Buletin Profesi Insinyur 6(3) (2023) 057–063
http://dx.doi.org/10.20527/bpi.v6i3.143

ISSN 2654-5926

Analisis Pemanfaatan Abu Kelapa Sawit sebagai Bahan Pengurang Semen untuk Lapis Pondasi Agregat Semen Kelas B

Fauzi Rahman [1], Utami Sylvia Lestari [1], Yasruddin[1] , Ahmad Rifa'i[2]

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

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

✉ utami.s.lestari@ulm.ac.id

Lapis pondasi agregat semen (LPAS) kelas B adakah susunan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi dasar serta lapis permukaan. Lapisan ini menggunakan pasir sebagai material agregat halusnya dan untuk material pengikatnya menggunakan semen. Bahan pengikat ini dapat diganti dengan bahan lain seperti abu terbang *(fly ash)* dari cangkang dan serabut kelapa sawit. Material ini memiliki sifat kimia yang hampir sama dengan semen. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik kombinasi abu terbang jika dipadukan dalam campuran LPAS kelas B pada jalan dengan perkerasan lentur. Komposisi campuran benda uji terdiri atas pasir, semen dan *fly ash*. Komposisi tersebut kemudian dicetak dalam bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah benda uji direndam selama 7 hari, kemudian dilakukan uji kuat tekan diharapkan memenuhi spesifikasi yang ditentukan untuk LPAS kelas B yaitu kuat tekan 35 kg/cm²–45 kg/cm². Hasilnya didapatkan tiga komposisi campuran yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan yakni komposisi dengan kandungan *fly ash* sebesar 10%, 11%, dan 12%.

Kata kunci: LPAS kelas B, abu terbang *(Fly Ash)*, semen, perkerasan jalan

Diajukan: 15 Juli 2022
Direvisi: 3 September 2022
Diterima: 24 Juli 2023
Dipublikasikan online: 26 Juli 2023

Pendahuluan

Perkerasan jalan merupakan bagian jalan yang diperkeras dengan susunan konstruksi tertentu yang mempunyai ketebalan, kekakuan, kekuatan serta kestabilan tertentu sehingga dapat mendistribusikan beban lalu lintas yang melintas di atasnya ke bagian tanah dasar. Bersumber pada bahan pengikatnya, perkerasan jalan dibagi 2, perkerasan kaku serta perkerasan lentur. Perkerasan lentur yang memakai bahan pengikat aspal terdiri dari beberapa lapisan. Lapisan tersebut antara lain lapisan tanah dasar, lapisan pondasi bawah, lapisan pondasi atas, dan lapisan permukaan (Sukirman, 1999).

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak sawit terbesar. Berdasarkan data, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah sekitar 12,3 juta hektar pada tahun 2017(B. Statistik, 2018). Semakin besar jumlah hasil produksi berarti limbah yang dihasilkan juga semakin bertambah. Limbah ini dapat berupa zat padat, cair, dan gas. Saat ini, limbah padatnya seperti ijuk dan sekam digunakan sebagai bahan bakar boiler. Pembakaran limbah kelapa sawit menghasilkan *fly ash* sekitar 100 kg/minggu dan *boiler slag ash* sekitar 3-5 ton per minggu (Mulia, 2007).

PT. Hasnur Citra Terpadu di Rantau Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan adalah salah satu pabrik yang menggunakan cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar mesin boiler. Limbahnya berupa *fly ash* dan *bottom ash*. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *fly ash* dari pabrik ini termasuk kelas C yang berperilaku seperti semen yang berinteraksi dengan air dan mengeras serta meningkatkan kuat tekan material yang dicampur dengannya (Rahman *et al*., 2020). Dalam suatu pengujian yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton, sebesar 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% *fly ash* terhadap campuran beton memenuhi nilai kuat tekan kriteria dan karakteristik beton K-300 atau dengan fc 24,90 Mpa. Penelitian tersebut menggunakan campuran dengan variasi yang memiliki interval jumlah kandungan *fly ash* yaitu sebesar 2,5% tiap variasinya. Didapatkan, semakin tinggi kandungan *fly ash* yang terdapat dalam campuran antara 0% - 12,5% memiliki nilai kuat tekan beton yang lebih besar (Setiawati, 2018).

Dari pembakaran boiler dihasilkan abu terbang yang merupakan limbah padat. Abu ini memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari temperatur pembakarannya (Simamarta, 2017). Berdasarkan ASTM C 618-05, abu terbang terbagi atas tiga kelas antara lain Kelas N, F, dan C (ASTM C 618, 1997). Perkerasan jalan dengan menggunakan perkerasan komposit (*composite pavement*) telah sering dilaksanakan pada pembuatan jalan baru. Salah satunya adalah dengan menggunakan LPAS baik LPAS Kelas A maupun LPAS kelas B (Lestari *et al*., 2021).

Pada perkembangan material infrastruktur, *fly ash* dari hasil pembakaran batu bara juga dapat digunakan sebagai bahan tambah bagi material campuran perkerasan jalan (Arifi, 2015). Bahkan pemerintah pun menghimbau agar

Cara mensitasi artikel ini:
Rahman, F., Lestari, U.S., Rifa'i, A. (2023) Abu Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengurang Semen untuk Lapis Pondasi Agregat Semen Kelas B. *Buletin Profesi Insinyur* 6(3) 057-063

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

 ISSN 2654-5926

memanfaatkan limbah sebagai bahan perkerasan jalan (Gunawan & Nono, 2019). Selain itu, *fly ash* juga dapat dipakai untuk meningkatkan daya dukung tanah, dengan cara mengisi pori-pori partikel tanah tersebut. *Fly ash* mempunyai sifat cepat mengeras sehingga tanah bisa lebih padat serta stabil. Hal ini mengakibatkan daya dukung tanah akan menjadi lebih baik (Nurkolis, 2017). Penelitian tentang pasta geopolimer serta tambahan bahan binder *fly ash* mempunyai waktu pengikatan yang lebih lama daripada pasta konvensional dengan binder semen (Indrayani *et al*., 2019). Limbah *fly ash* dari PT. Hasnur Citra Terpadu sangat banyak dan apabila tidak dimanfaatkan maka akan terus menumpuk sehingga pada akhirnya akan mencemari lingkungan di sekitarnya.

Maka sehubungan dari pemaparan di atas, dilakukan penelitian pengembangan LPAS kelas B yang menggunakan bahan tambah *fly ash* dari cangkang serta serabut kelapa sawit untuk pengurangi campuran bahan semen. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik campuran lapis pondasi agregat semen (LPAS) kelas B dengan menggunakan bahan tambahan *fly ash* dan komposisi air, *fly ash*, semen, dan pasir yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Syarat nilai uji tekan untuk lapis pondasi agregat semen (LPAS) kelas B yakni 45 kg/cm^2 –55 kg/cm^2 (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018) **.**

Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat di Banjarbaru. Tahapan-tahapan penelitian ini adalah persiapan bahan, pengujian bahan, dan perencanaan campuran.

Persiapan Bahan

Bahan material yang digunakan yaitu:

1). Semen Portland merek Tiga Roda.
2). Pasir dari Palangka Raya, Kalimantan Tengah.
3). Abu terbang *(fly ash)* dari limbah sisa pembakaran cangkang dan serabut kelapa sawit yang di dapat dari PT. Hasnur Citra Terpadu, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Material ini adalah material yang sama yang digunakan sebagai substitusi semen dalam proses pembuatan beton normal (Rahman *et a*l., 2020).

Pengujian Bahan

Sebelum dibuat campuran, dilakukan pengujian terhadap material agregat halus dan semen.

Perencanaan Campuran

Pada penelitian ini, perencanaan campuran LPAS kelas B menerapkan metode penakaran bahan-bahan antara lain semen *Portland Composite Cement (PCC)*, agregat halus (pasir) dan *fly ash* (abu terbang). Kompisisi campuran tersebut dicetak pada silinder yang mempunyai diameter 15 cm serta tinggi 30 cm, lalu direndam dalam waktu 7 hari. Pada penelitian ini direncanakan dua komposisi campuran*,* dengan tujuan untuk memastikan komposisi yang tepat agar masuk ke dalam spesifikasi LPAS kelas B. Untuk Komposisi I bisa dilihat pada Tabel 1.

Pada Komposisi I, jumlah kandungan pasir yang digunakan adalah 70%, untuk kandungan *fly ash* menggunakan interval 5%, yang dimulai dari 0% sampai 15%. Serta untuk semen juga digunakan interval 5%, yang dimulai dari 30% sampai 15%. Untuk komposisi II bisa dilihat pada Tabel 2.

Untuk Komposisi II, akan dibuat variasi campuran sebanyak 11, dengan masing-masing campuran terdiri dari 3 sampel. Persentase pasir yang ditambahkan adalah 70% dari jumlah komposisi campuran. Variasi proporsi *fly ash* yang digunakan adalah 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15% dari total campuran. Dan, variasi tambahan semen yang digunakan adalah 25%, 24%, 23%, 22%, 21%, 20%, 19%, 18%, 17%, 16% dan 15%.

Adapun alur penelitian yang dilakukan di laboratorium dapat lihat pada Gambar 1. Beberapa pengujian agregat halus dan semen didetilkan pada bagan tersebut. Setelah dicetak dengan sampel silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sampel didiamkan mengeras dan dilakukan perendaman sampai umur 7 hari.

Tabel 1 Perencanaan Campuran LPAS Kelas B Komposisi I

Nama Sampel	Sampel	Kandungan *Fly ash* (%)	Kandungan Semen (%)	Kandungan Pasir (%)	Jumlah Komposisi Campuran (%)
FA-00	A B	0%	30%	70%	100%
FA-05	A B	5%	25%	70%	100%
FA-10	A B	10%	20%	70%	100%
FA-15	A B	15%	15%	70%	100%

 ISSN 2654-5926

Tabel 2 Perencanaan Campuran LPAS Kelas B Komposisi II

Nama Sampel	Sampel	Kandungan *Fly ash* (%)	Kandungan Semen (%)	Kandungan Pasir (%)	Jumlah Komposisi Campuran (%)
FA-05	A B C	5%	25%	70%	100%
FA-06	A B C	6%	24%	70%	100%
FA-07	A B C	7%	23%	70%	100%
FA-08	A B C	8%	22%	70%	100%
FA-09	A B C	9%	21%	70%	100%
FA-10	A B C	10%	20%	70%	100%
FA-11	A B C	11%	19%	70%	100%
FA-12	A B C	12%	18%	70%	100%
FA-13	A B C	13%	17%	70%	100%
FA-14	A B C	14%	16%	70%	100%
FA-15	A B C	15%	15%	70%	100%

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah agregat dengan ukuran butir maksimum 5,00 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Hasil pengujiannya sebagai berikut.

1). Pengujian Kadar Air

Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100\ \%$ ..... (1)

Hasil pengujian kadar air memperoleh hasil, yakni 6,382%.

2). Pengujian Kadar Lumpur

Berat benda uji kering (A) : 1000 gr

Berat benda uji tertahan saringan no. 200 (B) 880 gr

Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{A} \times 100\ \%$..... (2)

Hasil pengujian kadar lumpur memperoleh hasil, yakni 12%.

3). Pengujian Kadar Organik

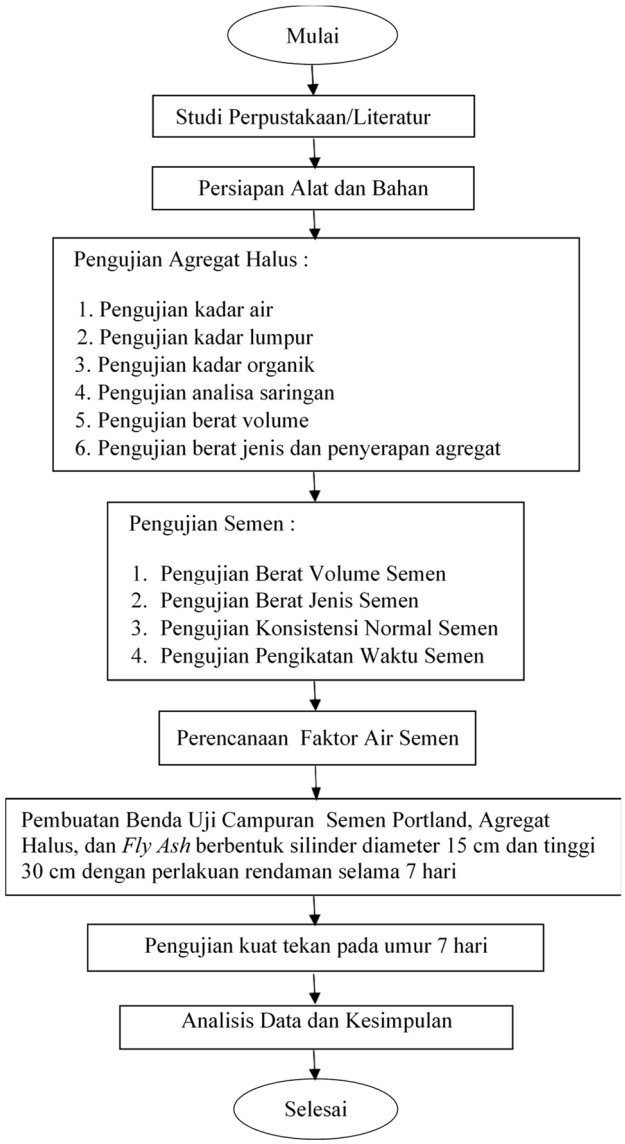
Setelah dilakukan pengujian hasil nya adalah air cucian pasir berwarna seperti teh. Ini memperlihatkan bahwa pasir mengandung kadar organik cukup tinggi sehingga dilakukan pencucian pasir sebelum digunakan sebagai material campuran.

4). Uji Analisa Saringan

Setelah dilakukan uji saringan, didapatkan hasil berat agregat halus pada masing-masing nomor saringan seperti terlihat pada Tabel 3. Adapun grafik persentase lolos agregat halus pada masing-masing ayakan terlihat pada Gambar 2.

Tabel 3 menunjukkan berat agregat halus (pasir) yang tertahan dan lolos pada saringan no. 12, 16, 30, 50, dan 100. Pada saringan no. 12 pasir yang tertahan seberat 12 gr dan yang lolos seberat 988 gr, pada saringan no. 16 pasir yang tertahan seberat 14 gr dan yang lolos seberat 974 gr, pada saringan no. 30 pasir yang tertahan seberat 180 gr dan yang lolos seberat 794 gr, pada saringan no. 50 pasir yang tertahan seberat 406 gr dan yang lolos seberat 388 gr, pada saringan no. 100 pasir yang tertahan seberat 360 gr dan yang lolos seberat 28 gr, dan pasir yang tertahan di Pan seberat 28 gr. Hasilnya memperlihatkan bahwa sampel pasir yang digunakan termasuk kategori Agregat Zona II atau pasir bergradasi agak kasar.

 ISSN 2654-5926

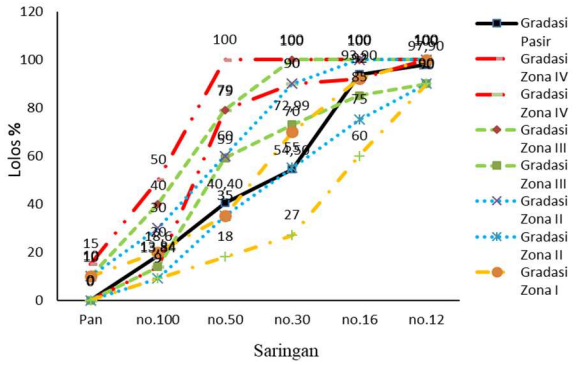


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3 Rekapitulasi Hasil Analisa Saringan Material Pasir Palangka Raya (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	99,8
No.16	4	0,4	0,6	994	99,4
No.30	140	14	14,6	854	85,4
No.50	316	31,6	42,6	538	53,8
No.100	504	50.4	96,6	340	3,4
Pan	34	3,4	100	0	0
Jumlah	1000	100	258,6		
		MHB	2,586		

 ISSN 2654-5926



Gambar 2 Persen Lolos Agregat Halus Melalui Ayakan

5). Pengujian Berat Volume

Adapun perbandingan hasil berat volume Agregat Halus yang diperlakukan dalam 3 kondisi (lepas, goyangan dan pemadatan) adalah sebagai berikut.

Berat Volume Lepas = 1,48 gr/cm³
Berat Volume Goyangan = 1,57 gr/cm³
Berat Volume Pemadatan = 1,60 gr/cm³

Syarat untuk pasir adalah = $\gamma_{lepas} < \gamma_{goyangan} < \gamma_{pemadatan}$ = 1,59<1,57<1,73

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi pemadatan memiliki nilai berat volume terbesar dibandingkan kondisi goyangan dan kondisi lepas.

6). Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Hasil yang didapatkan adalah

a. *Apparent Specific* = 2,667
b. *Bulk Specific Gravity on dry Basic* = 2,610
c. *Bulk Specific Gravity SSD Basic* = 2,631
d. *Percentage Water Absorption* = 0,806%

Pengujian Karakteristik Semen

1). Pengujian Berat Volume Semen

Perbandingan berat volume semen yang didapatkan dalam berbagai kondisi yaitu:

γ_{lepas}	<	$\gamma_{goyangan}$	<	$\gamma_{pemadatan}$
1,00 gr/cm³	<	1,09 gr/cm³	<	1,24 gr/cm³

2). Pengujian Berat Jenis Semen

Berat jenis semen yang didapatkan yaitu 3,20. Hal ini menunjukkan semen termasuk kategori semen dengan kualitas baik.

3). Pengujian Konsistensi Normal Semen

$$\text{Konsistensi Normal} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Semen}} \times 100\% \ldots\ldots\ldots (3)$$

Hasil pengujian konsistensi normal semen adalah sebesar 27,60 %

Menurut SNI ASTM C 187-04, konsistensi normal semen didefinisikan sebagai waktu mulai terjadinya pengikatan semen setelah dicampur dengan air. Pada penelitian ini, penurunanya sesuai dengan nilai yang ditentukan yaitu ±10 mm (*American Society for Testing and Material,* 2005*)*.

4). Pengujian Pengikatan Waktu Semen

Waktu pengikatan awal semen *PCC* (semen *portland* Tiga Roda) yang didapat adalah 105 menit/1 jam 45 menit. Sedangkan , waktu pengikatan akhir adalah 165 menit/2 jam 45 menit.

Pemeriksaan *Fly ash* (Abu Terbang)

*A*bu terbang yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari sumber yang sama dengan pemeriksaan materi abu terbang dari penelitian sebelumnya (Rahman *et al*., 2020).

Perencanaan Faktor Air Semen (FAS)

FAS merupakan takaran air dalam campuran semen. FAS dapat diketahui dengan melihat grafik FAS serta menghitung berat campuran semen. FAS yang didapatkan sebesar 0,9. Banyaknya air yang digunakan dalam perencanaan LPAS kelas B dapat dilihat pada Tabel 6.

Analisis Untuk Benda Uji Komposisi I

Untuk menentukan hasil yang maksimal maka sebelumnya dilakukan suatu penelitian uji coba, dengan tujuan mendapatkan komposisi yang tepat sehingga penelitian berikutnya dapat menggunakan komposisi yang mendekati target sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, yakni dengan nilai kuat tekan 35–45 kg/cm² setelah direndam dalam air dalam waktu 7 hari setelah pengecoran. Data hasil uji kuat tekan komposisi I dengan kandungan *fly ash* 5% terlihat pada Tabel 7. Data hasil uji kuat tekan komposisi I jika diplot dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 3.

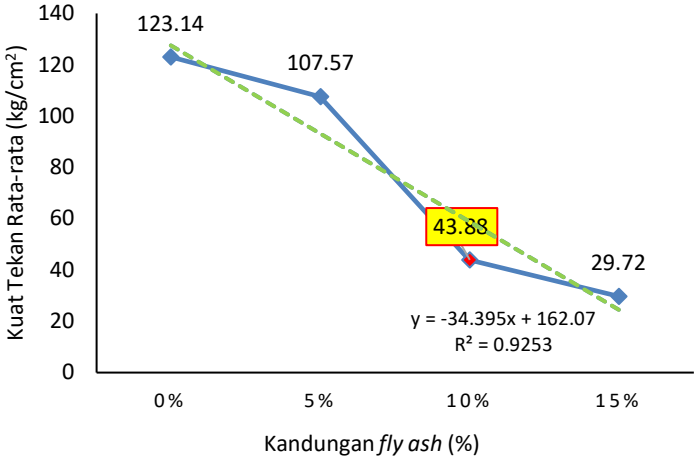
Tabel 6 Perencanaan Campuran

Nama Sampel	Bahan						Berat Total (kg)	Air (ml)
	Fly ash		Semen		Pasir			
	Persentase (%)	Berat (kg)	Persentase (%)	Berat (kg)	Persentase (%)	Berat (kg)		
FA-05	5%	0,25	25%	2,53	70%	8,95	11,73	1166,67
FA-06	6%	0,30	24%	2,43		8,95	11,68	1166,67
FA-07	7%	0,35	23%	2,33		8,95	11,63	1166,67
FA-08	8%	0,40	22%	2,22		8,95	11,58	1166,67
FA-09	9%	0,45	21%	2,12		8,95	11,53	1166,67
FA-10	10%	0,51	20%	2,02		8,95	11,48	1166,67
FA-11	11%	0,56	19%	1,92		8,95	11,43	1166,67
FA-12	12%	0,61	18%	1,82		8,95	11,38	1166,67
FA-13	13%	0,66	17%	1,72		8,95	11,33	1166,67
FA-14	14%	0,71	16%	1,62		8,95	11,28	1166,67
FA-15	15%	0,76	15%	1,52		8,95	11,23	1166,67

 ISSN 2654-5926

Tabel 7 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi I

Nama Sampel	Variasi Fly Ash	Kuat Tekan Rata-Rata (Kg/cm²)
FA-00	0%	123,14
FA-05	5%	107,57
FA-10	10%	43,88
FA-15	15%	29,72



Gambar 3 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi I

Dari hasil penelitian uji coba di atas, dapat diketahui bahwa hanya campuran komposisi *fly ash* 10% yang masuk kedalam spesifikasi yang ditentukan yakni dengan hasil uji kuat tekan rata-rata 43,88 kg/cm², dan nilai persamaan y = -34,395x + 162,07, serta nilai R^2= 0,9253. Maka selanjutnya dilakukan penelitian agar diperoleh hasil yang lebih akurat sesuai dengan target spesifikasi lapis pondasi agregat semen (LPAS) kelas B yakni 35 – 45 kg/cm² dan dapat diketahui batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi, maka persentase *fly ash* yang ditambahkan selanjutnya adalah 5%–15% dengan interval 1% *fly ash* tiap campuran.

Analisis Untuk Benda Uji Komposisi II

Dengan takaran *Fly ash* yang telah ditentukan dari penelitian sebelumnya (komposisi I), maka akan digunakan takaran *Fly ash* antara 5% hingga 15%. Adapun data hasil uji kuat tekan komposisi II dapat dilihat dalam Tabel 8. Data hasil uji kuat tekan komposisi II di atas jika dibuat dalam bentuk grafik dapat dilihat dalam Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4, campuran yang masuk kedalam spesifikasi yang ditentukan adalah *fly ash* dengan jumlah 10%, 11%, dan 12% yakni dengan hasil uji kuat tekan rata-rata berturut-turut adalah 44,35 kg/cm², 42,46 kg/cm², dan 49,823 kg/cm², dengan persamaan persamaan y = - 6,3222x + 92,233 serta nilai R^2= 0,9458.

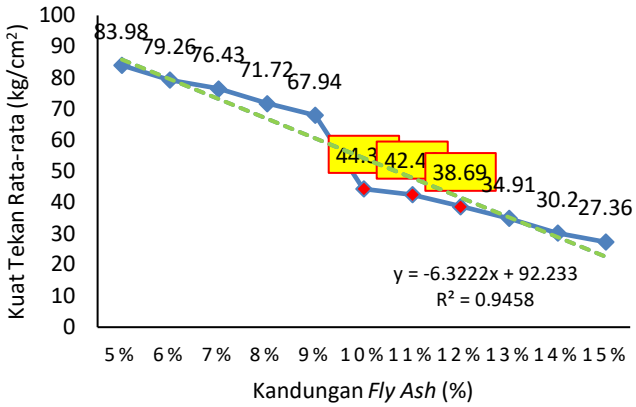
Penelitian komposisi optimal yang masuk spesifikasi LPAS kelas B ini diawali dengan pengujian benda uji, yakni agregat halus (pasir) dan semen sehingga dapat dilanjutkan kepada penelitian berikutnya.

Setelah dilakukan pengujian terhadap beberapa komposisi lapis pondasi agregat semen (LPAS) kelas B yang terlebih dahulu dilakukan penelitan uji coba, yakni untuk menentukan komposisi *Fly ash* dan semen yang tepat dengan menggunakan komposisi *Fly ash* 0% – 15% dan komposisi semen 15% – 30% sehingga didapatkan komposisi yang tepat yakni berkisar antara 5% – 15% *Fly ash*.

Tabel 8 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi II

Nama Sampel	Variasi Fly Ash	Kuat Tekan Rata-Rata (Kg/cm²)
FA-05	5%	83,98
FA-06	6%	79,26
FA-07	7%	76,43
FA-08	8%	71,72
FA-09	9%	67,94
FA-10	10%	44,35
FA-11	11%	42,46
FA-12	12%	38,69
FA-13	13%	34,91
FA-14	14%	30,20
FA-15	15%	27,36

 ISSN 2654-5926



Gambar 4 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi II

Pada komposisi 5% - 15% *Fly ash* didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa komposisi *fly ash* dengan jumlah 10%, 11%, dan 12% dengan hasil uji kuat tekan rata-rata berturut-turut adalah 44,35 kg/cm², 42,46 kg/cm², dan 49,823 kg/cm² memperoleh hasil uji kuat tekan yang masuk dalam spesifikasi LPAS kelas B yaitu sebesar 35-45 kg/cm².

Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini yaitu:

1. Semakin banyak *fly ash* (abu terbang) dari limbah cangkang dan serabut kelapa sawit yang digunakan dalam suatu komposisi campuran LPAS kelas B, maka nilai kuat tekan beton akan semakin berkurang.
2. Berdasarkan komposisi II, komposisi campuran yang masuk dalam spesifikasi LPAS kelas B dengan persyaratan memiliki hasil uji kuat tekan 35 kg/cm² – 45 kg/cm² adalah,
   a) Komposisi 10% *fly ash*, 70% pasir, dan 20% semen, serta 1166,667 ml.
   b) Komposisi 11% *fly ash*, 70% pasir, dan 19% semen, serta 1166,667 ml.
   c) Komposisi 12% *fly ash*, 70% pasir, dan 18% semen, serta 1166,667 ml.
3. Dari 3 komposisi yang masuk dalam spesifikasi LPAS kelas B, komposisi 12% *fly ash* lebih ekonomis daripada komposisi lainnya.

Referensi

American Society for Testing and Material. (2005). ASTM C 187-04 : Standard Test Method For Normal Consistency of Hydraulic Cement 1. In *Annual Book of ASTM Standards*.

Arifi, E. (2015). Pemanfaatan *Fly ash* Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang. *REKAYASA SIPIL*, *9*(3), 229–235.

ASTM C 618. (1997). ASTM C 618 : Standard Specification for Coal *Fly ash* and Raw or Calcined natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in concrete. In *Annual Book of ASTM Standards*.

B. Statistik, P. (2018). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2018* (Subdirektorat Statistik Tanaman Perkebunan (ed.); pp. 1–82). Badan Pusat Statistik.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002*. Badan Standardisasi Nasional.

Gunawan, G., & Nono. (2019). Ash Untuk Lapisan Fondasi Jalan Semen (Potential for Utilization of *Fly ash* and Bottom Ash Waste Materials for Cement Road Foundation). *Jurnal Jalan Jembatan*, *36*(1), 19–29.

Indrayani, Delvianty, J., Selmina, M., Herius, A., & Noerdin, R. (2019). *Fly ash* sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*, 56–62.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Divisi 5 Perkerasan Berbutir Dan Perkerasan Beton Semen* (p. 71).

Lestari, U. S., Yasruddin, Rahman, F., & Suleh, E. (2021). Analisis Pemanfaatan *Fly ash* (Abu Terbang) sebagai Pengurang Bahan Semen pada Campuran Cement Treated Base (CTB). *Engineering and Technology Journal E-ISSN*, *06*(09 September-2021), 1036–1041.

Mulia, A. (2007). *Pemanfaatan Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Briket Arang*. Universitas Sumatera Utara e-Repository.

Nurkolis. (2017). Analisi Kekuatan Cement Treated Base (CTB) Dengan Bahas Tambah Zat Aditif Menggunakan Variasi Kandungan Tanah Dan Pasir Untuk Lapis Pondasi Atas Jalan. *University Research Colloquium*.

Rahman, F., Hidayat, G., & Bertiani, N. (2020). Studi Pemanfaatan Abu Terbang Limbah Hasil Pembakaran Campuran Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton Normal di Lahan basah. *Info Teknik*, *21*(2), 227–242.

Setiawati, M. (2018). *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, *17*, 1–8.

Simamarta. (2017). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Kelapa Sawit dengan Aktivasi Fisik Terhadap Prestasi Mesin dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah. *FEMA*, *2*(1), 1–78.

SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland Komposit*. Badan Standardisasi Nasional.

Sukirman, S. (1999). *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Nova.