

**APLIKASI METODE DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK
MENGHASILKAN KOMPOSISI CAMPURAN *FLY ASH* DAN *SILICA
FUME* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP
KUAT TEKAN MORTAR**

*Application of Taguchi Experimental Design Method to Produce Composition of Fly Ash
and Silica Fume Mixture as Partial Replacement of Cement on Mortar Compressive
Strength*

Artikel Ilmiah

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh :

SITI HULLI TSALITSAH

F1A019168

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

ARTIKEL ILMIAH

**APLIKASI METODE DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK
MENGHASILKAN KOMPOSISI CAMPURAN *FLY ASH* DAN *SILICA
FUME* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP
KUAT TEKAN MORTAR**

*Application of Taguchi Experimental Design Method to Produce Composition of Fly Ash
and Silica Fume Mixture as Partial Replacement of Cement on Mortar's Compressive
Strength*

Oleh:

**Siti Hulli Tsalitsah
FIA 019 168**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

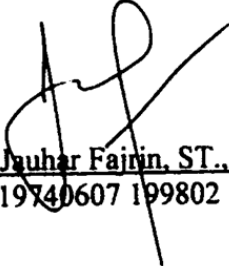
1. Pembimbing Utama



Hariyadi, ST., MSc(Eng)., Dr. Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

Tanggal: 20/7/2023

2. Pembimbing Pendamping



Prof. Jaubar Fairin, ST., MSc(Eng)., Ph. D.
NIP. 19740607 199802 1 001

Tanggal: 20/7/2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, ST., MSc(Eng)., Dr. Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

APLIKASI METODE DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK MENGHASILKAN KOMPOSISI CAMPURAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Siti Hulli Tsalitsah¹, Hariyadi², Jauhar Fajrin²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Email: sthullitsalitsah0@gmail.com

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi, mortar merupakan material utama yang kerap digunakan. Dengan semakin meningkatnya infrastruktur di Indonesia saat ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan mortar dan seluruh bahan penyusunnya khususnya semen yang dapat menimbulkan permasalahan pada lingkungan dan memberi efek samping seperti tingginya panas hidrasi, penyusutan, dan retakan apabila digunakan dalam jumlah banyak. Dengan menambahkan bahan yang bersifat pozzolan contohnya seperti abu terbang (*fly ash*) dan juga *silica fume*, dinilai dapat meningkatkan kekuatan pada mortar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain eksperimen Taguchi dengan empat faktor (semen, pasir, *fly ash*, dan *silica fume*) dan tiga level dengan karakteristik kualitas larger is better untuk mendapatkan kuat tekan mortar yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh faktor mempengaruhi kuat tekan mortar. Sedangkan komposisi bahan yang dihasilkan berdasarkan analisis adalah dengan level faktor yang terpilih masing-masing pada level 3 dengan nilai semen = 61 gram, pasir = 200 gram, *fly ash* = 26 gram, dan *silica fume* = 13 gram yang menghasilkan kuat tekan mortar berkisar sebesar 25 MPa. Masing-masing bahan memiliki persen kontribusi sebesar 40% untuk semen, 32% untuk pasir, 8% pada *fly ash*, dan 17% pada *silica fume*. Sedangkan *error* yang terjadi sebesar $3\% \leq 50\%$, hal ini berarti tidak ada faktor berpengaruh yang terabaikan.

Kata Kunci: Mortar, *fly ash*, *silica fume*, metode Taguchi

ABSTRACT

In the world of construction, mortar is the main material that is often used. With the increasing infrastructure in Indonesia, the need for mortar and all its constituent materials, especially cement has increased, which can cause environmental problems and side effects such as high heat of hydration, shrinkage, and cracks when used in large quantities. Adding pozzolanic materials, such as fly ash and silica fume, is considered to increase the strength of the mortar. The method used in this study is the Taguchi experimental design with four factors (cement, sand, fly ash, and silica fume) and three levels with larger better quality characteristics to obtain high mortar compressive strength. The results showed that all factors affect the compressive strength of mortar. While the material composition produced based on the analysis is with the selected factor level cement = 61 grams, sand = 200 grams, fly ash = 26 grams, and silica fume = 13 grams, resulting in an optimum mortar compressive strength ranging around 25 MPa. Each material has a percent contribution of 40% for cement, sand at 32%, fly ash at 8%, and silica fume at 17%. While the error that occurs is $3\% \leq 50\%$, this means that there are no influential factors that are neglected.

Keywords: Mortar, *fly ash*, *silica fume*, Taguchi method

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, mortar merupakan material utama yang kerap digunakan. Bahan dasar pembuatan mortar adalah semen, agregat halus (pasir), dan air.

Dengan semakin meningkatnya infrastruktur di Indonesia saat ini, tentu semakin meningkat pula kebutuhan akan mortar dan seluruh bahan penyusunnya. Khususnya peningkatan produksi semen yang menuai banyak kontra dalam masyarakat karena dinilai dapat menimbulkan masalah pada lingkungan. Selain itu juga, penggunaan semen dalam jumlah banyak untuk menghasilkan kuat tekan yang tinggi dapat menyebabkan efek samping seperti tingginya panas hidrasi, penyusutan, dan retakan.

Dalam berbagai penelitian terkait mortar yang telah dilakukan, penambahan bahan yang bersifat pozzolan dinilai dapat meningkatkan kekuatan pada mortar. Manfaat lainnya juga dapat mengurangi panas hidrasi, meningkatnya fas, workabilitas yang lebih baik, dan merubah waktu *setting*. Beberapa bahan tambah bersifat pozzolan yang dapat dimanfaatkan contohnya seperti limbah hasil pabrik yaitu abu terbang (*fly ash*) dan juga *silica fume*.

Pada metode eksperimen klasik, penggunaan variabel dalam jumlah banyak akan lebih sulit dilakukan dan membutuhkan jumlah eksperimen yang banyak, sehingga proses pelaksanaan maupun analisis data yang dilakukan kurang efisien.

Agar dapat memperoleh hasil yang optimum dengan mengatasi permasalahan metode eksperimen klasik tersebut, terdapat beberapa metode statistik yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan hasil penelitian yang menggunakan beberapa variabel dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit namun mendapatkan data yang lebih banyak. Maka dalam penelitian ini digunakan salah satu metode optimasi produk yaitu metode desain eksperimen Taguchi. Untuk itu melalui tugas akhir ini penulis akan mengkaji mengenai “**Aplikasi Metode Desain Eksperimen Taguchi untuk Menghasilkan Komposisi Campuran Fly Ash dan Silica Fume sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Mortar**”.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Berapakah komposisi *fly ash*, *silica fume*, semen, dan pasir pada campuran mortar

dengan menggunakan metode eksperimen Taguchi?

- 2) Bagaimana pengaruh *fly ash* dan *silica fume* pada campuran mortar terhadap nilai kuat tekan?

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen Taguchi. Metode Taguchi atau yang dapat disebut dengan *robust design* adalah suatu metode statistik yang berguna untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi. Dengan tahapan desain yaitu tahap perencanaan yang meliputi: perumusan masalah dan tujuan penelitian, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), penentuan jumlah level dan nilai level faktor, perhitungan derajat kebebasan, pemilihan matriks orthogonal, dan penempatan kolom untuk faktor ke dalam matriks orthogonal. Tahap pelaksanaan meliputi: Persiapan bahan, persiapan peralatan, pemeriksaan bahan, pembuatan benda uji, serta pengujian kuat tekan mortar. Sedangkan tahap analisa meliputi: penentuan setting level optimum, perhitungan interval kepercayaan kondisi optimum, tahap verifikasi, serta analisa dan interpretasi hasil penelitian.

Tabel 1. Nilai level (*setting level*) faktor (gram)

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	49.20	54.75	61.00
B	240.00	225.00	200.00
C	7.20	13.50	26.00
D	3.60	6.75	13.00

Keterangan:

A= Semen, B= Pasir, C= *Fly Ash*, D= *Silica Fume*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bahan

Sebelum melakukan eksperimen, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan bahan. Diantaranya yaitu pengujian agregat halus (pasir), pemeriksaan kualitas air, semen, *fly ash*, dan *silica fume*.

Hasil dan Pembahasan Eksperimen Taguchi

Matriks orthogonal yang digunakan dalam penelitian ini adalah matriks orthogonal $L_9(3^4)$ dengan 4 faktor dan 3 level seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks orthogonal $L_9(3^4)$

Matriks Orthogonal								
Eksp	Faktor				Faktor			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	1	1	1	1	49.20	240.00	7.20	3.60
2	1	2	2	2	49.20	225.00	13.50	6.75
3	1	3	3	3	49.20	200.00	26.00	13.00
4	2	1	2	3	54.75	240.00	13.50	13.00
5	2	2	3	1	54.75	225.00	26.00	3.60
6	2	3	1	2	54.75	200.00	7.20	6.75
7	3	1	3	2	61.00	240.00	26.00	6.75
8	3	2	1	3	61.00	225.00	7.20	13.00
9	3	3	2	1	61.00	200.00	13.50	3.60

Berdasarkan kombinasi campuran pada tabel tersebut maka dibuat sebanyak 27 sampel mortar yang kemudian dilakukan pengujian kuat tekan setelah mortar berumur 28 hari perendaman. Dari uji tekan mortar, didapatkan hasil kuat tekan seperti pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan mortar

Eksp.	Faktor (gram)				Kuat Tekan (MPa)			Mean
	A	B	C	D	1	2	3	
1	49.20	240.00	7.20	3.60	5.03	5.07	5.19	5.09
2	49.20	225.00	13.50	6.75	10.54	10.75	10.20	10.50
3	49.20	200.00	26.00	13.00	16.70	17.18	16.99	16.96
4	54.75	240.00	13.50	13.00	14.70	12.78	11.93	13.14
5	54.75	225.00	26.00	3.60	13.44	14.83	11.74	13.34
6	54.75	200.00	7.20	6.75	15.93	16.27	16.82	16.34
7	61.00	240.00	26.00	6.75	15.71	16.40	16.24	16.12
8	61.00	225.00	7.20	13.00	17.45	17.57	16.90	17.31
9	61.00	200.00	13.50	3.60	16.83	18.16	16.53	17.17

Setelah didapatkan hasil uji kuat tekan, selanjutnya dilakukan analisis data dengan S/N Ratio maupun ANOVA. Sesuai dengan karakteristik kualitas yang ingin dicapai yaitu *larger the better*, sehingga pada analisis *S/N Ratio* dan *mean* didapatkan hasil penentuan level faktor yang optimum untuk semen adalah level 3, pasir level 3, *fly ash* level 3, dan *silica fume* level 3. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 serta *main effect plot* pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 4. Hasil perhitungan rata-rata (*mean*) masing-masing level faktor

Level	A	B	C	D
1	19.71	20.19	21.05	20.40
2	22.97	22.52	22.45	22.94
3	24.53	24.51	23.70	23.87
Delta	4.81	4.32	2.65	3.47
Rank	1	2	4	3

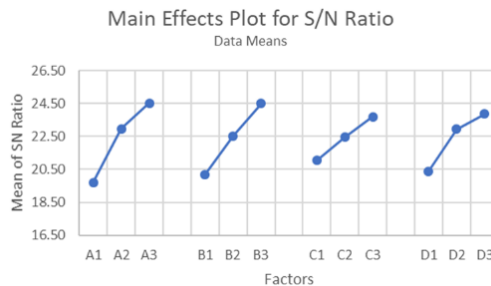
Tabel 5. Hasil perhitungan rata-rata *S/N Ratio* masing-masing level faktor

Level	A	B	C	D
1	10.85	11.45	12.91	11.87
2	14.27	13.71	13.60	14.32
3	16.87	16.82	15.47	15.80
Delta	6.02	5.37	2.56	3.93
Rank	1	2	4	3

Gambar 1. *Main effect plot Mean*



Gambar 2. *Main effect plot S/N Ratio*



Sementara hasil analisis ANOVA menunjukkan persen kontribusi dari masing-masing faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar. Untuk mengetahui faktor mana saja yang signifikan terhadap kuat tekan, dinilai berdasarkan F-ratio yang harus lebih besar daripada F-tabel yaitu $(F_{0,05; 2; 18}) = 3.355$.

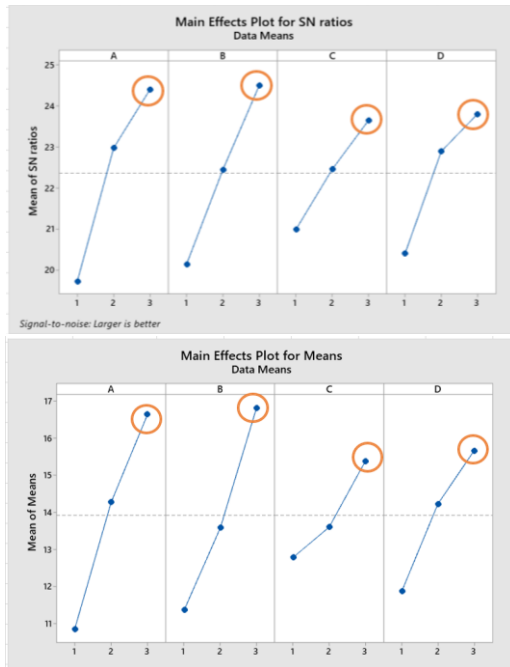
Tabel 6. Hasil ANOVA untuk kuat tekan mortar

Factors	Degree of Freedom	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Status	%Contribution
Semen	2	163.904	163.904	81.952	127.916	0.000	significant	40.09
Pasir	2	130.907	130.907	65.453	102.164	0.000	significant	32.02
FA	2	31.537	31.537	15.769	24.613	0.000	significant	7.71
SF	2	70.989	70.989	35.495	55.402	0.000	significant	17.36
Error	18	11.532	11.532	0.641				2.82
Total	26	408.868						100

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa semen memiliki persen kontribusi tertinggi sebesar 40.09%, pasir 32.02%, *silica fume* 17.36%, dan *fly ash* 7.71%. Sedangkan nilai persen kontribusi error sebesar 2.82% < 50% yang berarti bahwa seluruh faktor yang signifikan berpengaruh terhadap nilai *S/N Ratio* kuat tekan mortar. Selanjutnya dilakukan

setting level optimum untuk perencanaan eksperimen konfirmasi.

Setting level optimum ditentukan berdasarkan dari hasil analisis faktor-faktor terhadap nilai rata-rata (*mean*), *S/N Ratio*, dan ANOVA. Dalam penentuan setting level pada setiap faktor, dipilih level yang menghasilkan respon nilai rata-rata (*mean*) dan respon nilai *S/N Ratio* tertinggi. Sehingga dapat dilihat dari *main effect plot* pada Gambar 3, setting level optimum untuk seluruh faktor adalah level 3.



Gambar 3. (a) Penentuan setting level optimum berdasarkan nilai *S/N Ratio*. (b) Penentuan setting level optimum berdasarkan nilai rata-rata (*mean*)

Tabel 7. Setting level optimum eksperimen Taguchi

Faktor	Level	Komposisi (gr)
Semen	3	61.00
Pasir	3	200.00
Fly Ash	3	26.00
Silica Fume	3	13.00

Eksperimen Konfirmasi

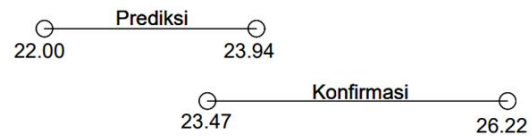
Eksperimen konfirmasi merupakan tahap verifikasi dari hasil setting level optimum pada eksperimen Taguchi yang bertujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang telah diperoleh selama tahap analisa. Berdasarkan setting

level sebelumnya, dibuat 3 sampel mortar dengan hasil kuat tekan sebagai berikut.

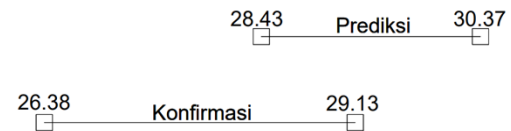
Tabel 8. Hasil uji kuat tekan mortar eksperimen konfirmasi

Benda Uji	No. Sampel	Hasil Pengujian				Rata-rata
		P (kN)	P (N)	A (mm ²)	F (MPa)	
Opt.	I	72	72000	2535	28.40	24.84
	II	62	62000	2560.32	24.22	
	III	55	55000	2510	21.91	

Berdasarkan perbandingan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dengan kondisi optimum eksperimen Taguchi untuk nilai rata-rata pada Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata telah dapat membuktikan performansi yang diramalkan, dengan interval kepercayaan kondisi optimum. Sehingga kondisi level faktor optimum hasil evaluasi sebelumnya dapat diterima dan dapat diterapkan dalam proses selanjutnya.



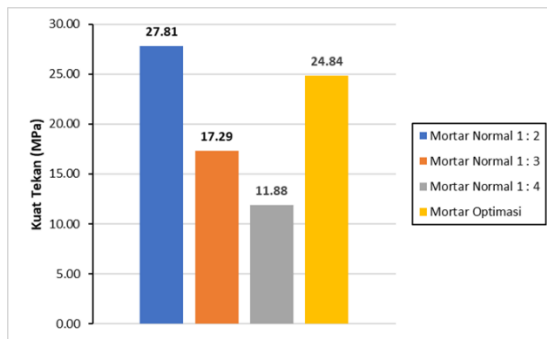
Gambar 4. Perbandingan interval kepercayaan untuk nilai rata-rata (*mean*)



Gambar 5. Perbandingan interval kepercayaan untuk nilai *S/N Ratio*

Perbandingan nilai kuat tekan mortar hasil optimasi dengan mortar normal

Mortar normal yang digunakan menggunakan perbandingan semen dan pasir 1:2 1:3 dan 1:4 menghasilkan kuat tekan berturut-turut 27.81 MPa, 17.29 MPa, dan 11.88 MPa. Sedangkan mortar campuran hasil optimasi menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 24.48 MPa. Perbandingan nilai kuat tekan rata-rata mortar dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Perbandingan nilai kuat tekan mortar normal dan mortar campuran hasil optimasi

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kuat tekan mortar yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Persentase komposisi campuran mortar dengan menggunakan *fly ash* dan *silica fume* dengan menggunakan metode eksperimen Taguchi adalah 61 gram semen, 200 gram pasir, 26 gram *fly ash*, dan 13 gram *silica fume*. Campuran dengan komposisi tersebut menghasilkan nilai kuat tekan berkisar 25 MPa dan telah memenuhi SNI 03-6882-2002 yang dimana kuat tekan lebih besar dari 17,2 MPa sehingga termasuk mortar tipe M yang digunakan sebagai pasangan bertulang maupun tidak bertulang yang memikul beban besar.
- 2) Pengaruh pencampuran *fly ash* dan *silica fume* pada mortar memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan mortar normal 1:4 dan 1:3. Namun lebih rendah dibandingkan dengan mortar normal 1:2. Jumlah persen kontribusi masing-masing material terhadap kuat tekan mortar yaitu, semen 40%, pasir 32%, *silica fume* 17%, dan *fly ash* 8%, serta *error* sebesar 3% ≤50% hal ini berarti tidak ada faktor berpengaruh yang terabaikan.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Dalam penelitian yang saya lakukan menggunakan metode Taguchi ini awalnya

digunakan 3 level dan 3 faktor yaitu *fly ash*, *silica fume*, dan rasio semen : pasir yang selanjutnya dilakukan modifikasi menjadi 4 faktor dengan rasio semen : pasir dipecah menjadi 2 faktor yaitu faktor semen dan faktor pasir. Dalam penelitian ini diharapkan mendapatkan komposisi optimum dari ke-empat faktor tersebut. Namun pada analisis yang dilakukan tidak mendapatkan komposisi optimum yang diharapkan. Hal ini dapat dikarenakan adanya modifikasi nilai level faktor sebelumnya. Karena apabila nilai level faktor diubah, perbandingan ini menjadi tidak konsisten dan dapat menyebabkan kesalahan dalam mengevaluasi pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap hasil. Selain itu juga, tidak ditemukannya jurnal yang mendukung terkait dilakukannya modifikasi level faktor. Sehingga penulis menyarankan untuk tidak melakukan modifikasi pada perencanaan *setting* level faktor dengan metode Taguchi.

- 2) Menggunakan nilai level faktor awal yang lebih bervariasi ketika menggunakan metode Taguchi sehingga dapat memberikan hasil yang lebih detail dengan tetap melakukan uji pendahuluan atau studi literatur terlebih dahulu.
- 3) Melakukan pengujian lainnya seperti kuat lekat pada mortar dengan campuran *fly ash* dan *silica fume*.
- 4) Dapat melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode Taguchi mengenai mortar dengan bahan substitusi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustina, V. 2021. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Pengganti Sebagian Material terhadap Kuat Tekan, Kuat Rekat, dan Daya Serap Air pada Mortar. Universitas Mataram, Mataram.
- [2] Amirullah, K. (2019). *Pengaruh Pemakaian Fly Ash dan Silica Fume sebagai Bahan Penambah pada Campuran Mutu Beton K-300*. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.
- [3] Antoni, Chandra, L., Hardjito, D. (2015). *The Impact of Using Fly Ash, Silica Fume and Calcium Carbonate on the Workability and Compressive Strength of Mortar*. *Procedia Engineering*, 125, 773–779.
- [4] Fajrin, J., Pathurahman, Pratama, L., G. (2016). *Aplikasi metode analysis of variance*

- (ANOVA) untuk mengkaji pengaruh penambahan silica fume terhadap sifat fisik dan mekanik mortar. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 12, Nomor 1.
- [5] Frisda, T., Aswin, M., Ahmad P., M. T. (2022). *Potensial Penggunaan Bata-ECC Berbasis Silica Fume dan Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Kuat Tekan*. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 261–271.
- [6] Hidayatunnisa, N. A. 2017. *Aplikasi Metode Desain Eksperimen Taguchi Untuk Mencari Komposisi Optimum Bata Non Bakar Ditinjau Dari Kuat Tekan*. Universitas Mataram, Mataram.
- [6] Krishnaiah, K., & Shahabudeen, P. 2012. *Applied design of experiments and Taguchi methods*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- [7] SNI 03-6820-2002, *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*, Standar Nasional Indonesia.
- [8] SNI 03-6825-2002, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*, Standar Nasional Indonesia.
- [9] SNI 03-6882-2002, *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*, Standar Nasional Indonesia
- [10] SNI 15-2094-2004, *Semen Portland*, Standar Nasional Indonesia.
- [11] Soejanto, I. 2009. *Desain eksperimen dengan metode taguchi*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [12] Sutriyono, B., Trimurtiningrum, R., Rizkiardi, A. (2018). Pengaruh Silica Fume sebagai Substitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Desember*, Vol. 4, Nomor 4.
- [13] Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton (2nd ed.)*. Andi. Yogyakarta.
- [14] Nugraha, P., & Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- [15] Takim, Naibaho, A., Ningrum, D. (2016). Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat dan Penyerapan Air pada Mortar. *Jurnal Reka Buana*, Vol. 1, Nomor 2.
- [16] Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit, Yogyakarta.
- [17] Wardhani, N., K. (2022). *Aplikasi Metode Desain Eksperimen Taguchi untuk Mencari Komposisi Optimum Campuran Fly Ash dan Bottom Ash pada Mortar*. Mataram : Universitas Mataram.