

# PENENTUAN SETTING *LEVEL OPTIMAL* PADA PEMANFAATAN ABU SEKAM PADI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS *PAVING BLOCK* MENGUNAKAN METODE EKSPERIMEN TAGUCHI

**Erni Suparti<sup>1)</sup>, Retno Wulan Damayanti<sup>2)</sup>, Eko Pujiyanto<sup>3)</sup>**

Magister Teknik Industri Universitas Islam Indonesia <sup>1)</sup>,

Jurusan Teknik Industri Universitas Sebelas Maret Surakarta <sup>2)3)</sup>

Email : erni\_industri@yahoo.com<sup>1)</sup>, yanti\_ftuns@uns.ac.id<sup>2)</sup>, eko@uns.ac.id<sup>3)</sup>

## Abstract

*Paving block is one of construction material elements that is now widely used by the society. The quality improvement of paving block product should be conducted continuously to avoid the product defect. The defect usually occurring in paving block includes the surface fracture and fissure. The common way conducted to improve the quality of paving block was to add the amount of cement into the material mix. But this may result in the higher cost of raw material. For that reason, it was used another alternative material whose function is similar to the cement's. In this research the alternative material added was the rice husk ash.*

*The characteristics of quality that will be optimized to improve the quality of paving block are the compressive strength and percentage of water absorption. Both characteristics were optimized simultaneously. In order to test those two characteristics the Taguchi experiment was conducted.*

*The approach used in processing data was to combine the experiment design from Taguchi method, regression model and optimization of total quality loss function using non-linear programming model. The data processing was conducted to obtain the optimum setting level. The optimum setting level was the combination of level providing the number of minimum quality loss function.*

*Keywords: Taguchi Method, Regression Model, Quality Loss Function, Non Linear Programming*

## PENDAHULUAN

*Paving block* merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif pengerasan permukaan tanah. Berdasarkan pada observasi awal diperoleh informasi mengenai kecacatan yang sering terjadi pada *paving block* yaitu antara lain retak permukaan, mudah tergerus (aus) dan mudah patah. Kecacatan ini bisa diatasi dengan menambahkan jumlah semen ke dalam adukan bahan. Namun demikian, penambahan jumlah semen akan meningkatkan biaya bahan baku. Oleh karena itu perlu mencoba penggunaan bahan tambahan lain yang lebih murah yang fungsinya hampir sama dengan fungsi semen.

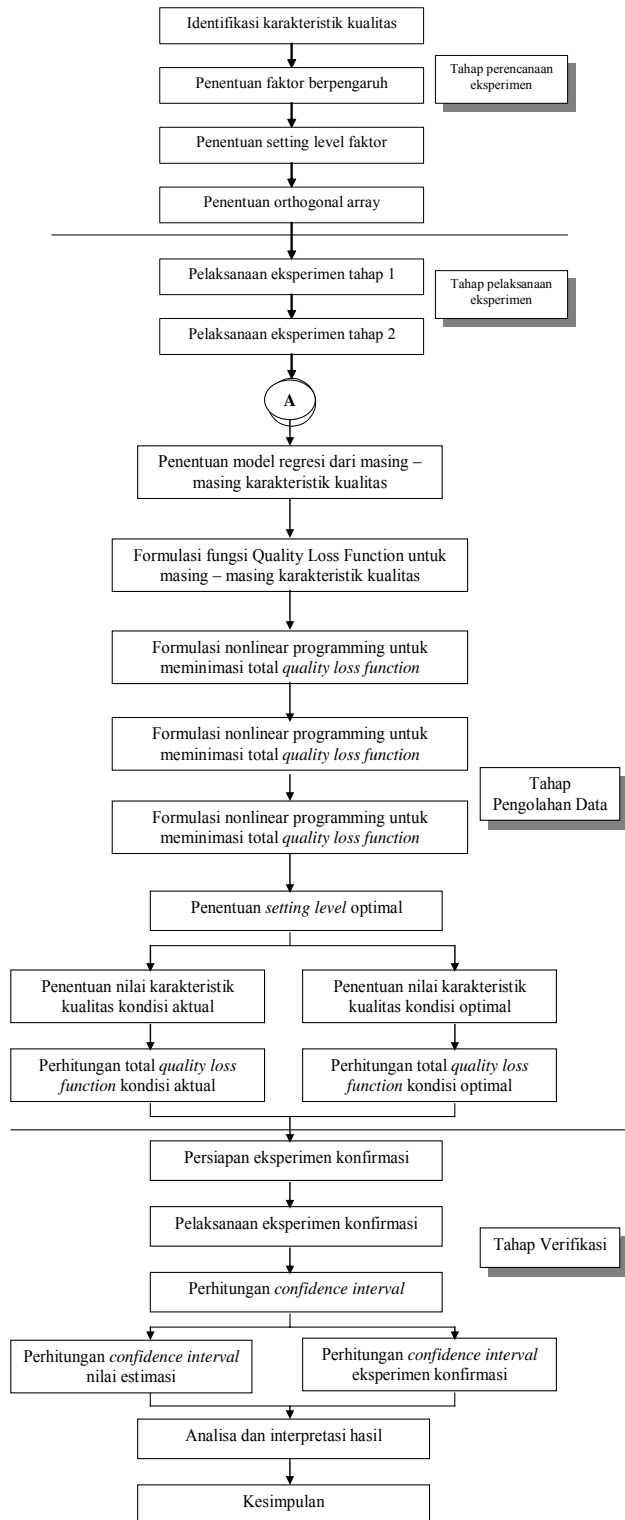
Berdasarkan studi literatur, diperoleh informasi bahwa abu sekam padi mengandung silika dalam bentuk amorphous dan mempunyai sifat pozzolan aktif. Adanya sifat pozzolan aktif ini menandakan bahwa abu sekam padi dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Hartono, 2003). Berdasarkan

karakteristik inilah abu sekam padi diharapkan dapat digunakan untuk menggantikan semen.

Dalam makalah ini akan dipaparkan hasil eksperimen sebagai bukti secara empiris mengenai manfaat abu sekam padi untuk meningkatkan kualitas *paving block*. Eksperimen dilaksanakan berdasarkan metode eksperimen Taguchi. Dengan eksperimen Taguchi ini akan dilakukan kombinasi terhadap level – level faktor yang berpengaruh terhadap kualitas *paving block*. Karakteristik kualitas *paving block* yang diuji dalam eksperimen adalah kuat desak dan persentase serapan air. Kedua karakteristik ini dioptimalkan secara simultan menggunakan metode regresi linear untuk memperoleh setting level optimal. *Setting level* optimal yaitu kombinasi level faktor yang memberikan kualitas terbaik berdasarkan tipe karakteristik kualitas. Jika *setting level* optimal ini diaplikasikan, diharapkan akan meningkatkan kualitas produk dan memberikan total kerugian yang minimal bagi perusahaan.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :



Gambar 1 Tahapan penelitian

Tahapan penelitian pada gambar 1 dijelaskan sebagai berikut :

**Tahap perencanaan eksperimen**

Perencanaan eksperimen dilakukan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas *paving block* serta menentukan level - level yang akan dilibatkan dalam eksperimen. Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahap ini adalah sebagai berikut :

- a. Identifikasi karakteristik kualitas *Paving block* dengan kualitas baik adalah *paving block* yang mempunyai nilai kuat desak tinggi (satuan MPa), serta nilai absorpsi (persentase serapan air) rendah (%). Oleh karena itu tipe karakteristik kualitas yang diteliti adalah *larger the better* untuk kuat desak, dan *smaller the better* untuk persentase serapan air. Kedua karakteristik ini akan dioptimalkan secara simultan.

- b. Penentuan faktor berpengaruh  
Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas produk *paving block* adalah sebagai berikut :

- Faktor air semen
- Perbandingan antara jumlah semen dan pasir
- Jumlah bahan tambahan yang digunakan
- Umur benda uji
- Jenis semen
- Sifat agregat

Faktor – faktor tersebut merupakan faktor terkendali. Adapun faktor beserta nilai perlakuan pada kondisi aktual di UD Suparman, Bantul penghasil *paving block* disajikan dalam tabel 1 berikut :

Tabel 1 Faktor beserta nilai perlakuan pada kondisi aktual di UD Suparman

Kode	Nama faktor	Nilai
A	Faktor air semen	0,35
B	Persentase abu sekam padi	0%
C	Umur benda uji	14 hari
D	Ukuran maksimum agregat	5 mm

- c. Penentuan *setting level* faktor  
*Setting level* yang ditentukan untuk masing – masing faktor terkendali dijelaskan pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2 *Setting level* faktor terkendali

Kode	Nama faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Faktor air semen	0,3	0,35	0,4
B	Persentase abu sekam padi	5%	10%	15%
C	Umur benda uji	21 hari	28 hari	35 hari
D	Ukuran maksimum agregat	1,18 mm	2,36 mm	5 mm

d. Penentuan *orthogonal array*

*Orthogonal array* merupakan matriks keseimbangan yang menunjukkan penugasan faktor eksperimen. Langkah – langkah yang harus dilakukan dalam penentuan *orthogonal array* adalah sebagai berikut :

a. Menghitung jumlah derajat bebas

Total derajat bebas adalah hasil penjumlahan derajat bebas dari tiap faktor. Hasil perhitungan derajat bebas faktor terkendali diuraikan pada tabel 3 berikut :

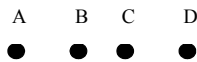
Tabel 3 Derajat bebas faktor terkendali

Faktor	Derajat bebas	Total
A,B,C,D	$4 \times (3 - 1)$	8
Total derajat bebas		<b>8</b>

b. Memilih suatu *orthogonal array* yang mempunyai derajat bebas minimal

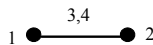
Berdasarkan tabel 3 total derajat bebas yang diperlukan untuk faktor terkendali adalah sebesar 8, sehingga *orthogonal array* faktor terkendali yang sesuai adalah  $L_9(3^4)$ .

c. Menggambar *graph linear* yang diperlukan *Graph linear* faktor terkendali yang diperlukan dijelaskan pada gambar 2 berikut :



Gambar 2 *Graph linear* faktor terkendali

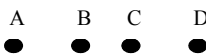
d. Memilih *graph linear* standar yang sesuai *Graph linear* standar dipilih dari beberapa bentuk *graph linear* standar untuk  $L_9$ . *Graph linear* standar  $L_9$  yang dipilih disajikan pada gambar 3 berikut :



Gambar 3 *Graph linear* standar  $L_9$

e. Menyesuaikan *graph linear* yang diperlukan ke *graph linear* standar dari *orthogonal array* yang dipilih.

Hasil *penyesuaian graph linear* faktor terkendali digambarkan pada gambar 4 berikut :



Gambar 4 *Graph linear* faktor terkendali yang telah disesuaikan

f. Mengisikan faktor ke *orthogonal array*. *Orthogonal array* untuk  $L_9(3^4)$  disajikan dalam tabel 4 berikut :

Tabel 4 *Orthogonal array* faktor terkendali

No Eksperimen	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Keterangan:

- Baris 1 sampai dengan 9 = jumlah eksperimen dengan kombinasi level yang diwakili level 1, 2 dan 3 pada masing-masing faktor.
- Kolom 1 sampai dengan 4 = faktor-faktor terkendali (A, B,C, dan D)

**Tahap pelaksanaan eksperimen**

Pada tahap ini dilaksanakan eksperimen sebanyak dua tahap. Eksperimen tahap 1 merupakan eksperimen yang dilakukan terhadap sampel yang dibuat dengan level faktor sesuai dengan kondisi aktual di perusahaan. Data yang diperoleh pada tahap ini digunakan untuk membandingkan dengan kualitas *paving block* yang telah ditambah abu sekam padi. Eksperimen tahap 2 dilakukan terhadap sampel yang dibuat berdasarkan level faktor terkendali yang telah diidentifikasi berpengaruh terhadap kuat desak dan persentase serapan air. Kombinasi level faktor yang dieksperimentasikan dilakukan berdasarkan *orthogonal array* yang telah dibuat.

Berikut akan dijelaskan mengenai sampel pengujian dibuat serta alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen tersebut :

a. Benda uji

Untuk menguji kualitas *paving block* dibuat sampel sesuai dengan standar uji kuat desak ASTM C 780. Sampel *paving block* yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm. Bahan utama yang digunakan adalah semen dan pasir dengan perbandingan 1 : 3. Pembuatan sampel dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Siapkan cetakan, olesi cetakan dengan sedikit oli agar benda uji mudah dilepas.
- Siapkan bahan – bahan yang diperlukan.
- Ayak abu sekam padi dengan ukuran ayakan maksimum 0,21 mm.
- Timbang bahan – bahan sesuai dengan komposisi yang ditetapkan dalam eksperimen.
- Campur semen, pasir dan abu sekam padi hingga rata.

- Tuangkan air sesuai dengan faktor air semen yang ditentukan.
  - Adukan dituangkan dalam cetakan kemudian dipadatkan.
  - Setelah sampel mengeras kemudian dilepas dari cetakan dan dilakukan perendaman sampai pada umur yang ditentukan.
  - Sampel yang telah siap, kemudian dilakukan pengujian kuat desak dan serapan air.
- b. Bahan yang digunakan untuk membuat sampel adalah sebagai berikut :
- Semen
  - Pasir
  - Air
  - Abu sekam padi
- c. Alat pendukung yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji adalah:
- Ember
  - Cetok
  - Cetakan
  - Gelas ukur
  - Timbangan merk “Yamato” untuk menimbang komposisi bahan
- d. Alat-alat eksperimen yang digunakan
- Mesin uji Universal Testing Machine (UTM) untuk menguji kuat desak.
  - Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji pada pengujian serapan air. yang dijelaskan sebagai berikut :

## HASIL

### Hasil eksperimen tahap I

Hasil eksperimen tahap I untuk uji kuat desak dan persentase serapan air dipaparkan dalam tabel 5 dan 6 berikut :

Tabel 5 Data hasil eksperimen tahap I untuk uji kuat desak

No	Kuat desak (Mpa)	No	Kuat desak (Mpa)	No	Kuat desak (Mpa)
1	12,15	6	11,37	11	12,74
2	10,00	7	10,35	12	10,98
3	10,58	8	11,17	13	10,39
4	9,80	9	10,58	14	10,19
5	10,19	10	12,94	15	11,13

- Rata – rata hasil uji kuat desak = 10,97 Mpa
- Standar deviasi hasil uji kuat desak = 0,97 Mpa

Tabel 6 Data hasil eksperimen tahap I untuk uji persentase serapan air

No	Serapan air (%)	No	Serapan air (%)	No	Serapan air (%)
1	8,16	6	7,91	11	8,21
2	8,01	7	7,41	12	7,77
3	8,30	8	7,91	13	7,88
4	8,61	9	8,30	14	7,88
5	8,61	10	8,39	15	8,77

- Rata – rata hasil uji serapan air = 8,14 %
- Standar deviasi hasil uji serapan air = 0,37 %

### Hasil eksperimen tahap 2

Data hasil eksperimen tahap 2 untuk uji kuat desak dan persentase serapan air dipaparkan dalam tabel 7 dan 8 berikut :

Tabel 7 Data hasil eksperimen tahap II untuk uji kuat desak (satuan MPa)

No	A	B	C	D	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Rata - rata
1	1	1	1	1	4,06	3,68	7,41	7,29	2,98	4,47	2,74	3,72	4,54
2	1	2	2	2	4,27	4,55	6,62	5,17	4,19	4,08	2,59	2,67	4,27
3	1	3	3	3	5,04	6,46	8,70	4,35	5,96	4,94	5,96	7,96	6,17
4	2	1	2	3	20,85	15,99	15,99	18,19	22,89	19,60	12,23	12,25	17,25
5	2	2	3	1	5,88	6,08	5,45	6,78	7,06	6,04	6,43	6,19	6,24
6	2	3	1	2	5,74	3,80	3,06	3,63	6,23	5,02	4,10	5,76	4,67
7	3	1	3	2	14,70	17,76	14,64	13,29	13,60	15,25	15,33	15,13	14,96
8	3	2	1	3	3,90	2,90	4,39	6,33	3,84	6,47	7,33	4,31	4,93
9	3	3	2	1	3,45	3,37	4,00	3,84	8,51	4,55	5,45	4,00	4,65

Tabel 8 Data hasil eksperimen tahap II untuk uji serapan air (%)

No	A	B	C	D	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Rata - rata
1	1	1	1	1	18,37	16,00	16,00	14,29	20,00	16,67	18,00	16,67	17,00
2	1	2	2	2	12,00	14,00	17,31	13,21	8,33	12,70	15,69	14,75	13,50
3	1	3	3	3	19,15	23,81	23,26	23,81	19,57	21,74	20,93	22,73	21,87
4	2	1	2	3	5,26	7,14	6,90	8,62	10,53	7,02	5,17	10,71	7,67
5	2	2	3	1	6,12	3,45	6,90	5,17	10,20	8,00	8,51	8,33	7,09
6	2	3	1	2	21,15	18,00	15,69	20,00	14,81	18,00	15,69	16,67	17,50
7	3	1	3	2	6,12	7,14	8,00	5,77	5,88	8,77	4,00	8,93	6,83
8	3	2	1	3	13,04	19,05	16,00	22,73	19,05	22,73	21,74	15,69	18,75
9	3	3	2	1	13,04	13,04	10,42	9,80	12,50	10,64	15,22	10,00	11,83

Keterangan:

- Baris 1 sampai dengan 9 = jumlah eksperimen dengan kombinasi level yang diwakili level 1 , 2 dan 3 pada masing-masing faktor.
- Kolom 1 sampai dengan 4 = faktor-faktor terkendali (A, B,C dan D).
- R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 dan R8 = hasil eksperimen serapan air (%) sebanyak 8 replikasi.

### Menentukan persamaan regresi untuk masing-masing karakteristik kualitas

Persamaan regresi diperoleh dengan bantuan *software* SPSS 12.0. Hasil persamaan regresi disajikan pada tabel 9 berikut :

Tabel 9 Persamaan regresi untuk dua karakteristik kualitas

Variabel	Y <sub>1</sub> (Kuat desak)	Y <sub>2</sub> (Serapan air)
Konstanta	2,706	13,672
A	1,593	-2,494
B	-3,545	3,286
C	2,205	-2,911
D	2,154	2,063

Fungsi karakteristik kualitas yang diperoleh dari persamaan regresi adalah sebagai berikut :

- Untuk karakteristik kualitas kuat desak :  

$$Y_1 = 2,706 + 1,593 A - 3,545 B + 2,205 C + 2,154 D \dots\dots\dots (1)$$

$$R^2 = 0,662$$
- Untuk karakteristik kualitas serapan air :  

$$Y_2 = 13,672 - 2,494 A + 3,286 B - 2,911 C + 2,063 D \dots\dots\dots (2)$$

$$R^2 = 0,616$$

Kemungkinan nilai variabel dari kedua persamaan 1 dan 2 adalah sesuai dengan level – level dalam eksperimen yaitu 1, 2, dan 3.

**Menentukan setting level optimal paving block dengan penambahan abu sekam padi untuk dua karakteristik kualitas secara simultan**

Dalam menentukan *setting level* optimal untuk dua karakteristik secara simultan, terlebih dulu dihitung kerugian yang disebabkan oleh adanya variasi kualitas *paving block*. Kerugian tersebut dapat dihitung secara kuantitatif dengan *quality loss function* berdasarkan tipe karakteristik kualitasnya.

Total kerugian atau L(y) merupakan jumlah seluruh kerugian oleh kedua karakteristik kualitas. Setelah diperoleh fungsi total kerugian kemudian dilakukan optimasi untuk menentukan *setting level* optimal dengan bantuan *software Mathcad 2000*.

$$L(Y) = L(y_1) + L(y_2) \quad (3)$$

Keterangan :

- L(y<sub>1</sub>) merupakan fungsi kerugian untuk karakteristik kualitas kuat desak dengan tipe *larger the better* yang mempunyai fungsi  $L(y_1) = k_1 (y_1)^{-2}$ .
- L(y<sub>2</sub>) merupakan fungsi kerugian untuk karakteristik kualitas serapan air dengan tipe *smaller the better* yang mempunyai fungsi  $L(y_2) = k_2 (y_2)^2$

Fungsi kerugian kedua karakteristik kualitas dengan substitusi persamaan regresi 1 dan 2 adalah sebagai berikut :

$$L(y_1) = k_1 (2,706 + 1,593 A - 3,545 B + 2,205 C + 2,154 D)^{-2} \dots\dots\dots (4)$$

$$L(y_2) = k_2 (13,672 - 2,494 A + 3,286 B - 2,911 C + 2,063 D)^2 \dots\dots\dots (5)$$

Perhitungan konstantan k<sub>1</sub> dan k<sub>2</sub> :

Konstanta k<sub>1</sub> dan k<sub>2</sub> untuk fungsi kerugian tersebut terdiri dari A<sub>0</sub> dan Δ. Nilai A<sub>0</sub> adalah biaya yang dikeluarkan untuk membuat satu buah *paving block* dengan bahan tambahan abu sekam padi. Nilai Δ adalah batas spesifikasi nilai kuat desak ataupun persentase serapan air produk *paving block*.

- A<sub>0</sub> = Rp 406,00
- Batas spesifikasi minimal nilai kuat desak adalah 8,5 Mpa (kuat desak *paving block* mutu D).
- Batas spesifikasi maksimal untuk nilai persentase serapan air dengan karakteristik *smaller the better* adalah 10 % (persentase serapan air *paving block* mutu D).

$$k_1 = A_0 \times \Delta^2 = 406 \times 8,5^2 = 29.333,5$$

$$k_2 = \frac{A_0}{\Delta^2} = \frac{406}{10^2} = 4,06$$

Setelah konstanta k<sub>1</sub> dan k<sub>2</sub> diketahui, maka fungsi kerugian dapat ditulis sebagai berikut:

$$L(y_1) = 29.333,5 (2,706 + 1,593 A - 3,545 B + 2,205 C + 2,154 D)^{-2}$$

$$L(y_2) = 4,06 (13,672 - 2,494 A + 3,286 B - 2,911 C + 2,063 D)^2$$

Langkah selanjutnya adalah mencari *setting level* terbaik dari faktor A, B, C dan D. Formulasi matematika untuk mencari *setting level* terbaik yang memberikan total kerugian paling minimum adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

Meminimumkan

$$L(Y) = 29.333,5 (2,706 + 1,593 A - 3,545 B + 2,205 C + 2,154 D)^{-2} + 4,06 (13,672 - 2,494 A + 3,286 B - 2,911 C + 2,063 D)^2$$

Batasan:

- 1) L(y) ≥ 0
- 2) L(y<sub>1</sub>) ≥ 0
- 3) L(y<sub>2</sub>) ≥ 0
- 4) L(y<sub>3</sub>) ≥ 0
- 5) 1 ≤ A ≤ 3
- 6) 1 ≤ B ≤ 3
- 7) 1 ≤ C ≤ 3
- 8) 1 ≤ D ≤ 3

Berdasarkan formulasi matematika tersebut kemudian dilakukan optimasi dengan *software* Mathcad 2000 untuk memperoleh *setting level* optimal yang dipaparkan dalam tabel 11 berikut :

Tabel 11 Setting level optimal

Faktor eksperimen	A	B	C	D
Setting level	3	1	3	1,229

Berdasar tabel 11 diperoleh *setting level* optimal antara lain : faktor air semen 0,4, persentase abu sekam padi 5%, umur benda uji 35 hari, dan ukuran maksimum agregat 1,18mm. Pada faktor ukuran maksimum agregat diperoleh hasil level 1,229. Level tersebut kemudian dibulatkan menjadi 1. Hal ini dilakukan karena setelah dilakukan interpolasi terhadap level ukuran maksimum agregat tersebut, belum terdapat ukuran ayakan dengan besar sesuai dengan hasil interpolasi. Adapun interpolasi dari level ukuran maksimum agregat adalah sebagai berikut :

$$\frac{2-1,229}{2-1} = \frac{2,36-x}{2,36-1,18}$$

$$\frac{0,771}{1} = \frac{2,36-x}{1,18}$$

$$2,36-x = 0,771 \times 1,18$$

$$2,36-x = 0,910$$

$$x = 2,36 - 0,910$$

$$= 1,45 \text{ mm}$$

Ayakan dengan ukuran 1,45 mm belum terdapat dalam ukuran standard yang selama ini dikeluarkan oleh ISO (International Standards Organizations, Geneva, Switzerland). Pada saat ini ukuran lubang ayakan telah diseragamkan dengan ukuran yang dikeluarkan oleh ISO yaitu : 37,5mm, 19mm, 9,5mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,60mm, 0,30mm, 0,15mm, dan 0,075mm (Tjokrodimaljo, 1992). Karena keterbatasan alat tersebut, ukuran lubang ayakan yang digunakan dalam *setting level* optimal pada eksperimen konfirmasi adalah 1,18mm. *Setting level* optimal yang diterapkan pada eksperimen konfirmasi disajikan dalam tabel 12 berikut :

Tabel 12 Setting level optimal untuk melakukan eksperimen konfirmasi

Faktor eksperimen	A	B	C	D
Setting level	3	1	3	1

**Perhitungan nilai estimasi karakteritik kualitas kondisi optimal**

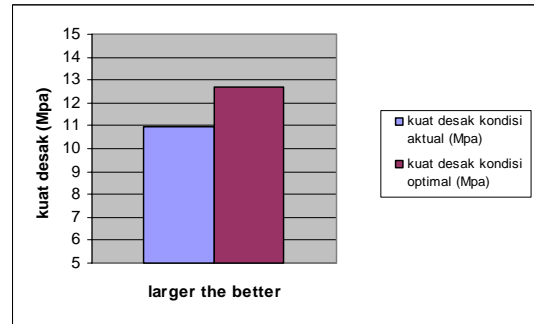
Kondisi optimal merupakan kondisi *paving block* dengan penambahan abu sekam padi yang dibuat dengan memperhatikan *setting level* optimal yang

diperoleh. Hasil perhitungan estimasi tiap karakteristik kualitas untuk kondisi optimal diuraikan pada tabel 13 berikut ini :

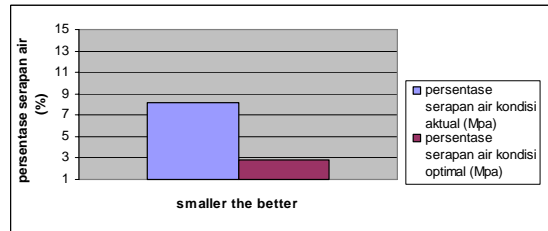
Tabel 13 Nilai estimasi karakteristik kualitas kondisi optimal

Setting Level Optimal					Nilai Optimal	
Faktor	A	B	C	D	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>
Level	3	1	3	1	12,71	2,81

Grafik perbandingan nilai karakteristik kualitas kondisi aktual dengan nilai estimasi pada kondisi optimal adalah sebagai berikut :



Gambar 5 Grafik perbandingan nilai kuat desak kondisi aktual dengan nilai estimasi pada kondisi optimal



Gambar 6 Grafik perbandingan persentase serapan air kondisi aktual dengan kondisi optimal

Berdasarkan gambar 5 dan 6 diperoleh informasi bahwa terdapat peningkatan nilai kuat desak dan penurunan persentase serapan air dari kondisi aktual (*paving block* tanpa tambahan abu sekam padi) dibandingkan dengan kondisi optimal (*paving block* dengan penambahan abu sekam padi).

**Perhitungan total kerugian kondisi aktual**

Perhitungan kerugian untuk masing – masing karakteristik kualitas adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan kerugian akibat variasi kualitas kuat desak pada *paving block*

$$L(y_1) = k \left[ \frac{1}{\mu^2} \times \left( 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right) \right]$$

$$= 29.333,5 \left[ \left( \frac{1}{10,97^2} \right) \times \left( 1 + \frac{3 \times 0,97^2}{10,97^2} \right) \right]$$

$$= 249,434$$

- b. Perhitungan kerugian akibat variasi kualitas serapan air pada *paving block*

$$L(y_2) = k(\sigma^2 + \bar{y}^2)$$

$$= 4,06(0,37^2 + 8,14^2)$$

$$= 269,738$$

Total kerugian kondisi aktual diperoleh sebagai berikut :

$$L(y) = L(y_1) + L(y_2)$$

$$= 249,434 + 269,738$$

$$= 519,172$$

Jadi, total kerugian kondisi aktual diperoleh **Rp 519,172** per produk.

#### Perhitungan total kerugian kondisi optimal

Total kerugian kondisi optimal dihitung dengan menjumlahkan kerugian tiap karakteristik kualitas, hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 14 Total kerugian untuk kondisi optimal

Setting Level Optimal					Nilai Optimal	
Faktor	A	B	C	D	L(y <sub>1</sub> )	L(y <sub>2</sub> )
Level	3	1	3	1	181,611	31,967
Total Kerugian					Rp 213,578	

Hasil perhitungan total kerugian kondisi aktual maupun kondisi optimal dibandingkan hasilnya seperti disajikan dalam tabel 15 berikut :

Tabel 15 Perbandingan total kerugian kondisi aktual dengan kondisi optimal

Karakteristik kualitas	Tipe	Kondisi aktual	Kondisi optimal	Nilai Spesifikasi
Y <sub>1</sub> (kuat desak)	ltb	249,434	181,611	8,5 Mpa ~
Y <sub>2</sub> (persentase serapan air)	stb	269,738	31,967	0 – 10 %
Total Kerugian L(y)		Rp 519,172	Rp 213,578	

Berdasar tabel 15 terlihat bahwa total kerugian yang dihadapi perusahaan bila menerapkan *setting level optimal* adalah sebesar Rp 213,578. Jumlah ini lebih kecil dari kerugian yang dialami pada pembuatan *paving block* kondisi aktual tanpa penambahan abu sekam padi.

#### Tahap Verifikasi

Tahap verifikasi dilakukan untuk menguji hasil estimasi karakteristik kualitas. Caranya adalah dengan

melakukan eksperimen konfirmasi dan penghitungan *confidence interval*.

#### a. Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 16 Data kuat desak hasil eksperimen konfirmasi

No	Kuat desak (Mpa)	No	Kuat desak (Mpa)	No	Kuat desak (Mpa)
1	15,68	6	15,68	11	17,25
2	16,46	7	12,54	12	16,50
3	13,92	8	15,68	13	17,25
4	12,15	9	13,13	14	16,31
5	13,72	10	12,58	15	17,09

- Rata – rata nilai kuat desak pada eksperimen konfirmasi = 15,06 Mpa

Tabel 17 Data persentase serapan air hasil eksperimen konfirmasi

No	Serapan air (%)	No	Serapan air (%)	No	Serapan air (%)
1	3,51	6	5,36	11	5,17
2	5,26	7	5,17	12	5,08
3	5,36	8	6,67	13	5,00
4	3,51	9	5,00	14	3,33
5	6,90	10	3,39	15	5,17

- Rata – rata persentase serapan air pada eksperimen konfirmasi = 4,93 %

#### b. Penghitungan Confidence Interval

Perhitungan *confidence interval* dilakukan untuk mengetahui apakah hasil eksperimen dapat diterima atau ditolak. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan *confidence interval* hasil estimasi dengan *confidence interval* hasil eksperimen konfirmasi.

Nilai *confidence interval* hasil estimasi dihitung dengan rumus :

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times V_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} \right]}$$

Hasil perhitungan *confidence interval* hasil estimasi disajikan dalam tabel 18 berikut :

Tabel 18 Confidence interval hasil estimasi pada kondisi optimal

Karakteristik Kualitas	F tabel	V <sub>e</sub>	1/n <sub>ef</sub>	Confidence Interval
Kuat desak	3,996	3,445	0,125	±1,312
Persentase serapan air	3,996	5,245	0,125	±1,619

Tabel 19 Perhitungan nilai interval hasil estimasi pada kondisi optimal

Karakteristik Kualitas	Confidence Interval	Nilai Optimal	Nilai Interval
Kuat desak	±1,312	12,71	11,398 – 14,022
Persentase serapan air	±1,619	2,81	1,191 - 4,429

Nilai *confidence interval* kuat desak dan persentase serapan air pada eksperimen konfirmasi, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times V_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

r : jumlah sampel yang digunakan dalam eksperimen konfirmasi.

Hasil perhitungan *confidence interval* untuk masing – masing karakteristik kualitas pada eksperimen konfirmasi disajikan dalam tabel 20 berikut :

Tabel 20 *Confidence interval* hasil eksperimen konfirmasi

Karakteristik Kualitas	F tabel	1/r	Confidence Interval
Kuat desak	3,996	0,067	±1,626
Persentase serapan air	3,996	0,067	±2,006

Tabel 21 Perhitungan nilai interval hasil eksperimen konfirmasi

Karakteristik Kualitas	Confidence Interval	Rata - rata	Nilai Interval
Kuat desak	±1,626	15,06	13,434 - 16,686
Persentase serapan air	±2,006	4,93	2,924- 6,936

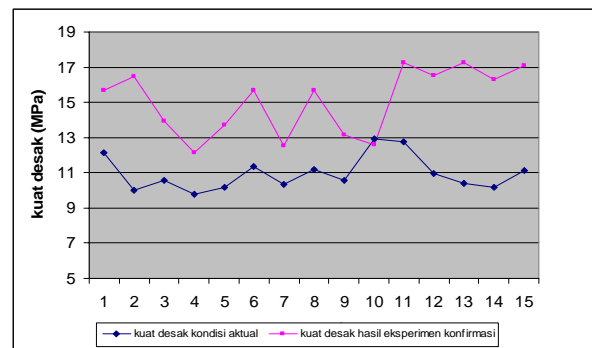
Setelah diperoleh nilai interval hasil estimasi pada kondisi optimal dengan nilai interval eksperimen konfirmasi kemudian dilakukan perbandingan hasil seperti disajikan dalam tabel 22 berikut ini :

Tabel 22 Perbandingan nilai optimal dan nilai hasil eksperimen konfirmasi

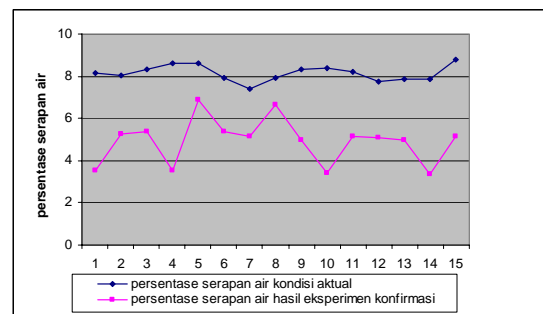
Karakteristik kualitas	Perbandingan	Ket	Keputusan
Kuat desak	11,398      14,002 ←————→	Opt	Diterima
	13,434      16,686 ←————→	Konf	
Persentase serapan air	1,191      4,429 ←————→	Opt	Diterima
	2,924      6,936 ←————→	Konf	

Keterangan :  
Opt : optimal  
Konf : Konfirmasi

Berdasar tabel 22 terlihat bahwa terdapat persinggungan antara nilai interval hasil estimasi pada kondisi optimal dengan hasil eksperimen konfirmasi. Hal ini berarti *setting level* optimal yang terdiri dari faktor air semen 0,4, persentase abu sekam padi 5%, umur benda uji 35 hari, dan ukuran maksimum agregat 1,18 mm dapat diimplementasikan pada proses produksi. Gambar 7 dan 8 berikut disajikan grafik perbandingan nilai kuat desak dan persentase serapan air pada kondisi aktual dengan hasil eksperimen konfirmasi.



Gambar 7 Perbandingan nilai kuat desak pada kondisi aktual dengan hasil eksperimen konfirmasi



Gambar 8 Perbandingan persentase serapan air pada kondisi aktual dengan hasil eksperimen konfirmasi



Berdasarkan gambar 7 dan 8 dapat disimpulkan bahwa penambahan abu sekam padi sebesar 5 % serta penggunaan faktor semen sebesar 0,4, umur benda uji 35 hari dan ukuran maksimum agregat 1,18 mm dapat meningkatkan kuat desak *paving block* dan menurunkan persentase serapan air.

### KESIMPULAN

Untuk memperoleh kondisi kualitas *paving block* yang optimal secara simultan, perlu diterapkan *setting level* optimal dalam pembuatan *paving block*. Dengan menerapkan *setting level* optimal diperoleh kuat desak *paving block* maksimal sekaligus persentase serapan air minimal. Adapun *setting level* optimal yang diperoleh adalah sebagai berikut :

- Faktor air semen 0,4
- Persentase penambahan abu sekam padi 5%
- Umur benda uji 35 hari
- Ukuran maksimum agregat 1,18mm

Dengan menerapkan *setting level* optimal tersebut diperoleh peningkatan nilai kuat desak sebesar 1,74 Mpa dan penurunan persentase serapan air sebesar 5,33%. Hal ini berarti telah terbukti secara empiris bahwa abu sekam padi dapat meningkatkan kualitas *paving block*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_. (1987). Annual Book American Standart Testing Machine. Amerika.
- [2] \_\_\_\_\_. (1996). Bata Beton (Paving Block), SNI-03-0691-1996. Bandung: Yayasan LPMB.
- [3] \_\_\_\_\_. (2006). Uses and Applications Paving Block. [www.pavingexpert.com](http://www.pavingexpert.com).
- [4] Anonymouse. Annual Book American Standart Testing Machine. Amerika, 1982.
- [5] Belavendram, N. (1995). Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation. Prentice-Hall International.
- [6] E. Kusumaningrum. (2001). Pengaruh Variasi Penambahan Mill terhadap Kuat Desak Paving Block. UNS, Surakarta.
- [7] Hety Kusumawati. (2004). Penentuan Setting Optimal Pada Mesin Ring Spinning Jenis Zinzer Dengan Metode Taguchi Untuk Multi Karakteristik Kualitas (Studi Kasus Di Patal Secang Magelang). UNS, Surakarta.
- [8] Ika Tanjung S. (2007). Penentuan Kuat Desak Lapisan Atas pada Produk Paving Block dengan Penambahan Fly Ash Menggunakan Eksperimen Taguchi dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Produk. UNS, Surakarta.
- [9] Instika Dani. (2005). Penentuan Setting Optimal Dengan Menggunakan Metode Taguchi dalam Proses Produksi Gypsum Interior Berdasarkan Pengujian Kuat Desak (Studi Kasus Pada UD. Mahkota Solo). UNS, Surakarta.
- [10] Kardiyono Tjokrodimulyo. (1992). Teknologi Beton. Yogyakarta.
- [11] Murdock, L.J and KM. Mbrook. (1996) Concrete Materials and Practices, atau Bahan dan Praktek Beton, Terjemahan: Stephanus Hindarko. Erlangga, Jakarta.
- [12] Phadke, M.S. (1989). Quality Engineering Using Robust Design. Prentice-Hall International Editions.
- [13] Tri Mulyono. (2005) Teknologi Beton. Penerbit Andi, Yogyakarta.