

**PEMANFAATAN *SILICA FUME* LIMBAH SANDBLASTING UNTUK
MENINGKATKAN KUAT TEKAN BATAKO PEJAL DENGAN
TAGUCHI *QUALITY ENGINEERING*
(Studi Kasus: PT X Pasuruan)**

***THE UTILIZATION OF SAND BLASTING WASTE SILICA FUME TO
IMPROVE COMPRESSIVE STRENGTH OF COCRETE BLOCK USING
TAGUCHI *QUALITY ENGINEERING* METHODE
(Study Case: PT X Pasuruan)***

Susanto Dwi Putra¹⁾, Nasir Widha Setyanto²⁾, Remba Yanuar Efranto³⁾

Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail : susantoputraa@gmail.com¹⁾, nazzyr_lin@ub.ac.id²⁾, remba@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Batako merupakan bahan bangunan alternatif yang tersusun dari komposisi semen, air, dan agregat pengisi yang terdiri dari kerikil dan pasir. Terdapat bahan limbah yang memiliki kesamaan karakteristik dengan bahan baku batako, yaitu pasir silica fume limbah sandblasting yang mempunyai karakteristik kimia mengikat lebih kuat dari semen apabila bercampur dengan semen dan air. Oleh karena itu diperlukan pengembangan produk batako dengan bahan tambah silica fume yang memiliki kualitas bersaing dengan batako pada umumnya. Dalam pembuatan batako berbahan alternatif digunakan desain eksperimen metode Taguchi yang merupakan metode perbaikan kualitas dengan melakukan percobaan baru serta penekanan biaya seminimal mungkin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas kuat tekan pada batako yaitu rasio faktor air semen (f.a.s) dan agregat, faktor air-semen (f.a.s), rasio agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir), rasio silica fume dan semen. Berdasarkan ANOVA menunjukkan keempat faktor tersebut memiliki pengaruh signifikan yaitu rasio air semen (f.a.s) dan agregat (F hitung sebesar 37,88), faktor air-semen (f.a.s) (F hitung sebesar 4,62), rasio agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) (F hitung sebesar 29,58), rasio silica fume dan semen (F hitung sebesar 32,07). Sehingga pembuatan batako dapat mempergunakan bahan tambah silica fume limbah sandblasting dengan komposisi (setiap 40kg adonan); 6,16 kg semen, 2,64 kg silica fume, 7,2 kg air, 6 kg kerikil, dan 18 kg pasir. Eksperimen konfirmasi menghasilkan kuat tekan batako optimal sebesar 10,72 Mpa.

Kata kunci : *Batako, Pasir Silica Fume, Desain Eksperimen, Metode Taguchi*

1. Pendahuluan

Batako merupakan bata beton cetak alternatif sebagai pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen, dan air. Batako digunakan untuk dinding bangunan nonstruktural, yaitu sebagai dinding pengisi yang harus diperkuat oleh rangka. Terdapat bahan material yang dianggap memiliki karakteristik kimia yang dapat menambah kualitas batako menurut beberapa sumber. Misalnya *silica fume*, mengingat bahan tambah tersebut akan bereaksi kimia apabila bercampur dengan air dan semen.

Silica fume merupakan material *pozzolan* yang halus, sehingga apabila bercampur dengan air dan semen dapat terhidrasi dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Pada penelitian ini *silica fume* yang digunakan merupakan limbah dari proses

sandblasting yang karakteristiknya masih memenuhi kriteria untuk dibuat bahan tambah beton.

Desain eksperimen dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh bahan tambah alternatif *silica fume* limbah dari *sandblasting* terhadap kuat tekan batako. Penggunaan metode Taguchi dalam desain eksperimen digunakan meminimasi banyaknya pengujian eksperimentasi serta menekan biaya spesimen dan pengujian. respon karakteristik kualitas yang dipilih yaitu *Large The Better* pada kuat tekan batako pejal, dimana semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin baik.

2. Metode Penelitian

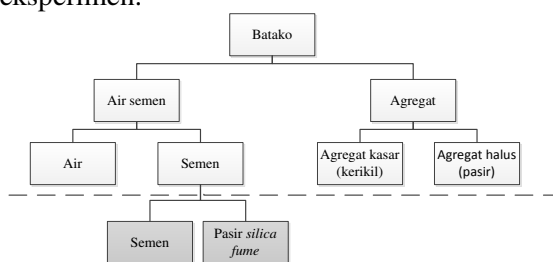
Penelitian ini termasuk dalam tipe penelitian eksperimen. Penelitian mengikuti langkah-langkah lengkap mulai dari sebelum eksperimen dilakukan hingga menganalisa hasil eksperimen, sehingga data yang diperoleh dapat menunjang analisis yang obyektif. Variabel bebas dijadikan sebagai variabel eksperimen serta variabel terikat merupakan hasil eksperimen.

2.1 Pengumpulan Data

Ada dua jenis data yang digunakan yaitu data primer antara lain data kuat tekan batako pejal kondisi aktual dan data kuat tekan batako pejal hasil eksperimen. Data sekunder dalam penelitian ini yaitu data spesifikasi pasir silica fume yang ada pada PT X Pasuruan data dari penelitian sebelumnya.

2.2 Spesimen Uji

Pada Gambar 1.berikut menunjukkan komposisi batako pejal sebagai spesimen uji eksperimen.



Gambar 1. Produk Eksperimen

Secara umum pembuatan batako pejal terdiri dari campuran air semen dan agregat (pasir dan kerikil). Sedangkan dalam penelitian ini pembuatan batako pejal sama seperti pembuatan pada umumnya tetapi ada penambahan bahan *silica fume* limbah dari proses *sandblasting* pada PT X Pasuruan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kuat Tekan Batako Aktual

Pengujian kuat tekan batako pejal kondisi aktual bertempat di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dengan menggunakan *Compression Streght Machine* Berikut merupakan data hasil pengujian kuat tekan batako pejal pada kondisi aktual.

Tabel 1.Hasil Pengujian Kuat Tekan Batako Pejal Kondisi Aktual

No Sampel	Luas Penampang Batako Pejal (mm2)	Beban Maks Batako Pejal (N)	Kuat Tekan (Mpa)
1	37000	220000	5,95
2	37000	289000	7,81
3	37000	275000	7,43
4	37000	119000	3,22
5	37000	230000	6,22
6	37000	226000	6,11
7	37000	121000	3,27
8	37000	123000	3,32
9	37000	137000	3,70
10	37000	138000	3,73

Berikut merupakan perhitungan rata – rata hasil uji batako pejal kondisi aktual :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{Pers. 1})$$

$$\mu = \frac{1}{10} (5,95 + 7,81 + \dots + 3,73) = 5,08$$

Keterangan

μ = Total rata – rata kuat tekan

N = Jumlah batako pejal kondisi aktual

y_i = Hasil kuat tekan

Berikut merupakan perhitungan variansi (<30) hasil uji batako pejal kondisi aktual :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (\text{Pers. 2})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{10-1} ((5,95 - 5,08)^2 + \dots + (3,73 - 5,08)^2) = 3,29$$

Keterangan

σ^2 = Variansi

μ = Total rata – rata kuat tekan

n = Jumlah batako pejal kondisi aktual

y_i = Hasil kuat tekan

3.2 Perencanaan Eksperimen

Perencanaan digunakan sebagai penentuan respon yang terdiri dari dua karakteristik kualitas yaitu memilih karakteristik kualitas yang digunakan. Dalam penelitian ini adalah *large the better*. Kedua yaitu memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas. Setelah itu dilakukan pemisahan faktor terkendali dan tidak terkendali. Faktor terkendali antara lain:

1. Rasio air semen dan agregat

2. Rasio faktor air dan semen (f.a.s)
3. Rasio agregat kasar dan halus
4. Rasio *silica fume* dan semen

Sedangkan faktor tidak terkendali antara lain:

1. Suhu pemeliharaan batako
2. Metode pencampuran
3. Metode pemeliharaan batako

3.3 Penetapan level faktor

Penelitian ini menetapkan hanya faktor terkendali saja yang digunakan untuk memberikan pengaruh pada respon. Level faktor ditentukan berdasarkan studi literatur seperti pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Faktor dan Level Faktor Berpengaruh

Faktor Terkendali	Level Faktor		
	1	2	3
Rasio f.a.s dan Agregat	20%:80%	30%:70%	40%:60%
Rasio Faktor Air dan Semen (f.a.s)	50%:50%	40%:60%	45%:55%
Rasio Agregat Kasar dan Halus	15%:85%	20%:80%	25%:75%
Rasio <i>silica fume</i> dan Semen	10%:90%	20%:80%	30%:70%

3.4 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen pada penelitian ini menggunakan matriks *Orthogonal Array* yang terdapat dalam metode Taguchi yang ditentukan berdasarkan pada derajat kebebasan, faktor, dan level faktor. Pada penelitian ini menggunakan *Orthogonal Array* $L^9 (3^4)$ seperti pada tabel 3. berikut.

Tabel 3. *Orthogonal Array* $L9 (3^4)$

No	Faktor				Replikasi		
	A	B	C	D	R1	R2	R3
1	1	1	1	1			
2	1	2	2	2			
3	1	3	3	3			
4	2	1	3	3			
5	2	2	2	1			
6	2	3	1	2			
7	3	1	3	2			
8	3	2	1	3			
9	3	3	2	1			

Sumber : Soejanto (2008)

3.5 Pembuatan Batako dengan Eksperimen Taguchi

Ada beberapa langkah dalam pembuatan specimen uji batako pejal, antara lain sebagai berikut:

1. Persiapan bahan
2. Pencampuran dan Pengadukan
3. Pencetakan
4. Pengeringan dan Pengerasan

3.6 Pengujian Kuat Tekan (Mpa)

Pengujian kuat tekan batako pejal bertempat di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dengan menggunakan *Compression Streght Machine* Berikut merupakan data hasil pengujian kuat tekan batako hasil eksperimen yang berumur 28 hari.

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Batako Pejal Eksperimen Taguchi

No	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum			R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)
		R1 (N)	R2 (N)	R3 (N)			
1	37000	346000	341000	343000	9,35	9,22	9,27
2	37000	362000	357000	356000	9,78	9,65	9,62
3	37000	372000	366000	373000	10,05	9,89	10,08
4	37000	383000	387000	384000	10,35	10,46	10,38
5	37000	371000	373000	378000	10,03	10,08	10,22
6	37000	359000	358000	356000	9,70	9,68	9,62
7	37000	362000	366000	365000	9,78	9,89	9,86
8	37000	375000	372000	377000	10,14	10,05	10,19
9	37000	384000	374000	388000	10,38	10,11	10,49

Sumber : Hasil pengujian Lab. Struktur & Bahan Konstruksi Jurusan T. Sipil UB (2014)

3.7 Perhitungan Nilai Rata – rata dan SNR

Data hasil eksperimen pada penelitian ini diolah dengan menggunakan dua cara yaitu Analysis of Variance (ANOVA) untuk data – data eksperimen (mean) dan Analysis of Variance (ANOVA) untuk data Signal to Noise Ratio (SN/R). ANOVA mean digunakan untuk mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi nilai rata – rata hasil eksperimen (respon). ANOVA SN/R digunakan untuk mencari faktor – faktor yang mempengaruhi nilai variansi. Berikut merupakan pengolahan data menggunakan ANOVA untuk data mean dan SN/R:

1. Contoh perhitungan nilai rata – rata untuk eksperimen I, sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{Pers. 3})$$

$$\mu = \frac{1}{3}(9,35 + 9,22 + 9,27)$$

$$\mu = 9,28 \text{ Mpa}$$

2. Contoh perhitungan nilai rata – rata untuk eksperimen I, sebagai berikut:

$$\mu = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{3} \left(\frac{1}{9,35^2} + \frac{1}{9,22^2} + \frac{1}{9,27^2} \right) \right| \text{ (Pers. 4)}$$

$$\mu = 19,35$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Rata-rata dan SN/R Eksperimen Taguchi

No	Faktor				Rata – rata	SN/R
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	9,28	19,35
2	1	2	2	2	9,68	19,72
3	1	3	3	3	10,01	20,01
4	2	1	3	3	10,40	20,34
5	2	2	2	1	10,11	20,09
6	2	3	1	2	9,67	19,71
7	3	1	3	2	9,85	19,87
8	3	2	1	3	10,13	20,11
9	3	3	2	1	10,32	20,27

3.8 Perhitungan ANOVA Nilai Rata – rata

Berikut langkah – langkah perhitungan ANOVA nilai rata – rata:

1. Menghitung nilai rata – rata seluruh eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad \text{(Pers. 4)}$$

$$\bar{y} = \frac{9,35 + 9,22 + 9,27 + \dots + 10,49}{27}$$

$$\bar{y} = 9,94$$

2. Menghitung rata – rata setiap level faktor

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}} \quad \text{(Pers. 5)}$$

$$\bar{y}_{A1} = \frac{9,28 + 9,68 + 10,01}{3}$$

$$\bar{y}_{A1} = 9,66$$

3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

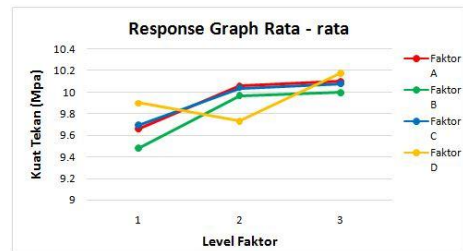
Berikut merupakan *Response tabel* pada penelitian ini :

Tabel 6. Tabel Nilai Respon Rata - Rata

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	9,66	9,84	9,69	9,90
Level 2	10,06	9,97	10,04	9,73
Level 3	10,10	10,00	10,08	10,18
Selisih	1,04	0,16	0,39	0,45
Ranking	2	4	3	1

Berikut merupakan *Respon graph* nilai Rata

– rata:



Gambar 2. Respon Graph untuk Nilai Rata – rata

4. Menghitung nilai total *sum of square*

$$SS_{total} = \sum Y^2 \quad \text{(Pers. 6)}$$

$$SS_{total} = 9,35^2 + 9,22^2 + 9,27^2 + \dots + 10,49^2$$

$$SS_{total} = 2669,78$$

5. Menghitung nilai *sum of squares due to mean*

$$mean(S_m) = n\bar{y}^2 \quad \text{(Pers. 7)}$$

$$mean = 27 * 9,94^2$$

$$mean = 2666,59$$

6. Menghitung nilai *sum of squares due to factors*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$SS_A = n_{A1} * \bar{A1}^2 + n_{A2} * \bar{A2}^2 + n_{A3} * \bar{A3}^2$$

$$- S_m \quad \text{(Pers. 8)}$$

$$SS_A = (9 * 9,66^2) + (9 * 10,06^2) + (9 * 10,10^2) - 2666,59$$

$$SS_A = 1,07$$

7. Menghitung nilai *sum of squares due to error*

$$SS_e = SS_{total} - mean(S_m) - \sum SS_j \quad \text{(Pers. 9)}$$

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D)$$

$$SS_e = 2669,78 - 2666,59 - (1,07 + 0,13 + 0,83 + 0,91)$$

$$SS_e = 0,25$$

8. Menghitung derajat bebas untuk sumber-sumber variansi

Contoh perhitungan untuk faktor A

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1 \quad \text{(Pers. 10)}$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of squares*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$M_A = \frac{SS_A}{DF_A} \quad (\text{Pers. 11})$$

$$M_A = \frac{1,07}{2}$$

$$M_A = 0,53$$

10. Menghitung nilai *F ratio*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$F_A = \frac{M_A}{M_e} \quad (\text{Pers. 12})$$

$$F_A = \frac{0,53}{0,014}$$

$$F_A = 37,88$$

11. Menghitung *pure sum of squares*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$SS_A' = SS_A - DF_A * M_e \quad (\text{Pers. 13})$$

$$SS_A' = 1,07 - (2 * 0,01)$$

$$SS_A' = 1,04$$

12. Menghitung *percent contribution*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$\rho A = \frac{SS_A'}{SS_t} * 100\% \quad (\text{Pers. 14})$$

$$\rho A = \frac{1,04}{9,28} * 100\%$$

$$\rho A = 32,59\%$$

Pada Tabel 7. berikut hasil dari seluruh perhitungan ANOVA untuk nilai rata-rata:

Dari Tabel 7 diketahui bahwa semua faktor memiliki pengaruh signifikan yaitu faktor A, B, C, dan D terhadap kuat tekan batako, dimana memiliki perbandingan *F-ratio*(faktor A=37,88; faktor B=4,62; faktor C=29,58; faktor D=32,07) lebih besar dari *F-tabel* ($F_{0,05;2;18}$)=3,55.

13. *Pooling Up*

Pooling Up merupakan rekomendasi untuk penggunaan separuh jumlah derajat kebebasan pada *Orthogonal Array* yang digunakan. Hal ini bertujuan agar adanya penghindaran dari estimasi yang berlebihan dan juga menghindari kesalahan pada eksperimen. Namun untuk eksperimen ini faktor yang dipilih berdasarkan faktor dengan nilai signifikan terendah yaitu faktor B (rasio komposisi air dan semen). Berikut ini perhitungan untuk *pooling up* faktor B :

$$SS (\text{pooled } e) = SSe + SSB \quad (\text{Pers.15})$$

$$= 0,25 + 0,13$$

$$= 0,38$$

$$DF (\text{pooled } e) = DFe + DFB \quad (\text{Pers. 16})$$

$$= 18 + 2 = 20$$

$$MS (\text{pooled } e) = \frac{S (\text{pooled } e)}{DF (\text{pooled } e)} \quad (\text{Pers. 17})$$

$$= \frac{0,38}{20} = 0,02$$

Pada Tabel 8. merupakan hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata setelah *pooling* :

Pada Tabel 8. berikut ini merupakan hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata setelah *pooling* :Hasil dari perhitungan tabel ANOVA setelah *pooling* menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi *error* sebesar 13,71%, dapat diartikan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi nilai rata-rata sudah cukup dimasukkan dalam eksperimen. Hal ini mengacu pada persyaratan yang ada dalam metode Taguchi bahwa persen kontribusi diharapkan pada nilainya $\leq 50\%$, dengan nilai tersebut berarti faktor-faktor signifikan telah dilibatkan di dalam eksperimen ini.

Tabel 7. ANOVA Nilai Rata-rata

Source	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A	1,07	2	0,53	37,88	1,04	32,59	3,55
B	0,13	2	0,07	4,62	0,10	3,21	3,55
C	0,83	2	0,42	29,58	0,81	26,25	3,55
D	0,90	2	0,45	32,07	0,88	27,45	3,55
Error	0,25	18	0,01	1	1,26	11,49	
SS _t	3,18	26	1,48		3,18	100	
Mean	2666,59	1					
SS _{total}	2669,78	27					

Tabel 8.ANOVA Nilai Rata-rata Setelah *Pooling Up*

Source	Pool	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A	Y	1,07	2	0,53	37,88	1,04	32,59	3,55
B		0,13	-	-	-	-	-	-
C		0,83	2	0,42	29,58	0,81	26,25	3,55
D		0,90	2	0,45	32,07	0,88	27,45	3,55
Error	Y	0,25	-	-	-	-	-	-
Pooled		0,38	20	0,02	1	1,4	13,71	
SS _t		3,18	26	1,48		3,18	100	
Mean		2666,59	1					
SS _{total}		2669,78	27					

3.9 Perhitungan ANOVA Nilai SN/R

Berikut ini langkah – langkah perhitungan ANOVA nilai SN/R

1. Menghitung nilai rata – rata SNR seluruh eksperimen

$$\bar{\eta} = \frac{\sum \eta}{g} \quad (\text{Pers. 18})$$

$$\bar{\eta} = \frac{19,35 + 19,72 + \dots + 20,27}{9}$$

$$\bar{\eta} = 19,94$$

2. Menghitung rata – rata SN/R setiap level faktor

Contoh perhitungan untuk faktor A level 1:

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_{ijk}}{\eta_{ijk}} \quad (\text{Pers. 19})$$

$$\bar{\eta} = \frac{19,35 + 19,72 + 20,01}{3}$$

$$\bar{\eta} = 19,69$$

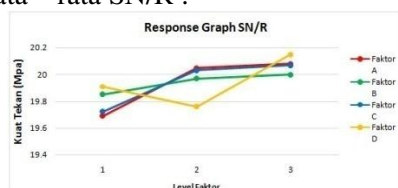
3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Berikut merupakan *Response tabel* SN/R pada penelitian ini :

Tabel 9. Tabel Nilai Respon SN/R

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	19,69	19,85	19,72	19,91
Level 2	20,05	19,97	20,03	19,76
Level 3	20,08	20,00	20,07	20,15
Selisih	0,39	0,15	0,35	0,39
Ranking	2	4	3	1

Berikut merupakan gambar *respon graph* nilai rata – rata SN/R :

**Gambar 3.**Response Graph Nilai SN/R

4. Menghitung nilai *total sum of square*
 $SS_{total} = \sum \eta^2$ (Pers. 20)

$$SS_{total} = 19,35^2 + 19,72^2 + \dots + 20,27^2$$

$$SS_{total} = 3579,27$$

5. Menghitung nilai *sum of squares due to mean*

$$Sm = \eta * \bar{\eta}^2 \quad (\text{Pers. 21})$$

$$Sm = 9 * 19,94^2$$

$$Sm = 3578,49$$

6. Menghitung nilai *sum of squares due to factors*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$SS_A = n_{A1} * \eta_{A1}^2 + n_{A2} * \eta_{A2}^2$$

$$+ n_{A3} * \eta_{A3}^2 - Sm \quad (\text{Pers. 22})$$

$$SS_A = (3 * 16,69^2) + (3 * 20,05^2) + (3 * 20,08^2)$$

$$- 3578,49$$

$$SS_A = 0,28$$

$$S(\text{pooled } e) = SSB + SSC \quad (\text{Pers. 23})$$

$$S(\text{pooled } e) = 0,04 + 0,22$$

$$S(\text{pooled } e) = 0,26$$

7. Menghitung derajat bebas untuk sumber-sumber variansi

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1 \quad (\text{Pers. 24})$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

8. Menghitung nilai *mean sum of squares*

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$M_A = \frac{SS_A}{DF_A} \quad (\text{Pers. 25})$$

Tabel 10.ANOVA Nilai SN/R

Source	Pool	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A	Y	0,28	2	0,14	27,79	0,27	34,24	6,94
B		0,04	-	-	-	-	-	-
C		0,22	2	0,10	21,82	0,21	26,60	6,94
D		0,23	2	0,11	22,99	0,22	28,11	6,94
E		0,26	2	0,005	1	0,33	13,05	
SSt		1,03	8			1,03	100	
Mean		3578,49	1					
SStot		3579,27	9					

$$M_A = \frac{0,28}{2}$$

$$M_A = 0,14$$

9. Menghitung nilai F ratio

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$F_A = \frac{M_A}{M_e} \quad (\text{Pers. 26})$$

$$F_A = \frac{0,14}{0,005}$$

$$F_A = 27,79$$

10. Menghitung pure sum of squares

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$SS'_A = SS_A - DF_A * M_e \quad (\text{Pers. 27})$$

$$SS'_A = 0,28 - (2 * 0,005)$$

$$SS'_A = 0,27$$

11. Menghitung percent contribution

Contoh perhitungan untuk faktor A:

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_t} * 100\% \quad (\text{Pers. 28})$$

$$\rho_A = \frac{0,27}{0,78} * 100\%$$

$$\rho_A = 34,24\%$$

Tabel 10. Merupakan hasil dari seluruh perhitungan ANOVA untuk nilai SN/R: Berdasarkan perhitungan ANOVA untuk nilai SN/R diatas menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi pada error sebesar 13,05 yang menunjukkan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi variansi sudah dimasukkan dalam eksperimen ini. Persen kontribusi diharapkan nilainya $\leq 50\%$ karena dengan nilai tersebut semua faktor-faktor yang penting telah dilibatkan.

3.10 Penentuan Setting Level

Berikut Tabel 11 perbandingan pengaruh faktor-faktor dalam eksperimen yang

digunakan untuk mencari *setting level* optimal terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan batako pejal.

Tabel 11. Tabel Penentuan *Setting Level*

Faktor	Pengaruh	Setting Level
A	Siginifikan	A3
B	Siginifikan	B3
C	Siginifikan	C3
D	Siginifikan	D3

3.11 Prediksi Kondisi Optimal

Prediksi kondisi optimal dari kuat tekan batako pejal berdasarkan nilai rata-rata dan juga nilai SN/R. Perkiraan setting level ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil eksperimen konfirmasi kedepannya, jika nilai perkiraan dari hasil eksperimen memiliki nilai hampir sama atau mendekati maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat yang ada.

1. Perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata eksperimen adalah sebagai berikut:

a. Perkiraan kondisi optimal nilai rata-rata:

Nilai rata-rata untuk seluruh data yaitu $\bar{y} = 9,94$

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\overline{A3} - \bar{y}) + (\overline{C3} + \bar{y}) + (\overline{D3} + \bar{y}) \quad (\text{Pers. 29})$$

$$\mu_{prediksi} = 9,94 + (10,10 - 9,94) + (10,08 - 9,94) + (10,18 - 9,94)$$

$$\mu_{prediksi} = 9,94 + 0,16 + 0,14 + 0,24$$

$$\mu_{prediksi} = 10,48 \text{ Mpa}$$

b. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan nilai rata-rata:

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|} \quad (\text{Pers. 30})$$

Keterangan n_{eff} :

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}}$$

$$neff = \frac{9 * 3}{DF\mu + DFA + DFC + DFD}$$

$$neff = \frac{27}{1 + 2 + 2 + 2} = 3,86$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut:

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSE * |\frac{1}{neff}|} \quad (\text{Pers. 31})$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;20} * 0,02 * |\frac{1}{3,86}|}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{4,35 * 0,02 * |\frac{1}{3,86}|}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,15$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai rata-rata proses optimal adalah sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$10,48 - 0,15 \leq \mu_{prediksi} \leq 10,48 + 0,15$$

$$10,33 \leq \mu_{prediksi} \leq 10,63$$

2. Perhitungan perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai SN/R adalah sebagai berikut:

- a. Perhitungan perkiraan kondisi optimal nilai SN/R:

Nilai rata-rata untuk SN/R seluruh data yaitu $\bar{\eta}=19,94$

$$\eta_{prediksi} = \bar{\eta} + (\bar{A3} - \bar{\eta}) + (\bar{C3} - \bar{\eta}) + (\bar{D3} + \bar{\eta}) \quad (\text{Pers. 32})$$

$$\eta_{prediksi} = 19,94 + (20,08 - 19,94) + (20,07 - 19,94) + (20,15 + 19,94)$$

$$\eta_{prediksi} = 19,94 + 0,14 + 0,13 + 0,21$$

$$\eta_{prediksi} = 20,42$$

- b. Perhitungan selang kepercayaan nilai SN/R:

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSE * |\frac{1}{neff}|} \quad (\text{Pers. 34})$$

Keterangan $neff$:

$$neff = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}}$$

$$neff = \frac{9}{DF\eta + DFA + DFC + DFD}$$

$$neff = \frac{9}{1 + 2 + 2 + 2} = 1,3$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai SN/R :

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSE * |\frac{1}{neff}|} \quad (\text{Pers. 35})$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;2} * 0,02 * |\frac{1}{1,3}|}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{18,51 * 0,02 * |\frac{1}{1,3}|}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,53$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai SN/R proses optimal:

$$\eta_{prediksi} - CI_{SNR} \leq \eta_{prediksi} \leq \eta_{prediksi} + CI_{SNR}$$

$$20,42 - 0,53 \leq \eta_{prediksi} \leq 20,42 + 0,53$$

$$19,89 \leq \eta_{prediksi} \leq 20,95$$

3.12 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan tahapan eksperimen yang dilakukan pada kombinasi level –level faktor optimal yang terpilih berdasarkan hasil yang diperoleh dari eksperimen Taguchi. Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk memeriksa hasil dari eksperimen Taguchi, jika hasil eksperimen konfirmasi dan eksperimen Taguchi pada kombinasi level optimalnya sudah cukup dekat maka dapat disimpulkan bahwa rancangan telah memenuhi syarat dalam eksperimen.

Untuk eksperimen konfirmasi pada penelitian ini digunakan 10 sampel batako pejal. Pengujian eksperimen konfirmasi dalam percobaan ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya dengan hasil pengujian kuat tekan batako eksperimen konfirmasi yang ditunjukkan pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hasil Kuat Tekan Batako Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Luas Penampang (mm ²)	Beban maks (N)	Kuat Tekan (Mpa)
1	37000	395000	10.68
2	37000	395000	10.68
3	37000	404000	10.92
4	37000	384000	10.38
5	37000	387000	10.46
6	37000	415000	11.22
7	37000	387000	10.46
8	37000	394000	10.65
9	37000	386000	10.43
10	37000	420000	11.35

Sumber: Hasil Pengujian di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil UB (2014)

1. Rumus dan hitungan untuk nilai variansi dan rata – rata :
 - a. Menghitung nilai rata – rata

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{Pers.36})$$

$$\mu = \frac{1}{10} (10,68 + 10,68 + \dots + 11,35)$$

$$\mu = 10,72$$

b. Menghitung variansi

Untuk jumlah sampel kurang dari 30:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (\text{Pers.37})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{10-1} ((10,68 - 10,42)^2 + \dots + 11,35 - 10,42)^2)$$

$$\sigma^2 = 0,11$$

c. Menghitung nilai SN/R

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right| \quad (\text{Pers.38})$$

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{10} \left(\frac{1}{10,68^2} + \dots + \frac{1}{11,35^2} \right) \right|$$

$$\eta = 20,60$$

2. Perhitungan Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

Perhitungan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi bertujuan untuk membuat suatu perkiraan dari level-level faktor. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata dan juga untuk nilai SN/R:

a. Selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata :

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right|} \quad (\text{Pers.39})$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;20} * 0,02 * \left| \frac{1}{3,86} + \frac{1}{10} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,13$$

Maka selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata :

$$\begin{aligned} \mu_{confirmation} - CI_{mean} &\leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI_{mean} \\ 10,72 - 0,13 &\leq \mu_{confirmation} \leq 10,72 + 0,13 \\ 10,59 &\leq \mu_{confirmation} \leq 10,85 \end{aligned}$$

b. Selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai SN/R:

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right|} \quad (\text{Pers.40})$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;2} * 0,02 * \left| \frac{1}{1,3} + \frac{1}{10} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,57$$

Maka selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai SN/R :

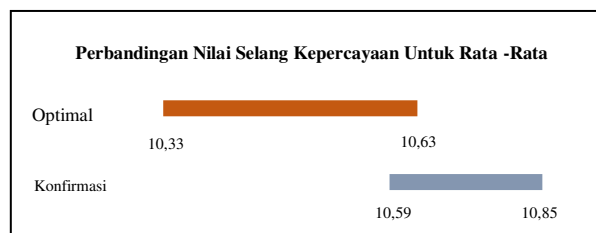
$$\mu_{confirmation} - CI_{SNR} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI_{SNR}$$

$$20,60 - 0,57 \leq \mu_{confirmation} \leq 20,60 + 0,57$$

$$20,03 \leq \mu_{confirmation} \leq 21,17$$

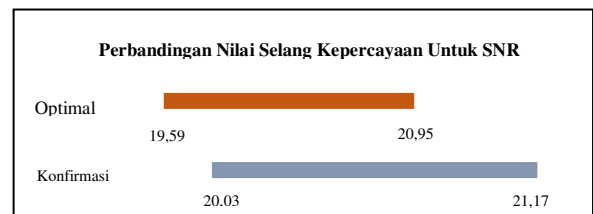
3. Analisis Selang Kepercayaan Kondisi Optimal dan Konfirmasi

Tahap elanjutnya membandingkan selang kepercayaan optimal dan eksperimen konfirmasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.berikut.



Gambar 4. Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai Rata-Rata

Berdasarkan Gambar 4. hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima dan dapat diimplementasikan pada pembuatan batako pejal. Dengan pertimbangan selang kepercayaan karena hasil dari eksperimen konfirmasi berada di atas nilai optimal. Untuk perbandingan selang kepercayaan nilai SN/R dapat dilihat pada Gambar 5.berikut:



Gambar 5. Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai SN/R

Berdasarkan Gambar 5. hasil dari eksperimen konfirmasi untuk nilai SN/R juga dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan dikarenakan nilai selang kepercayaan eksperimen konfirmasi berada di atas nilai optimal.

3.13 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi

Perbandingan dengan kondisi aktual ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara batako hasil dari eksperimen konfirmasi

dengan menerapkan setting level optimal. Pada Tabel 13 berikut merupakan perbandingan kondisi aktual dengan eksperimen konfirmasi :

Tabel 13. Perbandingan Kondisi Aktual dengan Eksperimen Konfirmasi

	Aktual	Konfirmasi	Spesifikasi
Rata - rata	5,08	10,72	5-11 Mpa
Variansi	3,29	0,005	

Pengujian hipotesis beda dua rata – rata untuk sampel kecil ($n \leq 30$), uji statistik menggunakan distribusi t . berikut merupakan prosedur pengujian hipotesis beda dua rata – rata:

a. Formulasi Hipotesis (satu arah kiri)

H_0 : Kuat tekan (Mpa) batako pejal *setting level* faktor optimal tidak berbeda terhadap kondisi aktual ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : Kuat tekan (Mpa) batako pejal *setting level* faktor optimal berbeda terhadap kondisi aktual ($\mu_1 < \mu_2$)

b. Nilai α (taraf nyata) dan nilai t tabel (t_α)

α (taraf nyata) = 0,05

Derajat kebebasan = $10 + 10 - 2 = 18$

$t_{\text{tabel}} = t_{\alpha (n_1+n_2-2)} = t_{0,05 (18)} = 1,734$

c. Kriteria Pengujian

Untuk $H_0: \mu_1 = \mu_2$ dan $H_0: \mu_1 < \mu_2$, maka

H_0 diterima jika $t_0 \geq t_\alpha$

H_0 ditolak jika $t_0 < -t_\alpha$

d. Uji statistik

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (\text{Pers. 41})$$

$$t_0 = \frac{5,08 - 10,72}{\sqrt{\frac{(10-1)3,29 + (10-1)0,05}{10+10-2} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)}}$$

$$t_0 = \frac{-5,64}{\sqrt{\frac{29,61+0,45}{18}}} = 0,2$$

$$t_0 = \frac{-5,64}{\sqrt{0,334}} = -9,72$$

e. Kesimpulan Hipotesis Uji t

Karena t hitung (-9,72) lebih kecil dari t tabel (-1,734) maka H_0 ditolak. Sehingga kuat tekan (Mpa) batako pejal *setting level* faktor optimal berbeda terhadap kondisi aktual.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor – faktor yang mempengaruhi kuat tekan (Mpa) batako pejal dengan bahan

tambahan pasir *silica fume* limbah *sandblasting* yaitu faktor rasio air semen (f.a.s) dan agregat, faktor rasio faktor air dan semen (f.a.s), faktor rasio agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir), dan faktor rasio *silica fume* dan semen.

2. Berdasarkan hasil dari ANOVA untuk nilai rata – rata maupun nilai SN/R didapatkan *setting level* optimal dari faktor – faktor terkontrol, faktor yang memiliki tingkat signifikan lebih terhadap kuat tekan batako pada eksperimen ini yaitu rasio air semen (f.a.s) dan agregat (40%:60%), rasio faktor air semen (f.a.s) (45%:55%), rasio agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) dengan (25%:75%), rasio *silica fume* dan semen (30%:70%). Dengan nilai kuat tekan sebesar 10,72 Mpa.

Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional. 1989. *Bata Beton Untuk Pasangan Dinding: SNI 03 – 0349 – 1989*. Jakarta: BSN.

Blavendram. 1995. *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. Pretice Hall, London.

C Holland, Terence. (2005). *Silica Fume User's Manual*. Washington DC: Federal Highway Administration.

Frick, Heinz dan Koesmartadi. (1999). *Ilmu Bahan Bangunan Eksploitasi, Pembuatan, Penggunaan dan Pembuangan*. Yogyakarta: Andi Publisher.

Hasan, Iqbal. (2003). *Pokok – Pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferesif)*. Jakarta: PT Bumi Aksara.

Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publisher.

Soedjanto, Irawan. (2008). *Rekayasa Kualitas: eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Surabaya: Yayasan Humaniora.

Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabet