

Usulan Level Faktor Variasi Bahan untuk Mencapai Kuat Tekan Beton 50 Mpa dengan Metode Perancangan Eksperimen*

KYAGUS ABDUL WAHID, HARI ADIANTO, RISPIANDA

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

E-mail: kgsabdwahid@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan kualitas beton di Indonesia terbilang cukup inovatif dari segi bahan tambahannya. Salah satu bahan tambah tersebut yaitu abu sekam padi yang sedang dikembangkan di PU LITBANG. Namun saat ini PU LITBANG belum mempunyai variasi bahan yang tepat terkait menggunakan bahan abu sekam padi untuk pembuatan beton. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan variasi bahan yang tepat dalam mencapai kuat tekan beton 50 Mpa. Disisi lain, pertimbangan harga juga menjadi tujuan utama sehingga perlu adanya perhitungan harga setiap variasi bahan beton. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perancangan eksperimen. Tahapan dalam metode ini adalah menentukan factor terkendali, menentukan level factor terkendali, pelaksanaan eksperimen, uji ANOVA, melakukan uji newman keuls dan uji scheffe. Berdasarkan analisis perhitungan metode perancangan eksperimen dan harga variasi bahan didapatkan hasil beton terbaik adalah komposisi abu sekam padi 10% terhadap semen dan superplasticizer 2% terhadap semen dengan harga Rp 800.000/m³.

Kata kunci: Pelaksanaan eksperimen, uji ANOVA, uji setelah eksperimen, perhitungan harga.

ABSTRACT

Development of the quality of the concrete in Indonesia is quite innovative in terms of added material. One of the added materials is rice husk ash which is being developed in R & D Works. However, the current PU LITBANG not have the right materials related variations using rice husk ash material for the manufacture of concrete. This research was conducted to determine the variation of the right material to achieve 50 MPa compressive strength of concrete. On the other hand,

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional

the price is also a consideration that needs to be the main purpose of calculation of the price of each variety of concrete materials. The method used in this research is the design of experiments. Stages in this method is to determine the control factor, factor determining the level of control, implementation of experiments, ANOVA, Newman Keuls test and Scheffe test. Based on the analysis of experimental design methods of calculation and price variations of the best concrete results obtained material is a composition of 10% rice husk ash to the cement and superplasticizer cement by 2% to Rp 800.000/m³.

Keywords: *making experiments, ANOVA test, test after experiment, Calculation of price.*

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini pembangunan fasilitas seperti gedung, jalan dan jembatan semakin meningkat. Salah satu pendukung dalam pembangunan fasilitas tersebut yaitu beton. Beton merupakan campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah lainnya yang disebut aditif.

Saat ini Balai Pusat Pemeriksaan dan Penelitian Bangunan Jalan dan Jembatan (PU LITBANG) mendapat kesempatan untuk membuat beton yang menggunakan bahan tambah abu sekam padi dan *superplasticizer*. Beton ini ditargetkan harus mencapai kuat tekan 50 Mpa. Abu sekam padi memiliki kandungan pozzolan yang tinggi sehingga dapat menggantikan berat semen karena semen merupakan komponen termahal dalam beton. Eksperimen perlu dilakukan untuk menemukan komposisi terbaik terhadap bahan beton.

Masalah yang terjadi adalah PU LITBANG belum pernah melakukan eksperimen dengan bahan tambah abu sekam padi untuk mencapai nilai kuat tekan beton sebesar 50 Mpa. Metode perancangan eksperimen digunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut. Faktor yang dilibatkan dalam metode ini adalah variasi bahan yang terdiri dari penggunaan abu sekam padi dan *superplasticizer*. Kekurangan metode ini adalah tidak efisien terhadap eksperimen lebih dari 3 faktor karena akan membutuhkan biaya, tenaga, dan waktu yang lebih banyak.

Tujuan penelitian ini adalah mencari level variasi bahan yang tepat untuk mencapai nilai kuat tekan beton sebesar 50 Mpa tetapi dengan pertimbangan harga yang ekonomis.

2. STUDI LITERATUR

Menurut Sudjana (2002), eksperimen faktorial adalah eksperimen yang semua (hampir semua) taraf sebuah factor tertentu dikombinasikan atau disilangkan dengan semua (hampir semua) taraf tiap factor lainnya yang ada dalam eksperimen itu. Dalam eksperimen ini tahapan yang harus dilakukan yaitu menentukan factor terkendali, taraf factor terkendali, matriks eksperimen, uji ANOVA, dan uji setelah eksperimen.

2.1 Analisis Varians untuk Eksperimen Satu Faktor

Menurut Sudjana (2002), untuk analisis data yang diperoleh berdasarkan desain eksperimen, khususnya desain acak sempurna, akan ditinjau desain dengan sebuah observasi tiap unit eksperimen. Misalkan ada k buah perlakuan dimana terdapat n_i unit eksperimen untuk perlakuan ke i ($i=1,2,3,\dots,k$). jika data pengamatan dinyatakan dengan Y_{ij} ($i=1,2,3,\dots,k$) dan

(j=1,2,3,...,ni), Yij berarti nilai pengamatan dari unit eksperimen ke j karena perlakuan ke i, maka untuk keperluan analisisnya, data tersebut sebaiknya disusun dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengamatan Desain Acak Sempurna

	Perlakuan				Jumlah
	1	2	.....	k	
Data Pengamatan	Y_{11}	Y_{21}	.....	Y_{k1}	
	Y_{12}	Y_{22}	.....	Y_{k2}	
	
	
Jumlah	J_1	J_2	.....	J_k	$J = \sum_{i=1}^k J_i$
Banyak Pengamatan	n_1	n_2	.....	n_k	$\sum_{i=1}^k n_i$
Rata-rata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	.....	\bar{Y}_k	$\bar{Y} = J / \sum_{i=1}^k n_i$

Dari daftar ini kemudian dihitung besaran-besaran yang ditentukan ialah :

Jumlah nilai pengamatan untuk tiap perlakuan $J_i = \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$ (1)

Jumlah seluruh nilai pengamatan $J = \sum_{i=1}^k J_i$ (2)

Rata-rata pengamatan untuk tiap perlakuan $\bar{Y}_i = J_i / n_i$ (3)

Rata-rata seluruh nilai pengamatan $\bar{Y} = J / \sum_{i=1}^k n_i$ (4)

Selanjutnya diperlukan

$\sum Y^2$ = jumlah kuadrat-kuadrat (JK) semua nilai pengamatan.
 $= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2$ (5)

R_y = jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk rata-rata.
 $= J^2 / \sum_{i=1}^k n_i$ (6)

P_y = jumlah kuadrat-kuadrat (JK) antar perlakuan
 $= \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$
 $= \sum_{i=1}^k \left(\frac{J_i^2}{n_i} \right) - R_y$ (7)

E_y = jumlah kuadrat-kuadrat (JK) kekeliruan eksperimen
 $= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$
 $= \sum Y^2 - R_y - P_y$ (8)

Setelah harga-harga dimuka diperoleh, maka disusunlah sebuah daftar ANOVA seperti pada Tabel 2. Dalam daftar ANOVA ada empat sumber variasi ialah rata-rata, antar perlakuan, dalam perlakuan atau kekeliruan dalam eksperimen dan total. Tiap sumber variasi memiliki derajat kebebasan (dk) yang besarnya 1 untuk rata-rata, (k-1) untuk antar perlakuan, $\sum(n_i - 1)$ untuk dalam perlakuan dan $\sum n_i$ untuk total. Jika JK untuk sumber variasi dibagi oleh dk masing-masing, diperoleh kuadrat tengah (KT) untuk sumber itu.

Dari data hasil pengamatan dan daftar ANOVA yang diperoleh, kemudian ditarik kesimpulan, khususnya mengenai efek-efek perlakuan. Akan tetapi sebelum hal ini dilakukan, beberapa asumsi perlu diambil agar pengujian statistik yang akan diambil menjadi berlaku. Asumsi yang biasa diambil dalam ANOVA ialah sifat aditif dan linieritas model, normalitas,

independen dan homogenitas varians. Modelnya yang diandaikan ialah model linier bersifat aditif dengan persamaan :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}; (i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n_k) \quad (9)$$

Dengan

- Y_{ij} = variabel yang akan dianalisis, dimisalkan berdistribusi normal.
- μ = rata-rata umum atau rata-rata sebenarnya.
- τ_i = efek perlakuan ke i.
- ϵ_{ij} = kekeliruan berupa efek acak yang berasal dari unit eksperimen ke j karena dikenakan perlakuan ke i.

Tabel 2. Daftar ANOVA

Sumber variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat-kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)
Rata-rata	1	R_y	$R = R_y$
Antar perlakuan	$K - 1$	P_y	$P = P_y / (k - 1)$
Kekeliruan eksperimen (dalam perlakuan)	$\sum_{i=1}^k (n_i - 1)$	E_y	$E = E_y / \sum (n_i - 1)$ $(S_c^2 = E)$
jumlah	$\sum_{i=1}^k n_i$	$\sum Y^2$	-

2.2 Uji Setelah Eksperimen

1. Uji rentang *Newman – Keuls*

Langkah-langkah utama untuk melakukan uji ini adalah :

- a. Susun k buah rata-rata perlakuan menurut urutan nilainya dari yang paling kecil sampai ke yang terbesar.
- b. Dari daftar ANOVA, ambil harga KT (kekeliruan) disertai dk (derajat kebebasan) nya.
- c. Hitung kekeliruan baku rata-rata untuk tiap perlakuan dengan rumus

$$S_{\bar{Y}_i} = \sqrt{\frac{KT(\text{kekeliruan})}{n_i}} \quad (10)$$

- d. Tentukan taraf signifikan α lalu gunakan daftar rentang *student* yang mengandung dk = v dalam kolom kiri dan p dalam baris atas. Untuk uji *Newman – Keuls*, diambil v = dk untuk KT (kekeliruan) dan p = 2, 3, ..., k. Harga-harga yang didapat untuk v dan p dari badan daftar sebanyak (k – 1) buah supaya dicatat.
- e. Kalikan harga-harga yang didapat di langkah 4 itu masing-masing dengan $S_{\bar{Y}_i}$. Dengan jalan demikian diperoleh apa yang dinamakan rentang signifikan terkecil (RST).
- f. Bandingkan selisih rata-rata terbesar dan rata-rata terkecil dengan RST untuk p = k, selisih rata-rata terbesar dan rata-rata terkecil kedua dengan RST untuk p = (k – 1), dan seterusnya. Demikian pula kita bandingkan selisih rata-rata terbesar kedua dan rata-rata terkecil dengan RST untuk p = (k – 1), selisih rata-rata terbesar kedua dan rata-rata terkecil kedua dengan RST untuk p = (k – 2), dan seterusnya. Dengan jalan begini, semuanya akan ada 1/2k (k – 1) pasangan yang harus dibandingkan. Jika selisih-selisih yang didapat lebih besar dari pada RST nya masing-masing, maka disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang berarti di antara rata-rata perlakuan.

2. Uji *Scheffe*

Sering dikehendaki untuk mengadakan perbandingan tidak saja berbentuk berpasangan, melainkan merupakan kombinasi linier dari perlakuan, khususnya berbentuk kontras. Uji *Scheffe* memungkinkan untuk melakukan hal ini, meskipun kontrasnya tidak perlu

ortogonal. Karena kontras lebih umum daripada perbandingan berpasangan, maka akibatnya uji *Scheffe* lebih umum daripada uji *Newman – Keuls*. Langkah-langkah yang ditempuh untuk menggunakan uji *Scheffe* adalah sebagai berikut.

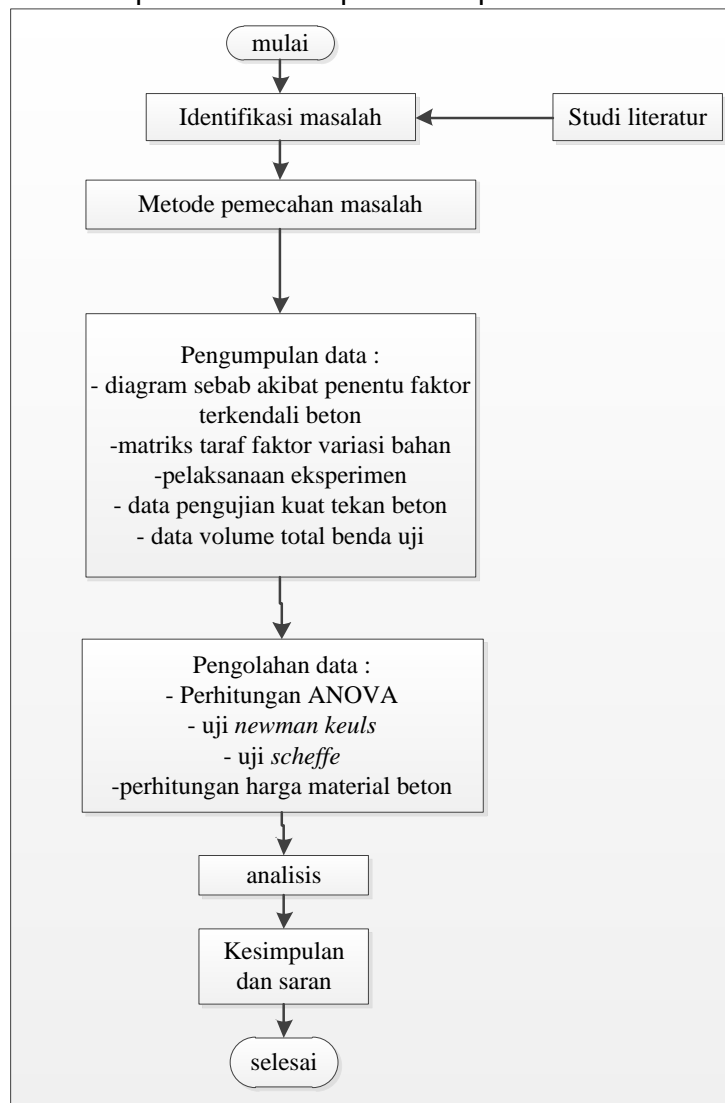
- Susunlah kontras C_p yang diinginkan lalu hitung harganya.
- Dengan mengambil taraf signifikan α , derajat kebebasan pembilang $v_1 = (k - 1)$ dan penyebut $v_2 = (\sum n_i - k)$, untuk ANOVA supaya dihitung nilai kritis $F_{\alpha(v_1, v_2)}$.
- Hitung besaran $A = \sqrt{(K - 1)F}$ dengan F yang didapat dari langkah 2.
- Hitung kekeliruan baku tiap kontras yang akan diuji, dengan rumus

$$s(C_p) = \sqrt{KT(\text{kekeliruan}) \times \sum n_i c_{ip}^2} \quad (11)$$

- Jika harga kontras C_p lebih besar daripada $A \times s(C_p)$, maka hasil pengujian dinyatakan signifikan. Atau, jika $[C_p] > A \times s(C_p)$ maka kita tolak hipotesis nol bahwa kontras antara rata-rata sama dengan nol.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

4. PENGOLAHAN DATA

4.1 Identifikasi Faktor Terkendali

Hal ini dilakukan sebelum dilakukannya eksperimen. Tujuannya yaitu memperkecil ruang kombinasi dalam perancangan eksperimen. Faktor terkendali yang digunakan adalah variasi bahan yang beragam. Komponen yang terdapat dalam variasi bahan adalah semen, agregat (batu dan pasir), air, abu sekam padi dan *superplasticizer*. Komponen bahan pembentuk beton yang telah ditetapkan balai dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Taraf Faktor Variasi Bahan

Faktor variasi bahan	komponen	1	2	3
	Abu sekam padi (a)	5%	10%	15%
	<i>Superplasticizer</i> (b)	0,5%	1%	2%
	Air	Telah ditetapkan		
	Agregat (pasir, batu)	Telah ditetapkan		
	Semen (S)	Dikurangi oleh komposisi a		

Balai PU LITBANG sebelumnya telah melakukan eksperimen perbandingan sebanyak 6 variasi bahan yang terdiri dari 3 variasi bahan beton normal dan 3 variasi bahan beton menggunakan bahan tambah *superplasticizer* saja. Eksperimen perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Eksperimen Perbandingan

Jenis beton	Variasi Bahan ke	Semen	Agregat	Air	<i>superplasticizer</i>
Variasi Bahan Beton normal	1	Ditetapkan	3,4	0,35	-
	2		3,4	0,33	-
	3		3,2	0,33	-
Variasi Bahan Beton <i>superplasticizer</i>	4	Ditetapkan	Ditetapkan	Ditetapkan	0,5%
	5				1%
	6				2%

4.2 Pengukuran Volume

Setelah eksperimen dilakukan maka harus dilakukan pengukuran volume total volume benda uji. Hal ini dilakukan guna didapatkannya kebutuhan material pembentuk beton dalam ukuran 1 m³. Berikut contoh perhitungan dalam mencari kebutuhan material pembentuk beton.

$$\text{kebutuhan semen } m^3 = \frac{1}{\text{volume benda uji}} \times \text{berat semen benda uji} \quad (12)$$

Perhitungan di atas akan sama dalam mencari kebutuhan pasir, batu, air, abu sekam padi dan *superplasticizer*. Setelah didapatkan kebutuhan material beton per m³, perhitungan harga kebutuhan material bisa dilakukan.

4.3 Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Langkah 1: Ambil secara acak level *superplasticizer* kemudian kombinasikan dengan ketiga level abu sekam padi yang terdapat pada tabel matriks taraf faktor variasi bahan.

Langkah 2: Ulangi langkah 1 sehingga akan membentuk 9 kombinasi level seperti Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Kombinasi bahan 9 level

Variasi bahan ke	Semen (S)	Air	Agregat	<i>Superplasticizer</i> (b)	Abu sekam padi (a)
1	S – 1	Telah ditetapkan	Telah ditetapkan	1	1
2	S – 2				2
3	S – 3				3
4	S – 1			2	1
5	S – 2				2
6	S – 3				3
7	S – 1			3	1
8	S – 2				2
9	S – 3				3

Langkah 3: Gabungkan antara variasi bahan kombinasi 9 level dengan variasi bahan pendahulu sebanyak 6 level sehingga didapatkan keseluruhan faktor variasi bahan sebanyak 15 level. Gabungan faktor variasi bahan dengan 15 level dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Matriks Variasi Bahan 15 Level

Variasi bahan ke	Semen (S)	Air	Agregat	<i>Superplasticizer</i> (b)	Abu sekam padi (a)	
1	Telah ditetapkan	0,35	3,4	-	-	
2		0,33	3,4	-	-	
3		0,33	3,2	-	-	
4		Telah ditetapkan	Telah ditetapkan	Telah ditetapkan	1	-
5					2	-
6					3	-
7	S – 1	Telah ditetapkan	Telah ditetapkan	1	1	
8	S – 2				2	
9	S – 3				3	
10	S – 1			2	1	
11	S – 2				2	
12	S – 3				3	
13	S – 1			3	1	
14	S – 2				2	
15	S – 3				3	

Eksperimen dilakukan dengan replikasi sebanyak 6 kali berdasarkan kebijakan balai agar hasil kuat tekan rata-rata lebih akurat.

4.4 Komposisi Bahan Beton Setelah Eksperimen

Matriks eksperimen telah dilakukan sehingga didapatkan komposisi bahan beton seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Campuran Beton

variasi bahan	semen(kg)	agregat kasar(kg)	agregat halus(kg)	air (kg)	superplasticiser (liter)	abu sekam padi (kg)	total (kg)
1	15,44	35,63	18,19	5,40	0,00	0,00	74,67
2	15,44	35,63	18,19	5,10	0,00	0,00	74,36
3	15,44	33,28	16,99	5,10	0,00	0,00	70,80
4	15,44	35,84	18,30	5,10	0,08	0,00	74,75
5	15,44	35,84	18,30	5,10	0,15	0,00	74,83
6	15,44	35,84	18,30	5,10	0,31	0,00	74,98
7	14,67	35,84	18,30	5,10	0,08	0,77	74,75
8	13,90	35,84	18,30	5,10	0,08	1,54	74,75
9	13,13	35,84	18,30	5,10	0,08	2,32	74,75
10	14,67	35,84	18,30	5,10	0,15	0,77	74,83
11	13,90	35,84	18,30	5,10	0,15	1,54	74,83
12	13,13	35,84	18,30	5,10	0,15	2,32	74,83
13	14,67	35,84	18,30	5,10	0,31	0,77	74,98
14	13,90	35,84	18,30	5,10	0,31	1,54	74,98
15	13,13	35,84	18,30	5,10	0,31	2,32	74,98

4.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini menunjang untuk dilakukannya pengolahan data eksperimen berdasarkan nilai kuat tekannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Kuat Tekan Beton

variasi bahan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
kuat tekan beton ke	1	43,87	48,01	47,65	47,11	51,13	56,23	46,03	41,39	33,08	48,04	44,34	33,05	51,22	52,71	39,12
	2	44,66	45,36	45,32	48,31	48,67	51,88	43,87	42,08	32,11	50,78	40,03	32,11	47,67	51,48	36,12
	3	42,22	42,66	46,98	50,12	46,35	48,54	44,18	44,89	30,21	49,09	45,22	30,2	49,33	51,12	40,33
	4	44,13	44,56	48,55	47,32	50,03	49,16	45,67	42,11	40,13	46,15	41,19	37,44	50,49	49,01	35,43
	5	46,33	45,13	45,33	46,12	53,11	54,19	47,17	41,16	37,44	48,22	45,32	34,22	54,24	47,55	34,14
	6	43,24	47,11	50,12	48,04	49,12	51,33	46,49	46,87	36,16	49,12	42,51	37,18	53,07	50,03	41,02
total	264,45	272,83	283,95	287,02	298,41	311,33	273,41	258,5	209,13	291,4	258,61	204,2	306,02	301,9	226,16	
rata-rata	44,08	45,47	47,33	47,84	49,74	51,89	45,57	43,08	34,86	48,57	43,10	34,03	51,00	50,32	37,69	

Data di atas kemudian dilakukan *coding* (kurangi dengan 50) guna memudahkan dalam pengolahan data seperti yang terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Coding Data Pengujian

variasi bahan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	jumlah	
kuat tekan (Mpa)	-6,13	-1,99	-2,35	-2,89	1,13	6,23	-3,97	-8,61	-16,92	-1,96	-5,66	-16,95	1,22	2,71	-10,88		
	-5,34	-4,64	-4,68	-1,69	-1,33	1,88	-6,13	-7,92	-17,89	0,78	-9,97	-17,89	-2,33	1,48	-13,88		
	-7,78	-7,34	-3,02	0,12	-3,65	-1,46	-5,82	-5,11	-19,79	-0,91	-4,78	-19,8	-0,67	1,12	-9,67		
	-5,87	-5,44	-1,45	-2,68	0,03	-0,84	-4,33	-7,89	-9,87	-3,85	-8,81	-12,56	0,49	-0,99	-14,57		
	-3,67	-4,87	-4,67	-3,88	3,11	4,19	-2,83	-8,84	-12,56	-1,78	-4,68	-15,78	4,24	-2,45	-15,86		
	-6,76	-2,89	0,12	-1,96	-0,88	1,33	-3,51	-3,13	-13,84	-0,88	-7,49	-12,82	3,07	0,03	-8,98		
total	-35,55	-27,17	-16,05	-12,98	-1,59	11,33	-26,59	-41,5	-90,87	-8,6	-41,39	-95,8	6,02	1,9	-73,84		
rata-rata	-5,93	-4,53	-2,68	-2,16	-0,26	1,89	-4,43	-6,92	-15,15	-1,43	-6,90	-15,97	1,00	0,32	-12,31		
banyak pengamatan	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		90

4.6 Uji Beda

Uji ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan hasil yang signifikan dari keseluruhan eksperimen. Salah satu tahapan uji ini adalah ANOVA. ANOVA digunakan karena dapat mengidentifikasi kontribusi factor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Tahapan ANOVA menggunakan literatur 2.1 sehingga didapatkan hasil yang terlihat pada Tabel 10. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah $\alpha = 5\%$. Dengan $\alpha = 0,05$ didapatkan nilai $F_{0,95(14,75)} = 1,86$. Hal ini jelas jauh lebih kecil dari pada $F = 36,69$. Jadi H_0 ditolak pada taraf 0,05 dan hasil pengujian bersifat signifikan.

Tabel. 10 ANOVA

sumber variasi	dk	JK	KT	EKT	F
rata-rata	1	2276,88	2276,88	-	36,69
Variasi bahan	14	2673,55	190,97	$\sigma_{\epsilon}^2 + \phi(Kt)^*$	
kekeliruan	75	390,34	5,20	σ_{ϵ}^2	
jumlah	90	5340,76			

4.7 Uji Setelah Eksperimen

Uji ini digunakan untuk melihat perbandingan hasil eksperimen antar variasi bahan sehingga didapatkan hasil eksperimen yang lebih signifikan. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki perbedaan setiap variasi bahan. Namun ANOVA belum bisa memperlihatkan antar variasi bahan mana yang berbeda sehingga digunakan uji ini.

Uji setelah eksperimen terbagi menjadi 2 yaitu *newman keuls* dan uji *scheffe*. Tahapan kedua uji ini terdapat pada literature 2.2. Berikut hasil uji *newman keuls* dan uji *scheffe* pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Uji Newman Keuls

no	perbandingan	selisih rata-rata	lambang	RST	sifat
103	14 vs 6	1,572	<	2,435	tidak terdapat perbedaan
104	14 vs 13	0,687	<	2,021	tidak terdapat perbedaan
105	13 vs 6	0,885	<	2,021	tidak terdapat perbedaan

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Uji Scheffe

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	J13	J14	J15	TOTAL	lambang	ASC
C67	0	0	0	0	0	11.33	0	0	0	0	0	0	-6.02	0	0	5.31	<	40.327
C68	0	0	0	0	0	11.33	0	0	0	0	0	0	-1.9	0	0	9.43	<	
C103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.02	-1.9	0	4.12	<	
C111	35.55	27.17	16.05	12.98	1.59	158.62	26.59	41.5	90.87	8.6	41.39	95.8	-6.02	-1.9	73.84	622.63	>	413.232
C118	35.55	27.17	16.05	12.98	1.59	-11.33	26.59	41.5	90.87	8.6	41.39	95.8	84.28	-1.9	73.84	542.98	>	
C119	35.55	27.17	16.05	12.98	1.59	-11.33	26.59	41.5	90.87	8.6	41.39	95.8	-6.02	26.6	73.84	481.18	>	

4.8 Perhitungan Harga Material

Untuk menghitung kebutuhan harga material diperlukan data volume beton yang kemudian akan dikonversi ke nilai 1 m³. Data volume beton uji dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Volume Beton Uji

variasi bahan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
volume total (m3)	0,0318	0,0314	0,0309	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318	0,0318

Survey harga material pembentuk beton dilakukan guna menunjang perhitungan harga material beton. Adapun komponen harga material tersebut adalah:

1. Semen Tiga Roda tipe 1 (50kg) = Rp 57.000
2. Pasir Beton Galunggung (1 m³) = Rp 150.000
3. Batu Pecah (1 m³) = Rp 125.000
4. Abu sekam padi (1 kg) = Rp 700
5. *Superplasticizer* (5 L) = Rp 60.000

Perhitungan harga didapatkan berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 13 serta harga material. Rekapitulasi harga material beton dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi Harga Material Beton Per m³

variasi bahan	semen (kg)	batu (kg)	pasir (kg)	air (kg)	superplasticiser (liter)	abu sekam padi (kg)	biaya semen (Rp)	biaya batu (Rp)	biaya pasir (Rp)	biaya abu sekam padi (Rp)	biaya superplasticizer (Rp)	kuat tekan (Mpa)	slump (mm)	total harga (Rp)
1	486	1120	572	170	0	0	553584	94634	55726	0	0	44,08	22	703943
2	492	1135	579	162	0	0	560636	95839	56436	0	0	45,47	17	712910
3	500	1077	550	165	0	0	569707	90953	53558	0	0	47,33	17	714219
4	486	1127	575	160	2	0	553584	95186	56051	0	29136	47,84	24	733957
5	486	1127	575	160	5	0	553584	95186	56051	0	58272	49,74	26	763093
6	486	1127	575	160	10	0	553584	95186	56051	0	116544	51,89	27	821365
7	461	1127	575	160	2	24	525905	95186	56051	16996	29136	45,57	24	723273
8	437	1127	575	160	2	49	498225	95186	56051	33992	29136	43,08	22	712590
9	413	1127	575	160	2	73	470546	95186	56051	50988	29136	34,86	16	701907
10	461	1127	575	160	5	24	525905	95186	56051	16996	58272	48,57	26	752409
11	437	1127	575	160	5	49	498225	95186	56051	33992	58272	43,10	23	741726
12	413	1127	575	160	5	73	470546	95186	56051	50988	58272	34,03	16	731043
13	461	1127	575	160	10	24	525905	95186	56051	16996	116544	51,00	27	810681
14	437	1127	575	160	10	49	498225	95186	56051	33992	116544	50,32	25	799998
15	413	1127	575	160	10	73	470546	95186	56051	50988	116544	37,69	18	789315

5. ANALISIS

5.1 Uji Newman Keuls

Dari hasil uji *newman Keuls* (Tabel 11) terlihat bahwa:

- Selisih nilai rata-rata antara variasi bahan 6 dan 13 (0,885) lebih kecil daripada nilai RST nya (2,021) sehingga tidak terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara variasi bahan 6 dan 13.
- Selisih nilai rata-rata antara variasi bahan 6 dan 14 (1,572) lebih kecil daripada nilai RST nya (2,435) sehingga tidak terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara variasi bahan 6 dan 14.
- Selisih nilai rata-rata antara variasi bahan 13 dan 14 (0,687) lebih kecil daripada nilai RST nya (2,021) sehingga tidak terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara variasi bahan 13 dan 14.

5.2 Uji Scheffe

Dari hasil uji *scheffe* (Tabel 12) terlihat bahwa:

- Tidak terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 6 dan variasi 13. Hal ini cocok dengan hasil uji *newman keuls*.
- Tidak terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 6 dan variasi 14. Hal ini cocok dengan hasil uji *newman keuls*.
- Tidak terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 13 dan variasi 14. Hal ini cocok dengan hasil uji *newman keuls*.
- Terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 6 dengan keempat belas variasi lainnya.
- Terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 13 dengan keempat belas variasi lainnya.
- Terdapat perbedaan yang berarti antara variasi 14 dengan keempat belas variasi lainnya.

5.3 Analisis Harga

Tabel 14 memperlihatkan bahwa nilai kuat tekan beton yang mencapai 50 Mpa adalah variasi bahan 6, 13 dan 14. Berdasarkan nilai kuat tekan yang berhasil dicapai, variasi bahan 6 memiliki kekuatan paling besar namun dari sisi harga justru jauh lebih mahal yaitu Rp 821.000. Jika produsen beton mengacu pada hasil uji *newman keuls* dan uji *scheffe* maka variasi bahan 14 bisa dipilih karena memiliki harga paling murah yaitu Rp 800.000/m³.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil perancangan eksperimen adalah komposisi beton dengan menggunakan bahan tambah abu sekam padi 10% dari berat semen dan *superplasticizer* 2% dari berat semen merupakan hasil terbaik. Komposisi tersebut memberikan harga termurah yaitu Rp 800.000/m³ beton.

DAFTAR PUSTAKA

Ellen, C. (2003), *Perancangan Eksperimen Faktorial 3^k Dalam Desain Split-Split-Plot untuk Menentukan Faktor yang Berpengaruh Secara Signifikan terhadap Kekuatan Lentur Bata Refraktori*, Sripsi, Program Gelar Sarjana Teknik Industri Universitas Katholik Parahyangan, Bandung.

Garvin, D. A. (1987), *Delapan Dimensi tentang Kualitas*, Terjemahan Hendra Teguh, SE, AK, Harvard Business Review.

Hadjisarosa, P., (1973), *Petunjuk Beton*, Jakarta : Direktorat Jenderal Binamarga.

Hicks, C. R. (1982), *Fundamental Concepts in the Design of Eksperiment 3^d edition*, New York : Holt-Saunders International Editions.

Ilham, T. (2010), *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen dan Agregat Halus pada Beton dengan Kuat Tekan 50 Mpa*, Tugas Akhir, Program Gelar Sarjana Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Bandung.

Kjaer, U. (2002), *RHC*, Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

Metode Perancangan eksperimen diunggah pada tanggal 4 september 2012 dengan alamat <http://ml.scribd.com/doc/85191117/Paper-DOE>.

Percobaan Faktorial diunggah pada tanggal 4 september 2012 dengan alamat <http://ml.scribd.com/doc/36565608/PERCOBAAN-FAKTORIAL>.

Soejanto, I. (2009), *Perancangan Eksperimen Menggunakan Metode Taguchi*, Penerbit Yayasan Humaniora, Klaten.

Sudjana, (2002), *Desain dan Analisis Eksperimen*, Edisi ke-4, Bandung : PT. Tarsito.