

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.012.12

OPTIMASI KARAKTERISTIK KUALITAS *LEAD-SLAG* PERISAI RADIASI BETON MENGGUNAKAN METODE *GREY-TAGUCHI DESIRABILITY FUNCTION*

Sri Winarni^{1,a)}, Budhi Handoko^{b)}

¹*Departemen Statistika FMIPA UNPAD, Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21*

Email: ^{a)}sri.winarni@unpad.ac.id, ^{b)}budhihandoko1980@gmail.com

Abstrak

Perisai radiasi yang digunakan untuk melindungi dari bahaya radiasi merupakan salah satu masalah penting dalam bidang fisika nuklir. Beton merupakan bahan yang efektif, fleksibel dan ekonomis digunakan untuk perisai radiasi. Dalam perisai radiasi beton, berbagai macam bahan dapat digunakan untuk melemahkan foton. Lead-slag perisai beton yang digunakan dalam aplikasi nuklir selain melindungi property harus memiliki karakteristik kualitas yang optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan komposisi faktor pembentukan perisai radiasi beton sehingga didapatkan kualitas perisai radiasi beton yang optimal. Metode grey-taguchi desirability function digunakan dengan mempertimbangkan beberapa karakteristik kualitas yang diukur secara simultan. Hasil optimasi didapatkan pada faktor perbandingan air -semen 0,42, kandungan semen 390 kg/m³, perbandingan volume *lead-slag* agregat 60% dan perbandingan silika-semen 0,15.

Kata-kata kunci: optimasi, grey-taguchi desirability function, lead-slag perisai radiasi beton

Abstract

Radiation shields are used to protect from the harmful effects of radiation is one of the important problems in the field of nuclear physics. Concrete is a material that is effective, flexible and economically used for radiation shielding. In concrete radiation shielding, a variety of materials can be used to attenuate photons. Lead-slag concrete shielding used in nuclear applications in addition to protecting the property must have the characteristics of optimal quality. The purpose of this research is to get the composition of the factors formation of radiation shielding concrete to obtain quality concrete optimal radiation shield. Grey-Taguchi method desirability function is used by considering some quality characteristics measured simultaneous. The results obtained in the optimization factor water-cement ratio of 0.42, cement content of 390 kg/m³, volume fraction lead-slag aggregate of 60% and silica fume-cement ratio of 0.15.

Keywords: optimizaion, grey-taguchi desirability function, lead-slag radiation shielding concrete.

1. PENDAHULUAN

Perisai radiasi merupakan alat yang digunakan sebagai penangkal sinar radiasi yang dipancarkan dari bahan nuklir tertentu. Kualitas optimum sebuah perisai sangat ditentukan oleh komposisi bahan yang digunakan dalam proses pembuatannya. Perisai yang berkualitas tidak hanya diukur dari satu

karakteristik saja, melainkan beberapa karakteristik dipertimbangkan secara simultan untuk menentukan apakah perisai tersebut memiliki kualitas yang baik atau tidak.

Optimasi kualitas merupakan upaya untuk mendapatkan komposisi faktor yang menghasilkan kualitas optimum. Kualitas suatu produk seringkali tidak hanya mempertimbangkan satu karakteristik kualitas saja, melainkan beberapa karakteristik dipertimbangkan secara simultan. Proses optimasi dengan mempertimbangkan lebih dari satu respon (karakteristik produk) disebut dengan optimasi multirespon [1]. Optimasi kualitas tidak hanya digunakan pada dunia industri manufaktur saja melainkan juga dapat digunakan pada bidang fisika.

Desain eksperimen yang sering digunakan dalam proses optimasi kualitas adalah desain taguchi. Desain taguchi merupakan desain eksperimen yang digunakan untuk mendapatkan produk yang bersifat robust (kokoh). Perlakuan yang dicobakan dalam desain taguchi dapat berupa *cross array* atau *orthogonal array* [7].

Analisis yang umum digunakan pada desain taguchi adalah metode *signal-to-noise ratio* (SNR). Metode SNR digunakan pada desain taguchi satu respon, sedangkan untuk desain taguchi multi respon dapat digunakan metode *grey-taguchi*. Pada penelitian ini metode *grey-taguchi* akan digabungkan dengan *desirability function* [2].

Kasus yang akan digunakan pada penelitian ini diambil dari jurnal fisika modern yaitu mengenai metode optimasi secara simultan pada karakteristik kualitas *Lead-Slag Radiation Shielding Concrete* (LSRSC), [4]. *Lead-slag* perisai radiasi beton merupakan alat yang digunakan untuk menangkal sinar radiasi dari mesin nuklir. *Lead-slag* perisai beton yang digunakan dalam aplikasi nuklir selain melindungi property harus memiliki karakteristik kualitas yang optimal. Beton merupakan bahan yang efektif, fleksibel dan ekonomis digunakan untuk perisai radiasi. Dalam perisai radiasi beton, berbagai macam bahan dapat digunakan untuk melemahkan foton. Dalam kasus ini dicobakan beberapa komposisi bahan yang digunakan. Terdapat empat faktor dan empat respon yang diukur sebagai karakteristik kualitas *lead-slag* perisai radiasi beton. Faktor dan respon yang digunakan pada kasus ini diberikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Faktor dan Respon Percobaan

Faktor Percobaan		Taraf		
		1	2	3
A	Perbandingan air-semen	0,42	0,45	0,48
B	Kandungan semen (Kg/m ³)	330	360	390
C	Perbandingan volume <i>lead-slag</i> agregat (%)	40	50	60
D	Perbandingan silica-semen	0,05	0,1	0,15
		Respon		
	Y1	Slump		
	Y2	unit weight		
	Y3	koefisien peredam gamma		
	Y4	kuat tekan		

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan komposisi faktor pembentukan perisai radiasi beton sehingga didapatkan kualitas perisai radiasi beton yang optimal. Metode *grey-taguchi desirability function* digunakan dengan mempertimbangkan beberapa karakteristik kualitas secara simultan.

2. METODE PENELITIAN

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabungan antara metode *grey-taguchi* dengan *desirability function*. Metode ini digunakan untuk melakukan proses optimasi multi respon. Prinsip analisis optimasi multi respon adalah mengkonversi masing-masing respon pada skala 0 sampai 1. Kemudian membentuk satu fungsi tujuan yang merupakan gabungan dari seluruh respon

yang telah dikonversi. Dari fungsi tujuan yang terbentuk dapat ditentukan komposisi faktor yang menghasilkan respon optimum secara simultan.

Pada metode *grey-taguchi desirability function*, konversi respon dilakukan menggunakan *desirability function*, selanjutnya pembentukan fungsi tujuan dilakukan dengan metode grey-taguchi. Tahapan analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut : [2]

a. Mengkonversi respon dengan *desirability function*.

Fungsi *desirability* merupakan suatu transformasi geometrik dari nilai respon menjadi bernilai 0 sampai dengan 1 ($0 \leq d_i \leq 1$). Nilai ini menunjukkan tingkat kedekatan respon terhadap targetnya. Respon yang berada pada selang nilai target yang ditentukan memiliki nilai *desirability* nol sampai satu ($0 < d_i < 1$). Sedangkan respon yang sangat dekat sekali dengan nilai target memiliki nilai *desirability* sebesar satu ($d_i = 1$). Sebaliknya untuk respon yang berada diluar selang target yang ditentukan maka nilai *desirability*-nya adalah nol ($d_i = 0$). [5]

Berdasarkan tujuannya, fungsi *desirability* dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu : *nominal-the-best* (NB), *larger-the-better* (LB) dan *smaller-the-better* (SB). Jika dimisalkan T adalah nilai target yang diinginkan, L adalah batas bawah target, dan U adalah batas atas target ($L \leq T \leq U$), maka bentuk fungsi *desirability* dari masing-masing kategori tersebut adalah sebagai berikut : [7].

i. *Larger-the-better* (LB)

Digunakan untuk memaksimumkan respon, memiliki bentuk fungsi *individual desirability* seperti pada Persamaan (2.1).

$$d = \begin{cases} 0 & ; y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & ; L \leq y \leq T \\ 1 & ; y > T \end{cases} \quad (1)$$

ii. *Smaller-the-better* (SB)

Digunakan untuk meminimumkan respon, bentuk fungsi *desirability* pada kategori ini diberikan pada Persamaan (2.2).

$$d = \begin{cases} 1 & ; y < T \\ \left(\frac{u-y}{U-T}\right)^r & ; T \leq y \leq U \\ 0 & ; y > U \end{cases} \quad (2)$$

iii. *Nominal-the-best* (NB)

Digunakan untuk respon pada nilai target, memiliki bentuk fungsi *individual desirability* seperti pada persamaan (2.3).

$$d = \begin{cases} 0 & ; y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & ; L \leq y \leq T \\ \left(\frac{y-L}{T-L}\right)^r & ; T \leq y \leq U \\ 0 & ; y > U \end{cases} \quad (3)$$

Indeks r merupakan pembobotan yang menunjukkan penekanan jauh dekatnya respon terhadap nilai target. Nilai $0 < r < 1$ menunjukkan penekanan yang kurang pada targetnya. Semakin besar nilai r maka semakin jauh nilai respon dari targetnya. Nilai $r = 1$ menunjukkan kepentingan yang sama terhadap target. Pada nilai ini fungsi *desirability* berbentuk linear. Nilai $r > 1$ menunjukkan penekanan yang lebih pada targetnya. Kondisi yang ideal adalah nilai *desirability* yang tinggi menunjukkan nilai respon yang dekat dengan targetnya

b. Menentukan nilai Grey Relational Coefficient (GRC).

Metode *grey-taguchi* merupakan gabungan dari metode taguchi dengan *grey relational analysis*. Setelah dilakukan konversi terhadap respon langkah berikutnya adalah menentukan nilai GRG menggunakan Persamaan 2.5. [2]

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta Min + \zeta \Delta Max}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta Max} \quad (4)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, m$ $j = 1, 2, \dots, n$

$\Delta_{ij} = x_{0j} - x_{ij}$ merupakan perbedaan absolut antara nilai $x_0(j)$ dengan $x_i(j)$. ζ merupakan koefisien identifikasi dan digunakan untuk mengimbangi pengaruh Δ_{max} ketika memiliki nilai terlalu besar. Pada kasus ini diambil nilai $\zeta = 0,5$.

$$\Delta Min = \text{Min}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta Max = \text{Max}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

c. Menentukan nilai Grey Relational Grade (GRG)

Nilai GRG merupakan nilai konversi optimasi multi respon menjadi satu respon. Nilai GRG didapatkan dari Persamaan 2.6

$$\Gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad (5)$$

Nilai GRG digunakan untuk menentukan titik optimum. Nilai GRG terbesar menunjukkan titik optimum [3]

Menentukan titik optimum melalui plot pengaruh utama GRG.

Penentuan titik optimum dapat dilakukan melalui plot pengaruh utama dari GRC. Titik optimum diambil dari taraf faktor yang memberikan nilai GRG tertinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah percobaan optimasi karakteristik kualitas *lead-slag* perisai radiasi beton menggunakan desain taguchi L9. Faktor dan respon diberikan pada Tabel 1.1. Struktur desain L9 beserta taraf faktor yang digunakan diberikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Desain Taguchi L9

No	Ortogonal	A	B	C	D
1	A1B1C1D1	0,42	330	40	0,05
2	A1B2C2D2	0,42	360	50	0,1
3	A1B3C3D3	0,42	390	60	0,15
4	A2B1C2D3	0,45	330	50	0,15
5	A2B2C3D1	0,45	360	60	0,05
6	A2B3C1D2	0,45	390	40	0,1
7	A3B1C3D2	0,48	330	60	0,1
8	A3B2C1D3	0,48	360	40	0,15
9	A3B3C2D1	0,48	390	50	0,05

Terdapat sembilan perlakuan yang dicobakan. Nilai respon yang diamati diberikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Respon Percobaan

No	Y1	Y2	Y3	Y4
1	35	2631	42,23	0,1868
2	60	2641	46,00	0,1852
3	90	2639	48,00	0,1923
4	65	2618	44,06	0,1808
5	65	2670	44,10	0,1960
6	105	2550	46,06	0,1763
7	75	2681	41,87	0,1804
8	115	2548	46,20	0,1716
9	110	2570	44,60	0,1812

a. Hasil analisis konversi dengan *desirability function*.

Tujuan optimasi dalam kasus ini adalah memaksimalkan keempat respon. Dengan demikian digunakan Persamaan 2.1 untuk mengkonversi keempat respon menggunakan *larger-the-better*. Hasil konversi diberikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Konversi Respon dengan *Desirability Function*

No	d1	d2	d3	d4
1	0,0000	0,8111	0,1080	0,5833
2	0,5485	0,8511	0,6028	0,6960
3	1,0000	0,8911	1,0000	0,8087
4	0,7077	0,8394	0,4104	0,3395
5	0,6546	1,0000	0,2766	0,8477
6	1,0000	0,0000	0,8161	0,2637
7	0,8139	1,0000	0,0842	0,4911
8	1,0000	0,0000	0,6237	0,0000
9	1,0000	0,3028	0,4899	0,4153

Nilai *desirability* yang bernilai 1 artinya respon tersebut mendekati nilai target yang diinginkan. Sedangkan nilai *desirability* 0 berarti jauh dari target yang diinginkan.

b. Hasil penentuan nilai Grey Relation Coefficient

Penentuan nilai GRC dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu nilai Δ_{ij} yang merupakan perbedaan absolut antara nilai $x_0(j)$ dengan $x_i(j)$. Nilai $x_0(j)$ merupakan nilai desirability terbesar pada masing-masing respon. Nilai GRC dari keempat nilai *desirability* diberikan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4. Nilai Grey Relation Coefficient

No	GRC1	GRC2	GRC3	GRC4
1	0,3333	0,7258	0,3392	0,6159
2	0,5255	0,7705	0,5355	0,7365
3	1,0000	0,8212	1,0000	0,9159
4	0,6311	0,7569	0,4371	0,4547
5	0,5915	1,0000	0,3876	1,0000
6	1,0000	0,3333	0,7134	0,4205
7	0,7287	1,0000	0,3333	0,5431
8	1,0000	0,3333	0,5489	0,3333
9	1,0000	0,4176	0,4730	0,4950

Setelah didapatkan nilai GRC pada masing-masing respon selanjutnya nilai GRC tersebut dikonversi dengan nilai *Grey Relation Grade*.

c. Hasil penentuan nilai Grey Relation Grade (GRG)

Penentuan nilai GRG dilakukan untuk mengkonversi keempat nilai GRC menjadi satu nilai sebagai ukuran optimasi. Nilai GRG diperoleh melalui Persamaan 2.6. pada dasarnya nilai GRG merupakan nilai rata-rata dari semua rson. Pada beberapa literatur ada yang menggunakan nilai GRG ini sebagai nilai rata-rata terboboti dari nilai GRC. Nilai GRG tanpa pembobotan diberikan pada Tabel 3.5

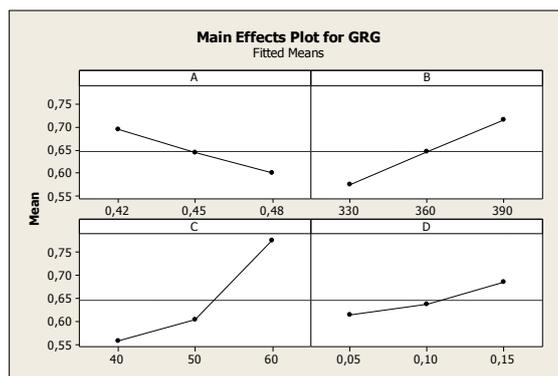
Tabel 3.5. Nilai Grey Relation Grade

No	Ortogonal	GRG
1	A1B1C1D1	0,5036
2	A1B2C2D2	0,6420
3	A1B3C3D3	0,9343
4	A2B1C2D3	0,5700
5	A2B2C3D1	0,7448
6	A2B3C1D2	0,6168
7	A3B1C3D2	0,6513
8	A3B2C1D3	0,5539
9	A3B3C2D1	0,5964

Nilai GRG terbesar menunjukkan titik optimum. Nilai GRG pada Tabel 3.5 menunjukkan bahwa nilai GRG terbesar adalah 0,9343 dihasilkan dari perlakuan A1B3C3D3. Dengan demikian perlakuan yang menghasilkan respon optimum adalah faktor A (perbandingan air-semen) 0,42, faktor B (kandungan semen) 390 Kg/m³, faktor C (perbandingan volume *lead-slag* agregat) 60% dan faktor D (perbandingan silika-semen) 0,15.

d. Hasil penentuan titik optimum melalui plot pengaruh utama GRG

Plot pengaruh utama dari nilai GRG merupakan rata-rata nilai GRG pada masing-masing taraf faktor yang dicobakan. Hasil plot pengaruh utama GRG diberikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Plot Pengaruh Utama Nilai GRG

Pada plot pengaruh utama nilai GRG pada Gambar 3.1 didapatkan bahwa pada faktor A (perbandingan semen-air) nilai GRG tertinggi diberikan pada taraf 0,42. Nilai GRG tertinggi pada faktor B (kandungan semen) diberikan pada taraf 390 Kg/m³. Pada faktor C (perbandingan volume lead-slag agregat) taraf 60% dan pada faktor D (perbandingan silika-semen) diberikan pada taraf 0,15. Dengan demikian titik optimum dihasilkan pada perlakuan A1B3C3D3.

Untuk mengetahui ketepatan dari titik optimum yang didapat perlu dilakukan percobaan konfirmasi dengan mencobakan perlakuan optimum tersebut.

4. KESIMPULAN

Analisis Optimasi multi respon dengan metode *grey-taguchi desirability function* yang diterapkan pada kasus optimasi karakteristik kualitas *lead-slag* perisai radiasi beton didapatkan perlakuan faktor A (perbandingan air-semen) 0,42, faktor B (kandungan semen) 390 Kg/m³, faktor C (perbandingan volume *lead-slag* agregat) 60% dan faktor D(perbandingan silika-semen) 0,15.

DAFTAR ACUAN

- [1] Akcay H., Anagun A.S. Multi Response Optimization Application on A Manufacturing Factory. *Mathematical Applications*. 2013 Volume. 18 No. 3. pp. 531-538
- [2] B. Munmun, P. Kali. Multi Response Optimization of Machining Parameters in Electro Discharge Machining of AISI 304 Using Desirability with Grey Relation Analysis. *IJPRET*, 2015, Volume 3(9). pp 15-22
- [3] D. Saurav, S.M. Siba. Modeling, Simulation and Parametric Optimization of Wire EDM Process Using Response Surface Methodology Coupled With Grey-Taguchi Technique. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. Vol 2, No. 5, 2010, pp. 162-183
- [4] F. Anwar, M. Habshah. Multi-Response Optimization via Desirability Function for the Black Liquor DATA. *Journal of Science and Technology*. pp. 91-101
- [5] Prajina N. V., Multi Response Optimazation of CNC End Milling Using Response Surface Methodology and Desirability Function. *International Journal of Engineering Research and Technology* ISSN 0974-3154 Volume 6, Number 6 (2013), pp. 739-746.
- [6] Yodollahi. A, Ajorloo. A.M, Zolfaghari. A. Application of Grey-Taguchi Method for Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics in Lead-Slag Radiation Shielding Concrete. *Boson Journal of Modern Physics (BJMP)*. 2015. Volume 2 issue 1. pp. 60-72.
- [7] Montgomery DC. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. Ed ke-8. New York: John Wiley & Sons, inc.

