

OPTIMALISASI FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH PADA BEBAN LENTUR GENTENG BETON DENGAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Amsal Dwi Nugroho¹, Martinus Edy Sianto^{1*}, Luh Juni Asrini¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jalan Kalijudan 37 Surabaya

*e-mail: martinus.sianto@gmail.com

ABSTRAK

Genteng beton adalah unsur bangunan yang digunakan untuk atap yang terbuat dari campuran merata antara semen portland, agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen. Produk Genteng di UD X menggunakan bahan baku fly ash yang memiliki keuntungan dapat meningkatkan kekuatan genteng beton. Namun penggunaan fly ash perlu dipertimbangkan kembali karena termasuk dalam Bahan Berbahaya dan Beracun sehingga pengelolaannya memerlukan ijin dan pengawasan khusus. Langkah menghilangkan penggunaan fly ash memerlukan seting parameter ulang untuk komposisi pasir, semen, dan kapur mill terhadap beban lentur genteng beton yang dioptimalkan menggunakan response surface method. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kombinasi level Pasir : Semen : Kapur Mill:Air dengan perbandingan 45 : 32 : 9 :14 akan menghasilkan nilai respon beban lentur sebesar 265.7 Kg. Model optimum antara faktor-faktor yang mempengaruhi nilai beban lentur adalah sebagai berikut : $Y = 257.269 + 7.571X_1 + 15.852 X_2 - 14.580 X_1^2 - 7.718 X_2^2 - 3.430 X_1X_2$

Kata kunci : Desain Eksperimen, response surface, Genteng Beton

I. Pendahuluan

UD X merupakan *home industry* yang bergerak dalam bidang produksi genteng beton sejak tahun 1995 yang berada di daerah waru, sidoarjo. UD X memproduksi 4 tipe genteng beton. Tipe-tipe genteng beton tersebut adalah tipe nusantara, tipe garuda, tipe flat dan tipe royal. Bahan baku yang digunakan oleh UD X dalam produksi genteng beton adalah pasir, semen, mill, fly ash, dan air. Perbandingan bahan baku tersebut adalah 4 : 2 : 2 : 1 : 4. Hasil pengujian beban lentur yang dihasilkan sebesar 288.14 Kg.

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 30 tahun 2009 menetapkan bahwa fly ash merupakan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga perlu perizinan dan pengawasan pengolahan limbah akibat pencemaran limbah fly ash. UD X menggunakan bahan baku fly ash dalam produksi genteng beton namun UD X belum memiliki surat izin dan pengawasan pengolahan limbah fly ash seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 30 tahun 2009 sebab syarat dalam perizinan dan pengawasan pengolahan limbah fly ash sulit untuk dipenuhi oleh UD X. Oleh karena itu, UD X berencana mengganti bahan baku fly ash dengan melakukan seting ulang komposisi bahan baku pasir dan semen.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ari Darmawan pada tahun 2011 diperoleh hasil pengujian beban lentur genteng beton sebesar 1189.52 N. Hasil tersebut berdasarkan komposisi level semen dan pasir sebesar 1 : 3. Hasil tersebut belum memenuhi standar beban lentur yang diatur dalam SNI 0096:2007 sehingga optimalisasi faktor pasir dan semen yang berpengaruh terhadap beban lentur genteng beton perlu diteliti agar rencana UD X dapat tercapai.

Metode response surface adalah sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan bertujuan untuk mengoptimalkan respon (Montgomery,2009). Metode response surface mampu mengidentifikasi titik-titik di luar daerah percobaan berdasarkan model ordo pertama dan menjelaskan hubungan antara variabel bebas kuantitatif terhadap respon berdasarkan model ordo kedua serta menggambarkan plot kontur dan plot response surface. Pengamatan berulang dalam metode response surface dilakukan pada titik pusat sehingga jumlah percobaan menjadi lebih sedikit (Gasperz, 1995).

Berdasarkan SNI 0096:2007 salah satu syarat mutu genteng beton adalah beban lentur. Oleh karena itu, respon penelitian ini adalah beban lentur dengan faktor yang mempengaruhi respon adalah pasir dan semen. Pencarian nilai level dan respon optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi beban lentur genteng beton serta model optimum antara faktor-faktor yang mempengaruhi nilai beban lentur genteng beton berdasarkan metode response surface adalah tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Definisi dan Syarat Mutu Beban Lentur Genteng Beton

Genteng beton adalah unsur bangunan yang dipergunakan untuk atap terbuat dari campuran merata antara semen portland atau sejenisnya dengan agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen. Syarat mutu beban lentur genteng beton ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Nilai Beban Lentur Minimal (SNI 0096 : 2007)

Tinggi profil (mm)	Genteng interlock						Genteng non interlok
	Profil				Rata		
	t >20		20 ≥ t ≥ 5		t <5		
Lebar penutup (mm)	≥ 300	≤ 200	≥300	≤ 200	≥ 300	≤ 200	-
Beban lentur (mm)	2000	1400	1400	1000	1200	800	550

II.2 Definisi Desain Eksperimen

Desain Eksperimen adalah evaluasi serentak terhadap dua atau lebih faktor terhadap kemampuan untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas gabungan dari karakteristik produk.

II.3 Response Surface Methodology

Response surface methodology merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan bertujuan untuk mengoptimalkan respon (Montgomery,2009). Hubungan antara variabel respon dan variabel independen adalah sebagai berikut :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \epsilon \tag{2.1}$$

dimana:

- Y = variabel respon
- X_i = variabel bebas/ faktor (i = 1, 2, 3, ..., k)
- ε = error

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antara respon (y) dan faktor (x) melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* (model orde I):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i \tag{2.2}$$

Model orde I yang telah sesuai (tidak ada *lack of fit*) dapat dilanjutkan untuk merancang metode dakian tercuram. Metode dakian tercuram adalah metode yang bekerja secara berurutan sepanjang permukaan respon yang bergerak secara cepat mengarah pada peningkatan respon sampai pada titik maksimum. Titik maksimum tersebut akan digunakan sebagai titik pusat pada rancangan permukaan respon orde pertama yang kedua. Titik lainnya dalam bentuk variabel Kode ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta X_i = \frac{\Delta \phi_i}{\text{jarak taraf } X_i} \tag{2.3}$$

Model orde I yang kedua dilakukan uji kesesuaian model dan uji kelengkungan. Apabila model tersebut terdapat kelengkungan maka dilanjutkan merancang permukaan respon orde 2. Model polinomial orde 2 antara variabel bebas dengan variabel respon dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon \tag{2.4}$$

Rancangan percobaan yang digunakan dalam merancang model orde 2 adalah rancangan komposit pusat. Rancangan komposit pusat adalah rancangan faktorial orde 1 yang kedua diperluas melalui penambahan titik pengamatan agar memungkinkan pendugaan koefisien parameter permukaan respon orde 2. Penambahan titik tersebut berdasarkan formula $\alpha = 2^{k/4}$ untuk ulangan penuh dan $\alpha = 2^{(k-1)/4}$ untuk setengah ulangan

Berdasarkan model orde 2 akan dilakukan perhitungan dan analisa level dari faktor yang berpengaruh di sekitar titik stationer dengan melakukan analisis kanonik. Selain itu dilakukan analisa respon secara visual melalui *response surface plot* dan *contour plot*

III. Metode Penelitian

Langkah penelitian dimulai dengan menentukan faktor dan level (variabel penelitian) yang berpengaruh pada beban lentur genteng beton. Setelah itu, dirancang permukaan respon orde pertama. Hasil dari permukaan respon orde pertama dilakukan uji kesesuaian model. Jika model orde pertama telah sesuai akan dilanjutkan ke metode dakian tercuram. Jika model orde pertama tidak sesuai maka kembali menentukan faktor dan level (variabel penelitian).

Rancangan dalam metode dakian tercuram digunakan untuk menentukan titik pusat baru berdasarkan peningkatan respon pada titik maksimum. Titik pusat tersebut digunakan untuk merancang permukaan respon orde pertama yang kedua. Hasil permukaan respon orde pertama yang kedua akan dilakukan uji kesesuaian model. Jika model orde pertama yang kedua telah sesuai dan tidak ada kelengkungan maka dapat diambil kesimpulan dan saran. Jika model orde pertama yang kedua tidak sesuai maupun terdapat kelengkungan maka dilakukan rancangan permukaan orde kedua.

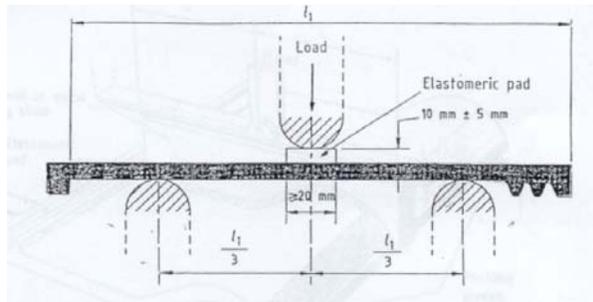
Rancangan permukaan respon orde kedua menggunakan rancangan faktorial orde 1 yang kedua dengan memperluas titik pengamatan. Hasil dari permukaan respon orde kedua dilakukan uji kesesuaian model. Jika model orde kedua telah sesuai akan dilanjutkan ke analisis kanonik. Jika model orde kedua tidak sesuai maka kembali menentukan faktor dan level (variabel penelitian). Analisis kanonik adalah mencari titik-titik stationer. Titik-titik stationer tersebut berfungsi untuk mendapatkan level dan respon optimum. Setelah itu dilakukan analisis visual berdasarkan *surface plot* dan *countour plot*. Plot tersebut menggambarkan nilai level dan respon optimum. Analisis berikutnya adalah analisis biaya dan analisis lain dari kondisi saat ini (menggunakan *fly ash*) dan kondisi optimum (tanpa menggunakan *fly ash*). Setelah itu diambil kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah dan saran untuk penelitian selanjutnya.

Metode penelitian beban lentur genteng beton menggunakan peralatan sebagai berikut :

- Mesin uji lentur yang dapat memberikan beban secara teratur dan merata dengan ketelitian 1%.
- Pisau penumpu dan pisau pembebanan dengan permukaan bulat diameter 10 – 20 mm.
- Bantalan karet (*Elastomeric pad*) dengan lebar tidak kurang dari 20 mm dan tebal 10 mm ± 5 mm dengan kekerasan 50 ± 10 Shore A (satuan kekerasan karet).
- Papan penekan terbuat dari kayu yang keras atau besi atau gips yang dicetak dengan lebar 20 mm ± 1mm.

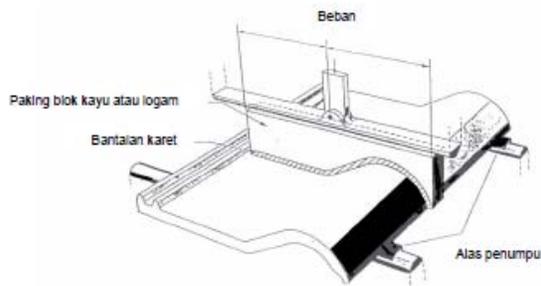
Prosedur percobaan beban lentur genteng beton adalah sebagai berikut :

- Letakan benda uji diatas pisau penumpu pada mesin uji sehingga pisau pembebanan berada ditengah-tengah pisau penumpu dengan jarak tumpu 2/3 panjang genteng.
- Letakan bantalan karet diantara pisau pembebanan dengan genteng untuk genteng datar dan rata (lihat gambar 1)



Gambar 1 Cara Uji Beban Lentur untuk Genteng Rata

- Letakan bantalan karet diantara papan penekan dengan genteng untuk genteng profil (lihat Gambar 2)



Gambar 2 Cara Uji Beban Lentur untuk Genteng Profil

- Lakukan pembebanan dengan penambahan beban yang tetap dengan kecepatan pembebanan maksimum 108 N/detik hingga genteng beton patah.
- Catat beban maksimum setiap genteng dengan ketelitian 10 N.
- Hitung karakteristik beban lentur dengan rumus berikut:

$$F_c = F - 1,64 \times sd \quad (2.5)$$

$$sd = \sqrt{\frac{\sum (F_i - F)^2}{n-1}} \quad (2.6)$$

- F_c : Karakteristik beban lentur, N
 F : Beban lentur rata-rata, N
 F_i : Beban lentur masing- masing benda uji, N
 sd : Standar deviasi
 n : jumlah benda uji

IV. Pengumpulan dan Pengolahan Data

IV.1 Menentukan Faktor dan Level (Variabel Percobaan)

Variabel penelitian beserta level dalam eksperimen meliputi :

1. Variabel/faktor bebas yang digunakan adalah pasir dan semen dengan level pada rancangan model orde I dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Level Variabel Bebas Orde 1

Faktor	-1	0	1
Pasir (X_1)	4	4.5	5
Semen (X_2)	2	2.25	2.5

2. Variabel tetap dalam penelitian adalah waktu pengeringan genteng beton yang akan diuji berumur 28 hari atau lebih, proses produksi dan ukuran genteng beton serta komposisi kapur mill dan air. Level kapur mill dan air yang digunakan dalam eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Level Variabel Tetap

Variabel Tetap	Jumlah
Kapur Mill	1 Kg
Air	1.5 Liter

3. Variabel respon dalam penelitian adalah beban lentur pada setiap komposisi genteng yang diuji.

IV.2 Permukaan Respon Orde Pertama

Hasil rancangan permukaan respon orde pertama adalah dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil Rancangan Orde Pertama

No	Variabel Kode		Variabel Asli		Beban Lentur (Kg)
	X_1	X_2	φ_1	φ_2	
1	-1	-1	4	2	164.65
2	-1	1	4	2.5	233.26
3	1	-1	5	2	178.38
4	1	1	5	2.5	246.98
5	0	0	4.5	2.25	192.10
6	0	0	4.5	2.25	192.10
7	0	0	4.5	2.25	192.10
8	0	0	4.5	2.25	219.54

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut didapatkan model orde pertama adalah sebagai berikut :

$$Y = 202.389 + 6.86 X_1 + 34.3 X_2$$

Berdasarkan hasil analisis varian model orde pertama diperoleh nilai *p-value lack of fit* sebesar 0.794. Nilai tersebut lebih besar dari pada nilai signifikansi sebesar 0.05. Artinya model orde pertama sesuai atau tidak ada *lack of fit*. Berdasarkan hal tersebut maka model regresi orde pertama dapat digunakan untuk menentukan lintasan dakian tercuram.

IV.3 Metode Dakian Tercuram

Hasil percobaan dakian tercuram dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil percobaan tersebut, daerah respon maksimal berada di sekitar titik variabel kode $X_1 = 0.8$ dan $X_2 = 4$ bersesuaian dengan variabel asli dengan komposisi pasir 4.9 Kg dan semen 3.25 Kg. Titik tersebut akan digunakan sebagai titik pusat pada rancangan permukaan orde pertama yang kedua.

Tabel 5 Hasil Metode Dakian Tercuram

Langkah	Variabel Kode		Variabel Asli		Beban Lentur (kg)
	X ₁	X ₂	φ ₁	φ ₂	
Basis	0	0	4.5	2.25	-
Δ	0.6	1	0.3	0.25	-
Basis + Δ	0.2	1	4.6	2.5	192.10
Basis + 2Δ	0.4	2	4.7	2.75	205.82
Basis + 3Δ	0.6	3	4.8	3	219.54
Basis + 4Δ	0.8	4	4.9	3.25	260.70
Basis + 5Δ	1	5	5	3.5	246.98
Basis + 6Δ	1.2	6	5.1	3.75	192.10
Basis + 7Δ	1.4	7	5.2	4	178.38
Basis + 8Δ	1.6	8	5.3	4.25	164.65
Basis + 9Δ	1.8	9	5.4	4.5	150.93
Basis + 10Δ	2	10	5.5	4.75	137.21

IV.4 Rancangan Permukaan Respon Orde Pertama yang Kedua

Hasil rancangan permukaan respon orde pertama yang kedua dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil Rancangan Orde Pertama yang Kedua

No	Variabel Kode		Variabel Asli		Beban Lentur (kg)
	X ₁	X ₂	φ ₁	φ ₂	
1	-1	-1	4.4	3	205.82
2	-1	1	4.4	3.5	246.98
3	1	-1	5.4	3	233.26
4	1	1	5.4	3.5	260.70
5	0	0	4.9	3.25	260.70
6	0	0	4.9	3.25	260.70
7	0	0	4.9	3.25	246.98
8	0	0	4.9	3.25	260.70

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut didapatkan model orde pertama yang kedua adalah sebagai berikut :

$$Y = 257.27 + 10.29 X_1 + 17.15 X_2$$

Berdasarkan hasil analisis varian model orde pertama yang kedua diperoleh nilai *p-value lack of fit* sebesar 0.391. Nilai tersebut lebih besar dari pada nilai signifikansi sebesar 0.05. Artinya model orde pertama yang kedua sesuai atau tidak ada *lack of fit*. Namun, nilai *p-value* kelengkungan yang diperoleh sebesar 0.013. Nilai tersebut lebih kecil dari pada nilai tingkat signifikansi sehingga Tolak H₀. Artinya model orde pertama yang kedua terdapat kelengkungan dalam model. Jika terdapat kelengkungan maka percobaan harus dilanjutkan untuk menduga orde yang lebih tinggi (orde kedua).

IV.5 Rancangan Permukaan Respon Orde Kedua

Hasil rancangan permukaan respon orde kedua dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut didapatkan model orde kedua adalah sebagai berikut :

$$Y = 257.269 + 7.571 X_1 + 15.852 X_2 - 14.580 X_1^2 - 7.718 X_2^2 - 3.430 X_1 X_2$$

Berdasarkan hasil analisis varian model orde pertama diperoleh nilai *p-value lack of fit* sebesar 0.620. Nilai tersebut lebih besar dari pada nilai signifikansi sebesar 0.05. Artinya model orde kedua sesuai atau tidak ada *lack of fit*. Selain itu, orde kedua telah dilakukan pemeriksaan asumsi galat. Hasilnya galat telah memenuhi asumsi normal, identik dan homoskedisitas

IV.6 Analisis Kanonik

Titik-titik stationer ditentukan dengan mengubah model orde kedua ke dalam matriks. Titik-titik stationer model orde kedua dalam bentuk variabel kode adalah X_{1,S} = 0.142566 dan X_{2,S} = 0.995271. Nilai variabel asli dari titik-titik stationer adalah 4.97 kg pasir dan 3.5 kg semen. Nilai dugaan respon pada titik stationer sebesar 265.7 Kg. Persamaan kanonik yang di dapatkan adalah :

$$Y = 265.7 - 14.9848 W_1^2 - 7.31325 W_2^2$$

Berdasarkan perhitungan data analisis kanonik kedua nilai eigen (λ) bernilai negative sehingga dapat disimpulkan bahwa titik stationer merupakan titik dari respon maksimum. Hubungan antara variabel kanonik dan variabel kode dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$W_1 = 0.972326 X_1 - 0.2297 X_2 + 0.09$$

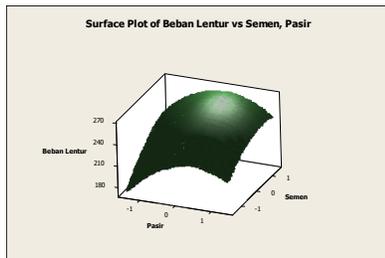
$$W_2 = 0.2297 X_1 + 0.972326 X_2 - 1$$

Tabel 7 Hasil Rancangan Orde Pertama yang Kedua

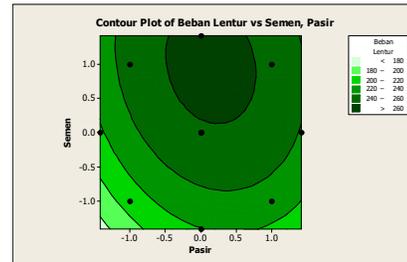
No	Variabel Kode		Variabel Asli		Beban Lentur (Kg)
	X ₁	X ₂	ϕ_1	ϕ_2	
1	-1	-1	4.4	3	205.82
2	-1	1	4.4	3.5	246.98
3	1	-1	5.4	3	233.26
4	1	1	5.4	3.5	260.70
5	0	0	4.9	3.25	260.70
6	0	0	4.9	3.25	260.70
7	0	0	4.9	3.25	246.98
8	0	0	4.9	3.25	260.70
9	0	-1.414	4.9	2.8965	219.54
10	-1.414	0	4.192	3.25	219.54
11	1.414	0	5.6	3.25	233.26
12	0	1.414	4.9	3.6	260.70

V. Analisa Data

V.1 Analisa Permukaan Respon



Gambar 3 Hasil *Surface Plot*



Gambar 4 Hasil *Contour Plot*

Hasil *surface plot* yang didapat ditunjukkan pada Gambar 3 dan Hasil *contour plot* yang didapat ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 plot kontur berbentuk bulat menunjukkan bahwa respon peka terhadap faktor pasir dan semen. Beban lentur sebesar 260 kg atau lebih dapat dicapai pada faktor pasir dengan level 0 atau pada komposisi 4.9 kg dan faktor semen dengan level 0 atau 3.25 kg atau dapat pula dengan level +1 atau 3.5 kg.

V.2 Analisis Biaya

Analisa biaya masing-masing komposisi genteng beton dan harga jual genteng beton adalah sebagai berikut :

- Harga Semen Gresik per kg : Rp. 1.300
- Harga pasir beton per kg : Rp. 167
- Harga *fly ash* per kg : Rp. 250
- Harga 1 buah genteng beton : Rp. 6000

Berdasarkan biaya tersebut diperoleh biaya produksi genteng beton dan keuntungan genteng beton dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Rangkuman Analisa Biaya

Analisa Biaya	Kondisi Optimum	Kondisi Saat ini
Biaya Produksi	Rp. 2.700	Rp. 1.884
Keuntungan	Rp. 3.300	Rp. 4.116

Biaya tersebut belum memperhitungkan biaya komposisi kapur mill, air, gaji pekerja, biaya distribusi, listrik, dll. Walaupun secara ekonomis kondisi saat ini (menggunakan *fly ash*) lebih menguntungkan dari pada kondisi

optimum (tanpa menggunakan *fly ash*) terdapat pertimbangan lain yang perlu diperhatikan. Pertimbangan tersebut dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9 Pertimbangan Menggunakan Kondisi Optimum dan Kondisi Saat ini

Bahan Baku dengan fly ash (Kondisi saat ini)	Bahan baku tanpa fly ash (Kondisi Optimum)
UD X belum memiliki surat perizinan dan pengawasan pengolahan limbah fly ash yang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 30 tahun 2009	Mengurangi limbah B3 sebab limbah tersebut digunakan untuk bahan baku genteng beton
Penggunaan bahan baku <i>fly ash</i> bila diaplikasikan dengan material <i>finishing</i> atau dicat akan bereaksi secara kimia yang menyebabkan finishing cepat rusak	Mempermudah dalam pengerjaan, genteng beton cepat kering (matang), permukaan beton lebih rata dan halus, dan kekuatan genteng beton meningkat.

VI. Kesimpulan dan Saran

VI.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil dari analisa menggunakan *Response Surface Method* diperoleh level dan respon optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi beban lentur adalah 45 : 32 : 9 : 14 (Pasir : Semen : Kapur Mill: Air) akan mendapatkan nilai respon beban lentur sebesar 265.7 Kg
- Berdasarkan hasil dari analisa menggunakan *Response Surface Method* diperoleh Model optimum antara faktor-faktor yang mempengaruhi nilai beban lentur adalah sebagai berikut :

$$Y = 257.269 + 7.571X_1 + 15.852 X_2 - 14.580 X_1^2 - 7.718 X_2^2 - 3.430 X_1 X_2$$

VI.2 Saran

Penelitian lebih lanjut dapat meneliti komposisi pasir dan semen dengan jenis yang lain atau menambahkan faktor lain yang berpengaruh pada beban lentur genteng beton serta meneliti respon lain yaitu penyerapan air dan ketahanan air terhadap rembesan air.

Daftar Pustaka

- Khuri, AI & Cornnel John. (1991). *Response Surface Design and Analyses second Edition, Revised and Expanded*. Dekker. Texas
- Montgomery, DC. (2009). *Design and Analysis of Eksperimen*. 7th Edition. Wiley, New York.
- Rianthi, Ni Wayan Ratna. (2013). *Optimasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Ekstraksi Minyak Daun Cengkeh Menggunakan Metode Permukaan Respons*. Universitas Mataram.
- Sudjana, 1995, *Desain dan Analisis Eksperimen*, Edisi Keempat, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Wuryati Candra dan samekto Rahmadiyanto. 2001. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius
- Irwan Soejanto. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Supatmi. (2011). *Analisis Kualitas Genteng Beton dengan Bahan Tambah Serat Ijuk dan Pengurangan Pasir*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 3. 2009. Tata Laksana Perizinan dan Pengawasan Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun serta Pengawasan Pemulihan Akibat Pencemaran Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun oleh Pemerintah Daerah.
- Badan Standarisasi Nasional. 2007. Standar Nasional Indonesia Genteng Beton 0096 : 2007
- Darmawan, Ari. 2011. *Pengujian Genteng Beton dengan Penambahan Campuran Fly ash*. Universitas Jember.

Halaman ini kosong