Buletin Profesi Insinyur 5(2) (2022) 056–065
http://dx.doi.org/10.20527/bpi.v5i2.142

ISSN 2654-5926

Analisis Pengaruh Bahan Campuran Terhadap Kekuatan Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) Kelas A dengan *Fly Ash* (Abu Terbang)

Utami Sylvia Lestari [1] Fauzi Rahman[1] Yasruddin[1] Muhammad Aminullah[2]

[1]Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

[2]Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

✉ utami.s.lestari@ulm.ac.id

Lapis Pondasi Agregat Semen Kelas A (LPAS–A) adalah suatu campuran beton dengan nilai slump sama dengan nol atau dapat dikatakan sebagai beton semi kering. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh yang paling signifikan terhdap kuat tekan LPAS–A. Dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan menggunakan 4 faktor dan 3 level. Untuk faktor sendiri itu terdiri dari semen portland, *fly ash*, agregat halus serta air. Kombinasi level dari faktor yang menghasilkan nilai rata–rata dan variansi kuat tekan silinder beton yang optimal adalah sama, yaitu diperoleh dari setting faktor semen pada level 3 sebesar 1,607 kg (A3), interaksi antara semen pada level 3 sebesar 1,607 kg dan air pada level 2 sebesar 1,243 lt (A3B2) serta air pada level 2 sebesar 1,243 lt (B2) dan berdasarkan identifikasi faktor maka faktor–faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan campuran LPAS–A adalah semen (A), interaksi antara semen dan air (AxB), serta air (B). Adapun persentase pengaruh berdasarkan rata–rata kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 46,017% (semen), 20,593% (interaksi semen dan air), dan 5,904% (air). Sedangkan persentase pengaruh berdasarkan rasio S/N kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 40,767% (semen), 23,648% (interaksi semen dan air), dan 6,221% (air).

Kata kunci: *fly ash*, lapis pondasi, agregat, semen, kelas A, metode Taguchi

Diajukan: 15 Juli 2022
Direvisi: 3 September 2022
Diterima: 30 September 2022
Dipublikasikan online: 1 Oktober 2022

Pendahuluan

Jalan adalah bagian dari perkerasan jalan yang dilengkapi dengan lapisan konstruksi tertentu dengan ketebalan, kekakuan, kekuatan dan stabilitas tertentu, sehingga beban lalu lintas yang melewatinya dapat dialihkan ke lapisan tanah dasar. Konstruksi perkerasan jalan yang paling umum digunakan adalah perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan utamanya, sedangkan perkerasan kaku menggunakan beton sebagai bahan utama yang digunakan.

Perkerasan dapat dirancang dan dibangun dengan baik dengan beton sehingga memiliki umur konstruksi yang panjang dan biaya perawatan yang rendah. Dibandingkan dengan perkerasan lentur, perkerasan kaku memiliki kelebihan. Perkerasan lentur atau trotoar menggunakan metode Macadam merupakan teknik yang lebih murah dibandingkan dengan jalan beton, tetapi umur perkerasan jauh lebih pendek, kurang dari 10–20 tahun. Apalagi saat cuaca berubah begitu drastis, dari panas terik hingga hujan deras. Saat panas, aspal menjadi lembek sehingga saat dilalui kendaraan menjadi sangat elastis dan menghasilkan permukaan bergelombang. Sebaliknya pada saat hujan, aspal menjadi mengeras dan getas, ketika melewati kendaraan beton aspal retak, pecah, dan berlubang, yang dapat merusak struktur *subbase* atau *base course*.

Lapis Pondasi Agregat Semen Kelas A atau yang biasa disebut LPAS–A adalah suatu campuran beton dengan nilai *slump* sama dengan nol atau dapat dikatakan sebagai beton semi kering. Hanya saja LPAS–A mempunyai kekuatan tekan (*compressive strength*) yang terbatas yaitu berkisar 50–100 kg/cm^2. Maka sehubungan dengan hal tersebut di atas akan dicoba suatu pengembangan LPAS–A dengan bahan subtitusi semen dari limbah hasil pengolahan batubara (*fly ash*). Tujuannya adalah untuk menaikkan kuat tekan (*compressive strength*).

Kalimantan Selatan memiliki limbah batubara yang melimpah yang mana limbah *fly ash* batubara digunakan sebagai pengganti semen. Jumlah sampah yang besar ini mampu mengancam keseimbangan lingkungan sekitar, namun setelah diteliti lebih lanjut ternyata limbah ini memiliki sifat pozzolan yang mirip dengan semen, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti semen portland dalam pekerjaan perkerasan jalan (Lestari et al., 2021). Dalam hal ini *fly ash* masuk kedalam kategori limbah Non-B3 yang akan menjamin keamanan serta kemudahan dalama penanganan limbah *fly ash* khususnya untuk perkerasan jalan (Peraturan Pemerintah No. 22, 2021).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yasruddin et al. (2020) bertujuan untuk mengetahui karakteristik nilai masing–masing kombinasi *fly ash*, *bottom ash* dan semen merupakan campuran lapisan

Cara mensitasi artikel ini:
Lestari U.S., Rahman, F., Yasruddin, Aminullah, M. (2022) Analisis Pengaruh Bahan Campuran Terhadap Kekuatan Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) Kelas A dengan *Fly Ash* (Abu Terbang). *Buletin Profesi Insinyur* 5(2) 056-065

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license

 ISSN 2654-5926

tanah dasar. Lima kombinasi *fly ash*, *bottom ash*, semen dan tanah digunakan sebagai campuran tanah dasar. Penelitian ini menggunakan lima jenis pengujian yaitu Atterberg limit, spesific gravity, analis saringan, kompaksi dan California bearing ratio (CBR). Selain itu juga menghasilkan kombinasi *fly ash*, *bottom ash*, semen dan lumpur yang dapat digunakan untuk tanggul normal dan selektif. Pencemaran dapat disebabkan oleh pembangunan jalan tol tanah lunak di selatan limbah batubara yang dihasilkan dengan metode pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Limbah batubara sedang dipelajari untuk digunakan sebagai campuran untuk menstabilkan dasar jalan pembangunan di daerah Kalimantan Selatan.

Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh bahan campuran terhadap kekuatan Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) Kelas A Dengan *fly ash* (abu terbang) dengan metode Taguchi. Metode Taguchi adalah ukuran peningkatan kualitas yang dikenal sebagai metode kontrol kualitas *offline*. Cara ini bertujuan untuk menghasilkan produk yang lebih kuat (kokoh), seperti yang sering disebut sebagai metode desain yang kuat. Metode Taguchi bertujuan untuk mengoptimalkan desain produk dan proses sehingga kinerja akhir memenuhi target dan memiliki nilai variasi yang minimal. Ada dua tahapan utama dari metode Taguchi, yaitu metode desain parameter dan metode desain toleransi (Haumahu & Wuryandari, 2011). Penelitian ini bertujuan menganalisis rancangan kombinasi yang optimal pada LPAS–A serta mengidentifikasi faktor mana saja yang memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap kuat tekan LPAS-A.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variansi tanpa menghilangkan penyebabnya (Soejanto, 2009). Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter (Wahjudi et al., 2001). Rancangan dalam penenlitian ini menggunakan empat faktor dan tiga level, yang mana faktor tersebut ialah semen, air, agregat halus dan *fly ash*. Untuk bahan yang digunakan yaitu berupa semen type I merk Tiga Roda, agregat halus dari Palangkaraya Kalimantan Tengah, dan air berasal dari PDAM setempat sedangkan untuk *fly ash* (abu terbang) dari PLTU Asam–asam, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan.

Persiapan bahan
Material yang digunakan untuk penelitian, yaitu Semen Portland Composite Cement (PCC), pasir, dan *fly ash* (abu terbang).

Pengujian bahan
Sebelum melakukan pencampuran bahan, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap material yang digunakan. Pengujian tersebut meliputi pengujian karakteristik agregat halus dan pengujian karakteristik semen sebagai berikut:

1) Pengujian kadar air
2) Pengujian kadar lumpur
3) Pengujian kadar organik
4) Pengujian analisa saringan
5) Pengujian berat volume
6) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat
7) Pengujian berat volume
8) Pengujian berat jenis
9) Pengujian konsistensi normal
10) Pengujian waktu pengikatan

Perencanaan Campuran
Perencanaan campuran Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) kelas A dalam penelitian ini menggunakan metode penakaran bahan untuk faktor kontrol semen *Portland Composite Cement* (PCC), air, agregat halus (pasir) dan *fly ash*.

Ketentuan Benda Uji
Untuk benda uji sendiri memiliki bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang mana hasil pengecoran nantinya akan direndam selama 7 hari dan setelah itu akan dilakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji tersebut (Dirjen Bina Marga, 2018).

Pengumpulan dan Analisa Data

1) Uji normalitas
2) Uji homogenitas
3) Uji ANOVA (*analysis of varians*)
4) Uji F
5) Pooling Up faktor
6) Perhitungan rasio S/N dan efek tiap faktor
7) Eksperimen konfirmasi
8) Pembahasan dan kesimpulan

Adapun metodologi penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil Kerja

Pengujian Agregat Halus
Agregat halus yang digunakan dalam penenlitian ini adalah agregat halus dari Palangkaraya. Sebelum agregat halus digunakan untuk campuran beton, material ini terlebih dahulu diuji antara lain:

1) Pengujian kadar air

Dari pengujian, didapatkan hasil pengujian kadar air sebesar 5 %.

2) Pengujian kadar lumpur

Dari pengujian, didapatkan hasil pengujian kadar lumpur sebesar 9,45 %.

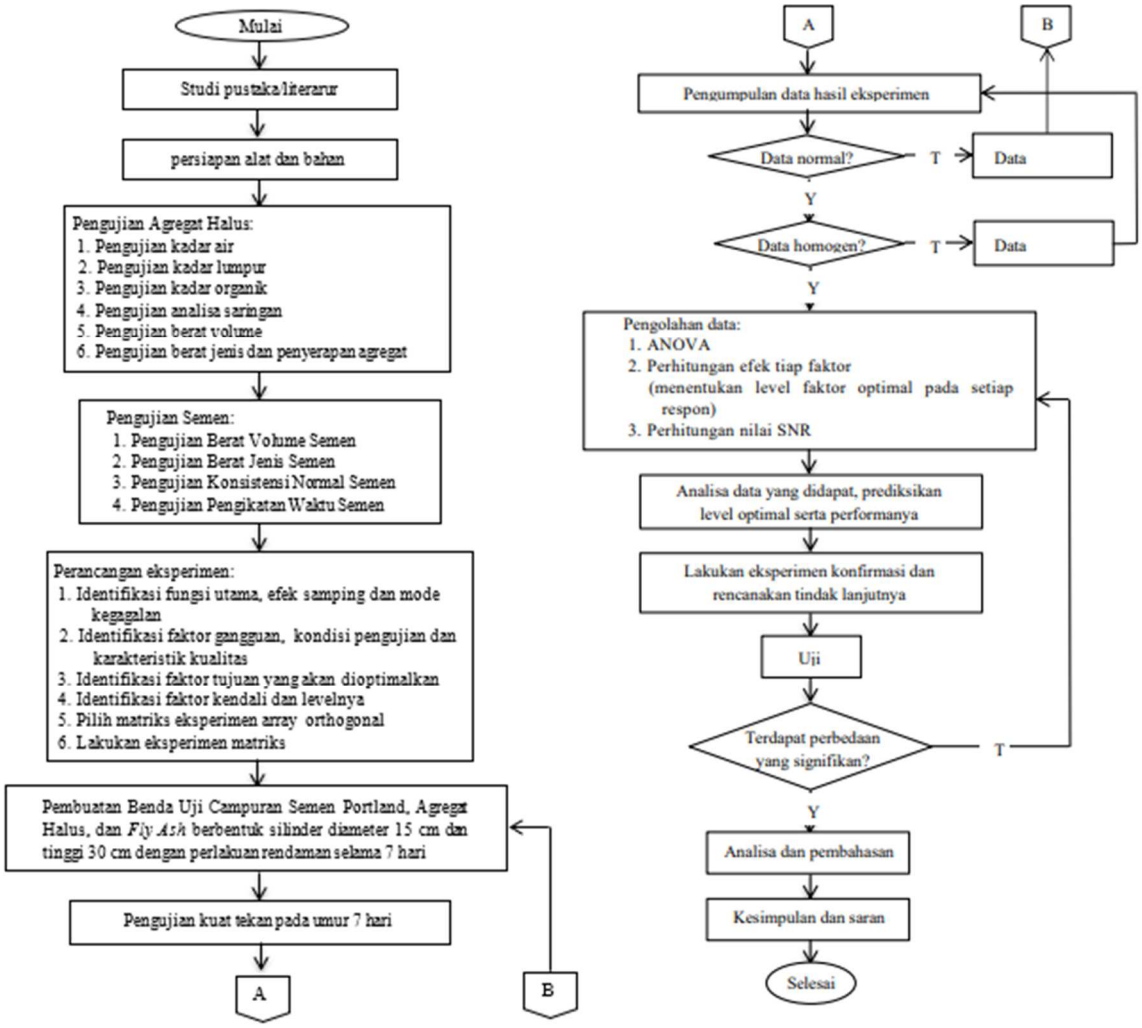
3) Pengujian kadar organik

Dari pengujian kadar organik, didapatkan warna standar No. 2 yang berarti agregat halus tersebut berwarna seperti teh yang artinya cukup mengandung kadar organik sehingga dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan material.

4) Pengujian analisa saringan

Pada pengujian analisa saringan terhadap agregat halus, didapatkan berat agregat halus sesuai nomor saringan yang disajikan pada Tabel 1. Hasilnya, kemudian, dicocokkan dengan Tabel 2 untuk menentukan zona gradasi agregat halus.

Persen agregat halus yang lolos dan sesuai dengan spesifikasi yang ada dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tabel 1 Hasil Analisa Saringan untuk Agregat Halus

Analisa Saringan Agregat Halus

No. Saringan	Berat Tertahan		Berat Tertahan Kumulatif	Berat Lolos	
	Gram	%	(%)	gram	%
No.12	2	0,2	0,2	998	99,80
No.16	4	0,4	0,6	994	99,40
No.30	136	13,6	14,2	858	85,80
No.50	334	33,4	47,6	524	52,40
No.100	315	31,5	79,1	209	20,90
Pan	209	20,9	100	0	0,00
Jumlah	1000	100	241,7		
		MHB	2,417		

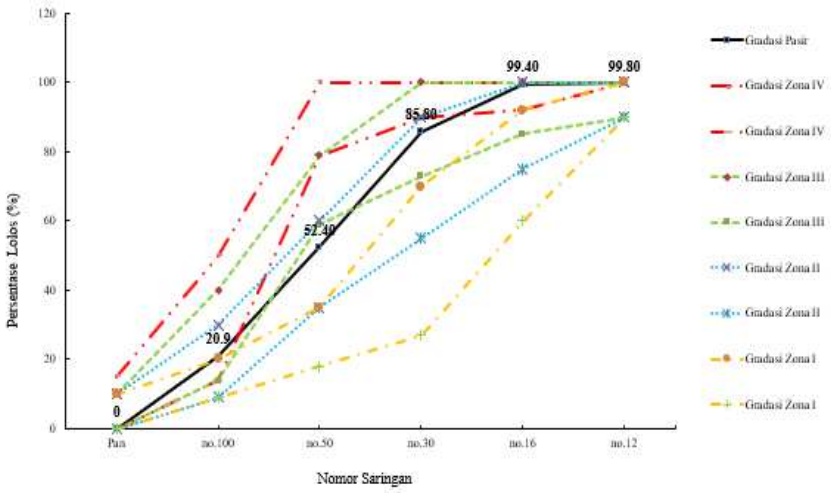
Tabel 2 Batas Zona

Gradasi Agregat Halus

No. Ayakan	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
No. 12	90–100	100–90	100–90	100
No. 16	60–92	100–75	85–100	92–100
No. 30	27–70	55–90	72,99–100	90–100
No. 50	18–35	35–60	59–79	79–100
No. 100	9–20	10–30	13,84–40	13,84–50
Pan	0–10	0–10	0–10	0–15

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, 1982)

 ISSN 2654-5926



Gambar 2 Grafik Gradasi Agregat Halus

Hasil Analisa saringan agregat halus dan agregat ini dikategorikan dalam 4 zona yaitu: Zona I, Zona II, Zona III, dan Zona IV. Zona I adalah pasir kasar, Zona II adalah pasir agak kasar, Zona III adalah pasir agak halus dan Zona IV adalah pasir halus. Setelah dilakukan pengujian analisa saringan dapat disimpulkan melalui Gambar 2 bahwa sampel pasir yang diuji masuk ke dalam kategori Agregat Halus Zona II atau pasir bergradasi agak kasar.

Dari percobaan dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) pasir sebesar 2,417. Nilai tersebut telah memenuhi syarat Modulus Halus Butir (MHB) Pasir bagus yakni berada diantara 1,5 – 3,8 (SNI 03–1968, 1990).

5) Pengujian berat volume

Adapun perbandingan hasil berat volume agregat halus yang diperlakukan dalam tiga kondisi (lepas, goyangan, dan padat) adalah sebagai berikut:

Kondisi Lepas = 1,53 gr/cm^3

Kondisi Goyangan = 1,72 gr/cm^3

Kondisi Pemadatan = 1,72 gr/cm^3

Untuk pasir:

$$\gamma_{lepas} < \gamma_{goyangan} < \gamma_{pemadatan}$$

$$1{,}53 \text{ gr/cm}^3 < 1{,}72 \text{ gr/cm}^3 < 1{,}72 \text{ gr/cm}^3$$

6) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Dari hasil perhitungan di atas, didapat data untuk agregat halus yaitu:

Apparent specific = 2,649

Bulk specific gravity on dry basic = 2,621

Bulk specific gravity SSD basic = 2,619

Percentage water absorption = 0,402%

Dari data tersebut, maka diketahui bahwa agregat halus yang dipakai memenuhi syarat untuk digunakan langsung sebagai campuran beton, karena berdasarkan SNI 1970–2008, penyerapan agregat halus tidak melebihi batas maksimal yang ditetapkan yaitu untuk agregat halus (≤ 2,5 %).

Dengan demikian maka dapat pula ditentukan volume air yang akan digunakan dalam pencampuran beton. Perbandingan isi yang akan digunakan mendapat penambahan koreksi yaitu sebesar 0,402% dari yang telah direncanakan agar perbandingan isi tersebut tidak mengalami pengurangan akibat absorpsi agregat halus ini.

Pengujian Karakateristik Semen

Semen yang akan digunakan untuk bahan campuran beton akan dilakukan pengujian agar mengetahui karakteristik dari material tersebut.

1. Pengujian berat volume

Perbandingan berat volume dalam berbagai kondisi, dimana kondisi pemadatan memiliki berat volume yang lebih besar dari kondisi yang lainnya yaitu:

$$\gamma_{lepas} < \gamma_{goyangan} < \gamma_{pemadatan}$$

$$0{,}98 \text{ gr/cm}^3 < 1{,}12 \text{ gr/cm}^3 < 1{,}16 \text{ gr/cm}^3$$

2. Pengujian berat jenis

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa semen jenis PCC (semen portland Tiga Roda) yang digunakan dalam penelitian menunjukan bahwa berat jenisnya sebesar 3,20, sehingga masuk dalam kategori semen berkualitas baik.

3. Pengujian konsistensi normal

Dari hasil pengujian konsistensi normal, diketahui bahwa nilai konsistensi normal sebesar 27,60%. Berdasarkan SNI ASTM C 187–04, konsistensi normal semen adalah waktu penentuan mulainya pengikatan semen ketika dicampurkan dengan air. Data dari pengujian yang telah dilakukan sudah sesuai karena penurunannya sudah mencapai nilai yang ditentukan ±10 mm.

4. Pengujian waktu pengikatan

Waktu pengikatan awal semen PCC (semen portland Tiga Roda) tersebut dalam pengujian ini adalah sebesar 105 menit (1 jam 45 menit). Waktu pengikatan akhirnya adalah 165 menit (2 jam 45 menit).

Eksperimen Awal

Eksperimen awal dilakukan untuk menguji level faktor yang ditetapkan sebelumnya memenuhi rentang yang disyaratkan. Tahap ini dilakukan untuk mengulangi jika ada kemungkinan level faktor yang tidak memenuhi spesifikasi yang sudah ditentukan. Untuk komposisi awal ditentukan faktor kontrol, jumlah dan nilai level faktor dengan hasil kuat tekannya.

 ISSN 2654-5926

Dari hasil eksperimen pada Tabel 3, terlihat bahwa tidak terdapat satu pun campuran yang memenuhi rentang mutu yang ditentukan yakni 45–55 kg/cm². Maka untuk penelitian berikutnya harus diulang kembali dari tahap determinasi karakteristik campuran Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) kelas A dengan tambahan abu terbang (*fly ash*).

Determinasi Karakteristik Campuran Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) Kelas A Dengan Tambahan *Fly Ash*

Untuk perencanaan, campuran LPAS kelas A dalam penelitian ini dengan bahan yang digunakan adalah Portland Composite Cement (PCC), agregat halus (pasir) dan *fly ash* (abu terbang). Berdasarkan jumlah komposisi campuran LPAS–A diantaranya pasir, semen, dan *fly ash*, dengan variasi kandungan pasir yang digunakan adalah 70% dari jumlah komposisi campuran LPAS–A, kemudian variasi tambahan semen yang digunakan adalah 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari jumlah komposisi campuran LPAS–A, dan variasi tambahan *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari jumlah komposisi campuran LPAS–A. Untuk hasil uji kuat tekan Determinasi I dengan interval *fly ash* 5% dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari hasil penelitian uji kuat tekan Determinasi I, dengan interval *fly ash* 5% % memiliki hasil uji tekan rata–rata sebesar 46,685 kg/cm², sehingga untuk mendapatkan hasil pengujian kuat tekan LPAS–A yang sesuai spesifikasi 45–55 kg/cm² selanjutnya dibuat benda uji dengan interval *fly ash* 1% yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi Awal

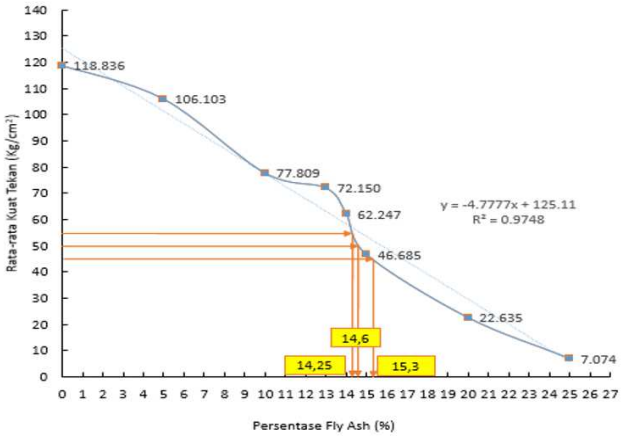
Komposisi	Berat				Replikasi (kg/cm²)		Rata–rata
	Semen (kg)	Air (lt)	*Fly ash* (kg)	Pasir (kg)	R1	R2	
1	0,4	1,0	1,7	8,8	7,926	2,949	5,438
2	0,6	1,1	1,8	8,9	11,323	13,022	12,173
3	0,6	1,2	1,9	9,0	15,570	15,853	15,711

Tabel 4 Hasil Uji Kuat Tekan Determinasi I

Komposisi	Persentase Bahan			Volume Air (ml)	Replikasi (kg/cm²)		Rata–rata
	Fly ash	Semen	Pasir		R1	R2	
1	0%	30%	70%	947,897	121,665	116,006	118,836
2	5%	25%	70%	903,365	110,347	101,859	106,103
3	10%	20%	70%	858,833	79,224	76,394	77,809
4	15%	15%	70%	814,301	45,271	48,100	46,685
5	20%	10%	70%	769,769	22,635	22,635	22,635
6	25%	5%	70%	725,237	8,488	5,659	7,074

Tabel 5 Hasil Uji Kuat Tekan Determinasi II

Komposisi	Persentase Bahan			Volume Air	Replikasi (kg/cm²)		Rata–rata
	Fly ash	Semen	Pasir	(ml)	R1	R2	
1	13%	17%	70%	832,114	76,394	67,906	72,150
2	14%	16%	70%	823,207	56,588	67,906	62,247
3	15%	15%	70%	814,301	45,271	48,100	46,685



Gambar 3 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Determinasi Karakteristik

 ISSN 2654-5926

Dari Tabel 5, dapat dilihat bahwa campuran komposisi *fly ash* 15% memiliki hasil uji tekan rata–rata sebesar 46,685 kg/cm² yang mana pada campuran inilah yang masuk dalam spesifikasi. Oleh karena itu maka dilakukan penelitian selanjutnya dengan penggunaan *fly ash* pada rentang 13%–15%, yang dalam penelitian ini hanya *fly ash* 15% yang memenuhi spesifikasi. Untuk menentukan komposisi *fly ash* yang mendekati kuat tekan sebesar 50 kg/cm² maka digunakan metode interpolasi dan grafik yang disajikan pada Gambar 3. Untuk kuat tekan 50 kg/cm², diperlukan *fly ash* 14,6% dari total volume silinder. Hasil interpolasi menunjukkan untuk mencapai kekuatan yang sama, dibutuhkan *fly ash* sebanyak 14,787% dari total silinder. Sehingga, kadar *fly ash* 14,6% dianggap lebih mendekati perilaku campuran aslinya.

Penentuan Faktor Kontrol Serta Jumlah dan Nilai Level Faktor Terkoreksi

Penentuan faktor kontrol serta jumlah dan nilai level faktor terkoreksi didapatkan berdasarkan Gambar 3. Hasilnya terlihat pada Tabel 6. Karena hanya nilai level faktornya saja yang berubah, maka tidak ada perubahan nilai derajat kebebasan, matriks ortogonal serta penempatan kolom faktor dan interaksi dibandingkan perancangan penelitian sebelumnya.

Eksperimen Taguchi

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut matriks orthogonal. Matriks baku ini merupakan Langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Hasil Eksperimen Taguchi pada penelitian ini diperoleh dengan uji tekan pada silinder beton yang dibuat menggunakan matriks kombinasi empat faktor dan tiga level (Soejanto, 2019; Prasetya et al., 2013; Rahmawati, 2020). Hasil Eksperimen Taguchi dapat dilihat pada Tabel 7.

Matriks orthogonal $L_{27}(3^{13})$ yang digunakan merupakan matriks baku dari metode Taguchi untuk empat faktor dan tiga level (Soejanto, 2019) dimana A = semen, B = air, C = *fly ash*, D = pasir, A×B = interaksi semen dan air, A×C = interaksi semen dan *fly ash*.

Tabel 6 Penentuan Faktor Serta Jumlah dan Nilai Level Faktor Terkoreksi

Kode	Faktor kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Semen	1,507 Kg	1,557 Kg	1,607 Kg
B	Air	1,193 lt	1,243 lt	1,293 lt
C	Fly Ash	1,010 Kg	1,060 Kg	1,110 Kg
D	Pasir	8,904 Kg	8,954 Kg	9,054 Kg

Tabel 7 Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton

Variasi	Matriks Orthogonal $L_{27}(3^{13})$ Faktor dan Interaksi													Replikasi (kg/cm²)		Mean
	A	B	A×B (1)	A×B (2)	C	A×C (1)	A×C (2)	e	D	e	e	e	e	R1	R2	kg/cm²
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	63,694	72,187	67,941
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	53,786	63,694	58,740
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	65,110	82,095	73,602
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	76,433	65,110	70,771
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	70,771	62,279	66,525
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	76,433	70,771	73,602
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	39,632	48,125	43,878
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	33,970	45,294	39,632
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	50,955	56,617	53,786
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	59,448	62,279	60,863
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	65,110	62,279	63,694
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	79,264	73,602	76,433
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	59,448	67,941	63,694
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	53,786	50,955	52,371
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	67,941	56,617	62,279
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	67,941	65,110	66,525
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	67,941	82,095	75,018
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	48,125	56,617	52,371
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	67,941	62,279	65,110
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	56,617	53,786	55,202
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	90,587	93,418	92,003
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	101,911	93,418	97,665
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	101,911	110,40	106,16
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	107,573	107,57	107,57
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	104,742	84,926	94,834
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	82,095	96,249	89,172
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	84,926	84,926	84,926
Rata–rata																70,902

Keterangan
1 = level 1 ; 2 = level 2 ; 3 = level 3

 ISSN 2654-5926

Matriks orhotogonal yang digunakan dinyatakan dengan bagian kuning pada tabel, sedangkan bagian biru merupakan hasil uji kuat tekan pervariasi silinder beton dengan dua kali perulangan, dan bagian hijau merupakan rata–rata hasil uji kuat tekan pervariasi.

Analisa Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Rata–rata Kuat Tekan Silinder Beton

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata–rata kuat tekan silinder beton, dilakukan pengolahan data respon (data asli) kuat tekan silinder beton yang diperoleh langsung dari pengujian kuat tekan silinder beton. Dapat dilihat pada Tabel 8.

Karena matriks ortogonal L_{27}(313) memiliki 13 derajat kebebasan, maka diambil setengah derajat kebebasan sebagai pengaruh penting. Namun dalam penelitian ini yang digunakan hanya 8 kolom saja, maka yang diambil adalah empat sebagai pengaruh penting. Dari tabel respon, kombinasi level faktor optimum dicapai pada nilai rata–rata respon kuat tekan silinder beton dengan nilai yang paling besar dari tiap faktor, yaitu faktor A, interaksi AxB(1), faktor B, dan faktor C. Sehingga dapat diambil data seperti pada Tabel 9.

Untuk mencapai nilai target lebih besar, lebih baik (*larger–the–better*), maka penentuan level faktor yang optimal adalah yang mendapatkan hasil pengujian kuat tekan yang paling besar. Kombinasi level faktor optimum, yaitu:

A3 = Semen 1,607 kg
B2 = Air 1,243 lt

Kombinasi level interaksi optimum adalah:

A3xB2 = Semen 1,607 kg dan air 1,243 lt

1. Analisa varians rata–rata kuat tekan silinder

Untuk analisa rata–rata kuat tekan silinder dapat dilihat pada Tabel 10.

2. *Pooling up* faktor

Untuk hasil akhir dari *pooling up* faktor rata–rata kuat tekan benda uji dapat dilihat pada Tabel 11. Dari Tabel 11, persen kontribusi menunjukkan bahwa faktor yang memberikan pengaruh terbesar adalah faktor A yaitu semen yang mana mendapatkan nilai rata–rata kuat tekan benda uji sebesar 46,017%. Dan unutk faktor B yaitu air yang mendapatkan nilai sebesar 5,904% serta untuk faktor A×B(1) atau faktor interaksi antara semen dan air. Sedangkan, faktor A×B(1) (interaksi semen dan air) memberikan pengaruh sebesar 20,593%.

3. Prediksi rata–rata kuat tekan benda uji yang optimum

Untuk hasil prediksi rata–rata kuat tekan silinder beton yang optimum, didapatkan hasil akhir sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi}\text{-}CL \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi}+CL$$

$$97{,}021 \leq \mu_{prediksi} \leq 110{,}575$$

Analisa Pengaruh Faktor Terhadap Variabilitas Kuat Tekan Silinder Beton

1. Pengaruh level dari faktor terhadap variansi kuat tekan silinder

Untuk keempat faktor utama dan interaksi yang diamati yaitu semen, air, *fly ash*, pasir, interaksi semen serta interaksi semen dan *fly ash* memiliki faktor respon rasio S/N yang dapat dilihat pada Tabel 12. Karena matriks ortogonal L_{27}(313) memiliki 13 derajat kebebasan, maka diambil setengah derajat kebebasan sebagai pengaruh penting. Namun dalam penelitian ini yang digunakan hanya 8 kolom saja, maka yang diambil adalah 4 sebagai pengaruh penting (Montgomery, 2017). Maka dapat diambil data seperti Tabel 13.

Tabel 3 Respon Rata–rata Kuat Tekan Silinder Beton dari Pengaruh Faktor

	A	B	A×B(1)	A×B(2)	C	A×C(1)	A×C(2)	D
Level 1	60,942	68,176	78,399	71,951	70,142	69,356	73,130	68,255
Level 2	63,694	77,849	75,647	68,570	67,390	71,165	68,176	74,939
Level 3	88,071	66,682	58,662	72,187	75,175	72,187	71,400	69,513
Max	88,071	77,849	78,399	72,187	75,175	72,187	73,130	74,939
Min	60,942	66,682	58,662	68,570	67,390	69,356	68,176	68,255
Selisih	27,129	11,166	19,737	3,617	7,785	2,831	4,954	6,684
Ranking	1	3	2	7	4	8	6	5

Tabel 4 Pemecahan Interaksi

Interaksi	B1	B2	B3
A1	66,761	70,300	45,766
A2	66,997	59,448	64,638
A3	70,771	103,798	89,644

Tabel 5 Analisa Varians Rata–rata Kuat Tekan Silinder

Faktor	v	SS	MS
A	2	4013,366	2006,683
B	2	661,394	330,6969
AxB(1)	4	2056,899	514,2247
AxB(2)	4	73,719	18,42976
C	2	280,518	140,2591
AxC(1)	4	36,989	9,247345
AxC(2)	4	113,788	28,44695
D	2	227,093	113,5466
Error	2	892,605	446,3027
Total	26	8356,372	-

Tabel 6 Persen Kontribusi

Faktor	V	SS	MS	SS'	p (%)
A	2	4013,366	2006,683	3845,342	46,017
B	2	661,394	330,697	493,370	5,904
AxB(1)	4	2056,899	514,225	1720,850	20,593
C	2	280,518	140,259	112,494	1,346
Error	16	1344,195	84,012	-	-
Total	26	8356,372	-	-	-

2. Analisis varians rasio S/N

Signal to noise ratio (*SN ratio*) digunakan untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. *SN ratio* digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari suatu proses atau produk. *SN ratio* adalah ukuran objektif dari kualitas yang memuat *mean* dan *varian* dalam perhitungan (Fitria, 2009). Untuk analisis varians rasio S/N kuat tekan silinder beton dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 7 Respon Rasio S/N Kuat Tekan Silinder Beton dari Pengaruh Faktor

	A	B	AxB(1)	AxB(2)	C	AxC(1)	AxC(2)	D
Level 1	35,408	36,533	37,565	36,902	36,645	36,467	36,950	36,362
Level 2	35,968	37,524	37,438	36,570	36,164	36,670	36,281	37,199
Level 3	38,684	36,003	35,058	36,589	37,252	36,923	36,830	36,499
Max	38,684	37,524	37,565	36,902	37,252	36,923	36,950	37,199
Min	35,408	36,003	35,058	36,570	36,164	36,467	36,281	36,362
Selisih	3,275	1,521	2,507	0,332	1,089	0,456	0,670	0,837
Ranking	1	3	2	8	4	7	6	5

Tabel 8 Pemecahan Interaksi

Interaksi	B1	B2	B3
A1	36,347	36,880	32,998
A2	36,468	35,392	36,046
A3	36,784	40,301	38,967

Tabel 9 Analisis Varians Rasio S/N Kuat Tekan Silinder Beton

Faktor	v	SS	MS
A	2	55,247	27,624
B	2	10,724	5,362
A×B(1)	4	35,892	8,973
A×B(2)	4	0,626	0,156
C	2	5,357	2,679
A×C(1)	4	0,941	0,235
A×C(2)	4	2,294	0,573
D	2	3,626	1,813
Error	2	14,171	7,085625
Total	26	128,879	-

3. *Pooling Up* Faktor

Untuk hasil *pooling up* faktor rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 15. Tabel 15 menunjukkan *pooling up* yang dilakukan untuk mengumpulkan faktor–faktor yang tidak signifikan yang disebut sebagai *error*. Faktor dikatakan tidak signifikan apabila $MS_{hitung} \leq MS_{error}$. Tabel 14 menunjukkan bahwa ada faktor tidak signifikan dan dianggap sebagai *error* karena MS_{hitung} faktor tesebut lebih kecil dibandingkan dengan MS_{error} sehingga faktor tersebut di–*pooling up*. Dengan mem–*pooling* faktor tersebut maka diperoleh MS_{error} sebesar 1,354 yang sebelumnya 7,086 yang artinya terjadi penurunan nilai *error.*

Tabel 15 juga menunjukkan bahwa faktor A (semen) yang memberikan kontribusi terbesar terhadap Rasio S/N kuat tekan benda uji, yaitu sebesar 46,767%. Sedangkan faktor A×B(1) (interaksi semen dan air) memberikan kontribusi sebesar 23,648% dan faktor B (air) sebesar 6,221%.

4. Prediksi rasio S/N kuat tekan silinder beton yang optimal.

Telah diketahui faktor–faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N kuat tekan silinder beton optimum adalah:

Faktor A level 3 (semen 1,607 kg).

Faktor B level 2 (air 1,243 lt).

Interaksi faktor A level 3 dan faktor B level 2, sehingga model persamaan rata–rata kuat tekan silinder beton yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$S/N_{prediksi} = \bar{Y} + (\overline{A_3} - \bar{Y}) + [(\overline{A_3B_1} - \bar{Y}) - (\overline{A_3} - \bar{Y}) - (\overline{B_1} - \bar{Y})] + (\overline{D_2} - \bar{Y}) = 40{,}301$$

Sedangkan interval kepercayaan rata-rata kuat tekan silinder beton pada tingkat kepercayaan 90% adalah sebagai berikut:

Diketahui: $F_{(0,10;\,1:\,10)} = 3{,}28$ dan $MS_e = 1{,}354$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rat} - \text{rata}}$$

Sehingga mendapatkan nilai:

$$S/N_{prediksi} - CL \leq S/N_{prediksi} \leq S/N_{prediksi} + CL$$
$$40{,}301 - 0{,}860 \leq S/N_{prediksi} \leq 40{,}301 + 0{,}860$$
$$39{,}441 \leq S/N_{prediksi} \leq 41{,}161$$

Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal yaitu faktor semen sebesar 1,607 kg pada level 3, air sebesar 1,243 liter pada level 2, *fly ash* sebanyak 1,110 kg pada level 3 dan pasir sebanyak 8,954 kg pada level 2.

Adapun pebandingan interval kepercayaan rata-rata dengan interval kepercayaan rasio S/N untuk eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 17. Berdasarkan hasil yang didapatkan maka untuk interval kepercayaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 18. Dari Tabel 18, penilaian diterima atau tidaknya hasil eksperimen konfirmasi dilakukan dengan perbandingan selang kepercayaan antara hasil prediksi respon pada kondisi optimal dan hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil–hasil tersebut, dapat diketahui bahwa eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada rata–rata dan variabilitasnya. Dengan demikian kombinasi optimal faktor–faktor tersebut di atas terbukti dapat meningkatkan kekuatan tekan benda uji.

Tabel 10 Persen Kontribusi

Faktor	V	SS	MS	SS'	p (%)
A	2	55,247	27,624	52,540	40,767
B	2	10,724	5,362	8,017	6,221
A×B(1)	4	35,892	8,973	30,478	23,648
C	2	5,357	2,679	2,650	2,056
Error	16	21,658	1,354	-	-
Total	26	128,879	-	-	-

 ISSN 2654-5926

Tabel 11 Hasil Eksperimen Konfirmasi

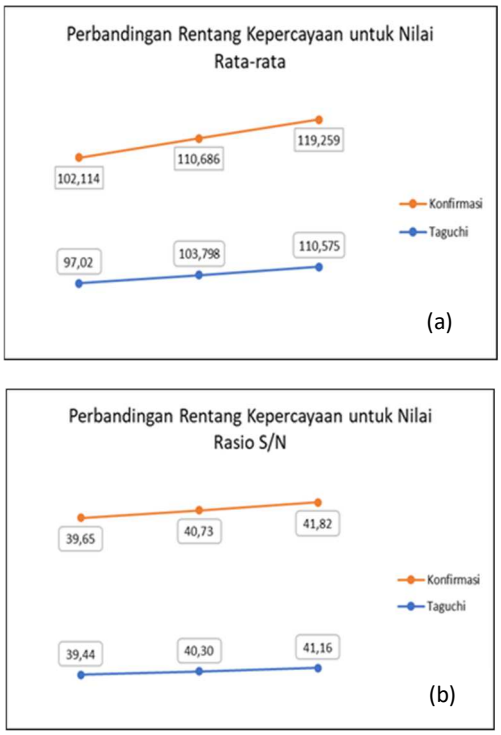
Eksperimen	Hasil kuat tekan (kg/cm^2)
1	90,587
2	99,080
3	101,911
4	118,896
5	116,065
6	101,911
7	127,389
8	124,558
9	116,065
10	110,403

Tabel 12 Pebandingan interval kepercayaan rata–rata dengan interval kepercayaan rasio S/N untuk eksperimen konfirmasi

Interval kepercayaan rata–rata untuk eksperimen konfirmasi
Interval untuk kepercayaan rata–rata adalah:
$\boldsymbol{\mu_{konfirmasi} - CL \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CL}$
$\boldsymbol{110,686 - 8,572 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 110,686 + 8,572}$
$\boldsymbol{102,114 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 119,259}$
Interval kepercayaan rasio S/N eksperimen konfirmasi
Interval untuk kepercayaan rata–rata adalah:
$S/N_{konfirmasi} - CL \leq S/N_{konfirmasi} \leq S/N_{konfirmasi} + CL$
$40,739 - 1,088 \leq S/N_{konfirmasi} \leq 40,739 + 1,088$
$39,650 \leq S/N_{konfirmasi} \leq 41,827$

Tabel 13. Interval Kepercayaan

Respon (kuat tekan benda uji)			Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata–rata (μ)	103,798	103,798	±6,777
	Variabilitas (S/N)	40,301	40,301	±0,860
Eksperimen Konfirmasi	Rata–rata (μ)	110,686	110,686	±8,572
	Variabilitas (S/N)	40,739	40,739	±1,088



Gambar 4. Perbandingan Selang Kepercayaan untuk Nilai (a) Rata–rata, dan (b) Rasio S/N

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan antara lain:

1. Kombinasi level dari faktor yang menghasilkan nilai rata–rata dan variansi kuat tekan campuran LPAS–A yang optimal adalah sama, yaitu diperoleh dari seting faktor semen pada level 3 sebesar 1,607 kg (A3), faktor interaksi antara semen pada level 3 sebesar 1,607 kg dan air pada level 2 sebesar 1,243 lt (A3B2) serta faktor air pada level 2 sebesar 1,243 lt (B2)
2. Faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan campuran LPAS–A adalah semen (A), interaksi antara semen dan air (AxB), serta air (B). Persentase pengaruh berdasarkan rata–rata kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 46,017% (semen), 20,593% (interaksi semen dan air), dan 5,904% (air). Sedangkan persentase pengaruh berdasarkan rasio S/N kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 40,767% (semen), 23,648% (interaksi semen dan air), dan 6,221% (air).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian dari Universitas Lambung Mangkurat berdasarkan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Program Dosen Wajib Meneliti dengan Skema Pembiayaan PNBP Universitas di Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat Tahun Anggaran 2022 Nomor: 023. 102/UN8.2/ PL /2022 Tanggal 1 April 2022.

Referensi

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya. (1982). Persyaratan Umum Bahan Bangunan Dl Indonesia (Pubi - 1982). 1–344.

Didik Wahjudi, Gan Shu San, & Yohan Pramono. (2001). Optimasi Proses Injeksi Dengan Metode Taguchi. Jurnal Teknik Mesin, 3(1), 24–28. Http://Puslit2.Petra.Ac.Id/Ejournal/Index.Php/Mes /Article/View/15935

Dirjen Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan. Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, September, 1036.

Fitria, N. (2009). Analisis Metode Desain Eksperimen Taguchi Dalam Optimasi Karakteristik Mutu. Central Library Of Maulana Malik Ibrahim Malang.

Haumahu, P. W., & Wuryandari, T. (2011). Optimalisasi Produk Dengan Menggunakan Metode Perancangan Toleransi Taguchi. Isbn: 978-097-142-4, 13(1), 304–316.

Soejanto, I. (2009). Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. Yogyakarta :: Graha Ilmu

Lestari, U. S., Yasruddin, Rahman, F., & Suleh, E. (2021). Fly Ash Utilization Analysis As A Substitute Of Cement In Cement Treated Base (Ctb). Engineering And Technology Journal, 06(09), 1036–1041. Https://Doi.Org/10.47191/Etj/V6i9.06

Montgomery, D. C. A. S. U. (2017). Design And Analysis Of Experiments Ninth Edition. Www.Wiley.Com/Go/Permissions.%0ahttps://Lccn .Loc.Gov/2017002355

Peraturan Pemerintah No. 22. (2021). Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Pedoman Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

 ISSN 2654-5926

Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1(078487a), 483. Http://Www.Jdih.Setjen.Kemendagri.Go.Id/

Prasetya, C., Rahman, A., & Efranto, R. Y. (2013). Design Of Experiments On New Mix Design Of Concrete Block Composed Of Lapindo Mud And Fly Ash Using Taguchi Method. Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri (Jrmsi), 1(1), 57–65.

Rahmawati, D. (2020). Penentuan Kombinasi Level Optimal Dalam Peningkatan Kualitas Batako. Journal Of Chemical Information And Modeling, 21(1), 1–9.

SNI 03-1968. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar. Badan Standar Nasional Indonesia, 1–5.

SNI 1970-2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 7–18. http://sni.litbang.pu.go.id /index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195.

Yasruddin, Lestari, U. S., & Rifqy, A. (2020). Limbah Batubara Sebagai Bahan Campuran Perbaikan. Al Ulum Vol. 6 No.1 November 2020, 19–25.