statistika yang bermanfaat untuk mengetahui apakah suatu faktor atau interaksi antar faktor-faktor mempunyai pengaruh yang signifikan atau tidak terhadap responnya. Hasil analisa variansi untuk kandungan gas CO dan temperature gas buang ditampilkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Analisa Variansi Untuk Kandungan Gas

Sumber Variansi	Derajat bebas	SS	MS	F	Prosen Kontribusi
Faktor A	2	12157,019	6078,509	190,7547	24,29841
Faktor B	2	25779,796	12889,9	404,5085	51,66994
Interaksi AxB	4	147,18519	36,7963	1,154735	0,039628
Faktor C	2	1825,3519	912,6759	28,64143	3,539532
Interaksi AxC	4	128,46296	32,11574	1,00785	0,002011
Interaksi BxC	4	1118,5185	279,6296	8,775287	1,991277
Faktor D	2	5841,2407	2920,62	91,65439	11,60845
Residual (e)	87	2772,3056	31,86558		5,570248
Total	107	49769,88	465,1391		

Dari tabel analisa variansi dapat dilihat bahwa untuk [CO] variabel yang berpengaruh signifikan adalah A, B, C, D dan BxC. Untuk temperatur gas buang variabel yang berpengaruh signifikan adalah A,B,C dan D.

Tabel 5. Analisa Variansi Untuk Temperatur Gas Buang

Sumber Variansi	Derajat bebas	SS	MS	F	Prosen Kontribusi
Faktor A	2	299,10907	149,5545	102,031	43,70026
Faktor B	2	35,242407	17,6212	12,02176	4,767387
Interaksi AxB	4	0,2268519	0,056713	0,038691	0,83162
Faktor C	2	202,25852	101,1293	68,99367	29,4102
Interaksi AxC	4	0,207963	0,051991	0,03547	0,8344
Interaksi BxC	4	0,1612963	0,040324	0,02751	0,84129
Faktor D	2	13,019074	6,509537	4,441018	1,488389
Residual (e)	87	127,5225	1,465776		18,81563
Total	107	677,74769	6,334091		

Berdasar analisis data dan pembahasan dengan metode Taguchi diperoleh level faktor yang dapat mengoptimalkan masing-masing respon yaitu:

- Kandungan gas CO : B<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>
- Temperatur gas buang : A<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, D<sub>2</sub>

Langkah-langkah prosedur TOPSIS dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mentransformasikan tingkat kepentingan relatif tiap respon ke dalam bentuk Fuzzy.

Transformasi tingkat kepentingan relatif ini didasarkan pada pertimbangan perusahaan yang dinyatakan dalam istilah linguistik untuk kemudian dikonversi kedalam bilangan fuzzy (Chen dan Hwang, 1992).

2. Mengkonversi Bilangan Fuzzy ke Crisp Score.

Kandungan gas CO : 0,750 (tinggi)

Temperatur gas buang : 0,583 (medium)

Kemudian dilakukan normalisasi crisp score untuk memperoleh nilai pembobot [CO],

$$W_1 = \frac{0,750}{(0,750 + 0,583)} = 0,562641$$

Dan pembobot temperatur gas buang,

$$W_2 = \frac{0,583}{(0,750 + 0,583)} = 0,437359$$

Hasil perhitungan nilai TOPSIS ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Hasil Perhitungan Nilai TOPSIS

Kolom Percobaan	A	B	C	D	TOPSIS
1	1	1	1	1	0,22101
2	1	1	2	2	0,60992
3	1	1	3	3	0,790045
4	1	2	1	2	0,257504
5	1	2	2	3	0,223944
6	1	2	3	1	0,04404
7	1	3	1	3	0,995753
8	1	3	2	1	0,286816
9	1	3	3	2	0,673589
10	2	1	1	2	0,374299
11	2	1	2	3	0,319314
12	2	1	3	1	0,166072
13	2	2	1	3	0,065772
14	2	2	2	1	0,017987
15	2	2	3	2	0,213079
16	2	3	1	1	0,440295
17	2	3	2	2	0,232672
18	2	3	3	3	0,615234
19	3	1	1	3	0,570728
20	3	1	2	1	0,464759
21	3	1	3	2	0,845346
22	3	2	1	1	0,113391
23	3	2	2	2	0,181577
24	3	2	3	3	0,454468
25	3	3	1	2	0,880493
26	3	3	2	3	0,820797
27	3	3	3	1	0,640209

Berdasarkan Tabel 7. maka untuk masing-masing faktor terlihat kombinasi optimum nilai TOPSIS dicapai pada A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>3</sub> dan D<sub>3</sub>.

Tabel 7. Pengaruh Tiap Level Terhadap Nilai TOPSIS

Level	A	B	C	D
1	0,45584678	0,48461033	0,43547167	0,26606433
2	0,271636	0,17464022	0,35086511	0,47427544
3	0,55241667	0,62065089	0,49356467	0,47614744

Pengurangan kerugian dapat dihitung berdasarkan perbedaan antara fungsi kerugian setting yang menghasilkan respon optimal (kondisi optimal) terhadap fungsi kerugian dari setting yang sekarang digunakan (kondisi *existing*).

$$L = k \times \text{MSD} \times \left( 1 - 0.5 \frac{Y_{opt} - Y_{existing}}{3} \right)$$

$$Y \text{ optimal} = \bar{y} - (A_3 - \bar{y}) + (C_3 - \bar{y}) + (B_3 - \bar{y}) + (D_3 - \bar{y})$$

$$= A_3 + C_3 + B_3 + D_3 - 3 \bar{y}$$

$$Y \text{ existing} = \bar{y} - (A_2 - \bar{y}) + (C_2 - \bar{y}) + (B_2 - \bar{y}) + (D_2 - \bar{y})$$

$$= A_2 + C_2 + B_2 + D_2 - 3 \bar{y}$$

$$L = k \times \text{MSD} \times \left( 1 - 0.5 \frac{Y_{opt} - Y_{existing}}{3} \right) = k \times \text{MSD} \times 0.53$$

atau dapat dikatakan bahwa kerugian yang bisa dihindari dengan penggunaan setting yang menghasilkan respon optimal mencapai 53%.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Terjadi peningkatan level kompetensi dalam perbaikan proses yang tercermin pada peningkatan nilai six sigma. Secara keseluruhan terjadi peningkatan nilai sigma dari 4,23 (sebelum) menjadi 4,33 (sesudah).

Peningkatan level kompetensi tersebut dicapai karena didapatkan setting yang menghasilkan hasil optimum dari hasil penerapan proses perbaikan dengan menggunakan *Design Of Experiment* berbasis pada metodologi Six Sigma. Setting yang menghasilkan hasil optimum adalah :

Faktor A	: Kecepatan pembuatan buku/speed	= 400 m/dtk
Faktor B	: Tekanan pompa pengeleman	= 3 bar
Faktor C	: Jarak roll pengeleman punggung buku	= 0,3 mm
Faktor D	: Suhu	= 55 <sup>o</sup> C

Peningkatan mutu yang dicapai dengan setting tersebut sebesar 67,28%. Terjadi peningkatan untuk buku tidak cacat dari 92,71% menjadi 94,17%, untuk cacat sedang terjadi penurunan dari 3,45% menjadi 2,91%, dan untuk cacat parah juga terjadi penurunan dari 3,84% menjadi 2,92%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 1997. Operation and Maintenance Departement ABB Combustion Engineering Service Inc, 1997, Paiton II Private Project ABB CE Boiler Operation Manual, Windsor, USA.
- Chen, S.J. dan Hwang C.L., 1992, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making - Method and Application, Springer Verlag, New York.
- Ing Tong, L. dan Su, C. T., 1997, Optimizing Multiresponse Problem in The Taguchi Methode by Multiple Attribute Decision Making, *Journal Quality and Reliability Engineering International*, Volume 13, 25-34.
- Peace, G.S., 1992, Taguchi Methods a Hand-on Approach, Addison-Wesley Publishing Company, INC .