

Efek Persentase *Fly Ash* terhadap Parameter Kompaksi Suatu *Fill Material*

Hegi Priel Situngkir^[1], Andrias Suhendra Nugraha^{[1]*}, Slamet Riyadi^[2]

^[1] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 40164, Indonesia

^[2] PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara, Bulungan, 77212, Indonesia

Email: 2121040@eng.maranatha.edu, andrias.snugraha@maranatha.ac.id*, slamet.riyadi@pkncoal.com

*) Correspondent Author

Received: 07 August 2024; Revised: 07 January 2025; Accepted: 13 January 2025

How to cited this article:

Situngkir, H.P., Nugraha, A.S., Riyadi, S. (2025).Efek Persentase *Fly Ash* terhadap Parameter Kompaksi Suatu *Fill Material*. Jurnal Teknik Sipil, 21(1), 80-92. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.9694>

ABSTRAK

Konstruksi jalan tambang merupakan prasarana alat berat sebagai angkutan yang membawa hasil pertambangan agar dapat memperlancar kegiatan. Pembuatan konstruksi jalan tambang membutuhkan biaya tinggi, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan material sisa atau limbah nonB3 yang ada di sekitar area tambang dapat menghemat pengeluaran biaya untuk konstruksi jalan tambang. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami dan mengkaji pengaruh persentase *fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran batu bara dari area pertambangan di Tanjung Selor, Kalimantan Utara, terhadap parameter kompaksi suatu *fill material* yang akan digunakan sebagai material jalan tambang. Parameter kompaksi tersebut antara lain adalah *maximum dry density* (kepadatan kering maksimum), $\gamma_{dry\ max}$ dan *optimum moisture content* (kadar air optimum) w_{opt} . Komposisi campuran antara *fly ash* (FA) dan *fill material* (FM-I) antara lain adalah: FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan presentasi *fly ash* dari 50% menjadi 70% terhadap bahan campuran antara *fly ash* dan *fill material*, akan meningkatkan *optimum moisture content* dari 12.9% menjadi 21.9% dan akan menurunkan *maximum dry density* dari 1.44 t/m³ menjadi 1.20 t/m³. Persentase *fly ash* berpengaruh terhadap parameter kompaksi dari *fill material*.

Kata kunci: Batubara, *Fly Ash*, *Fill Material*, Jalan Tambang, Parameter Kompaksi.

ABSTRACT. *Effect of Fly Ash Percentage on Compaction Parameters of a Fill Material.* Mining road construction is heavy equipment infrastructure for transportation that carries mining products to facilitate activities. Mining road construction requires high costs, with this research it is hoped that it can utilize by utilizing leftover materials or non-B3 waste around the mining area, it can save costs for mining road construction. This research aims to understand and assess the effect of fly ash presentation originating from coal burning residue from the mining area in Tanjung Selor, North Kalimantan, on the compaction parameters of a fill material that will be used as mining road material. These compaction parameters include maximum dry density, $\gamma_{dry\ max}$ and optimum moisture content, w_{opt} . The composition of the mixture between fly ash (FA) and fill material (FM-I) includes: FA(50%)+FM-I(50%) and FA(70%)+FM-I(30%). The research results show that increasing the fly ash presentation from 50% to 70% in a mixture of fly ash and fill material will increase the optimum moisture content from 12.9% to 21.9% and will reduce the maximum dry density from 1.44 t/m³ to 1.20 t/m³. The presentation of fly ash affects the compaction parameters of the fill material.

Keywords: Coal, *Fly Ash*, *Fill Material*, Mine Road, Compaction Parameter

1. PENDAHULUAN

Jalan tambang merupakan prasarana alat berat sebagai angkutan yang membawa hasil pertambangan agar dapat memperlancar kegiatan. Jalan dapat terdiri dari beberapa lapisan yaitu tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*subbase*), lapisan atas (*base*), dan lapisan permukaan (*surface*) (Nugraha et al., 2017). Material yang dapat digunakan untuk lapisan *base* maupun *subbase* dapat berasal dari suatu material *crushed rock*.

Batu bara merupakan sumber daya alam yang dapat ditambang dan memiliki salah satu fungsi sebagai bahan bakar. Sisa pembakaran batu bara dengan temperatur tinggi dapat menghasilkan material abu terbang (*fly ash*) yang termasuk kedalam limbah nonB3 yang wajib dikelola oleh perusahaan penghasil (Kementrian ESDM, 2021). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Guspita et al. (2023) mengkaji penggunaan *fly ash* untuk material bahan bangunan (batu bata ringan). Pemanfaatan *fly ash* pada kuat tarik belah beton telah dilakukan oleh Philip et al. (2015).

Pada suatu tahapan desain konstruksi jalan, diperlukan data mengenai parameter kompaksi dari material yang akan digunakan sebagai bahan timbunan jalan ataupun material yang digunakan sebagai bagian dari struktur perkerasan jalan. Parameter kompaksi tersebut antara lain adalah *maximum dry density* (kepadatan kering maksimum), $\gamma_{dry\ max}$ dan *optimum moisture content* (kadar air optimum) w_{opt} . Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami dan mengkaji pengaruh presentase *fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran batu bara terhadap parameter kompaksi suatu *fill material* yang akan digunakan di suatu area pertambangan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan merupakan penelitian berdasarkan data-data eksperimental di laboratorium area pertambangan batu bara, Tanjung Selor, Kalimantan Utara seperti tampak pada **Gambar 1**.



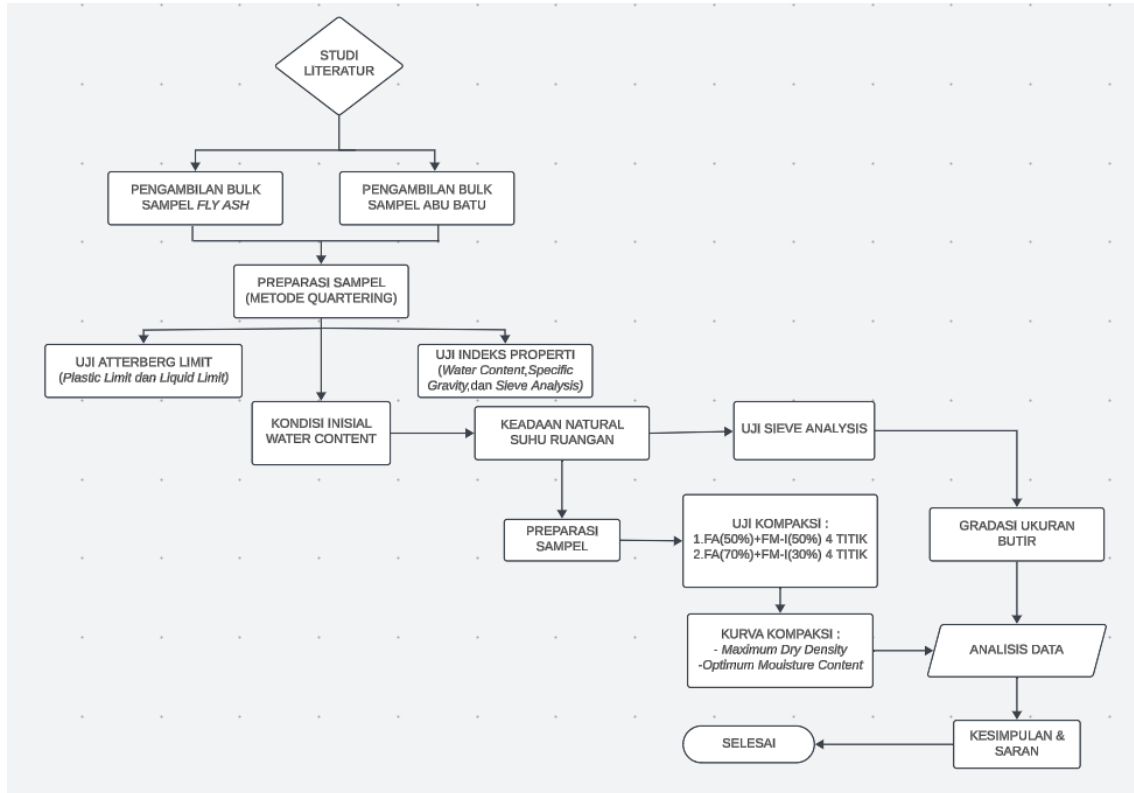
Gambar 1 Area Penelitian di Tanjung Selor, Kalimantan Utara
(Sumber: <https://www.googleearthpro.com>)

Selain laboratorium *on-site* di Tanjung Selor, Kalimantan Utara digunakan juga laboratorium pendukung yaitu Laboratorium Mekanika Tanah – U.K. Maranatha yang berada di Bandung, Jawa Barat. Material *fly ash* dan abu batu (*fill material*) yang telah dipreparasi dengan metode *quartering* untuk mengambil sampel representatif. Melakukan uji indeks properti *fly ash* yaitu *water content* untuk mengetahui kadar air, *specific gravity* untuk mengetahui berat jenis, dan *Atterberg limits* untuk mengetahui batas cair dan batas plastis. Melakukan uji material abu batu yaitu *sieve analysis* untuk mengetahui gradasi ukuran butir material, dan *particle density and water absorption* untuk mengetahui berat jenis dan daya serap air. Setelah itu, melakukan pengujian kompaksi pada dua presentase sampel uji FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%) dilakukan pengujian sebanyak 4 titik, dimana setiap titik dilakukan pengujian dengan 1 sampel. Adapun pengujian ini untuk mengetahui *maximum dry density* dan *optimum moisture content*. Diagram alir penelitian ini tampak pada **Gambar 2**.

Ruang lingkup studi adalah sebagai berikut:

1. Material *fly ash* yang digunakan berasal dari limbah nonB3 sisa pembakaran batu bara di PLTU salah satu tambang di Tanjung Selor, Kalimantan Utara.
2. *Fill material* berasal dari *crushed rock* digunakan sebagai campuran material untuk bahan timbunan jalan tambang.
3. Komposisi campuran antara *fly ash* (FA) dan *fill material* (FM-I) antara lain adalah: FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%).
4. Uji kadar air (*water content*) (ASTM D 2216–98).
5. Uji *sieve analysis* (ASTM C 127-07, 2007).

6. Uji *particle density and water absorption* (ASTM C 127-07, 2007)
7. Uji kompaksi yang dilakukan di Laboratorium menggunakan energi *Standard Proctor* (ASTM D 698-07, 2007)



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Proses pengambilan material uji yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu: *fly ash* (FA) dan *fill material* (FM) dari pengambilan sampel dari *stockpile* (tempat penyimpanan) tampak pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Kadar air *fly ash* pada *stockpile* memiliki potensi variabilitas dikarenakan kadar air *fly ash* sangat dipengaruhi kondisi lingkungan. Sehingga pada proses pengambilan sampel *fly ash* perlu memerhatikan warna dari *fly ash* yang akan diambil, adapun warna *fly ash* yang lebih gelap memiliki tanda bahwa kadar air yang lebih tinggi dibandingkan warna *fly ash* yang lebih terang.

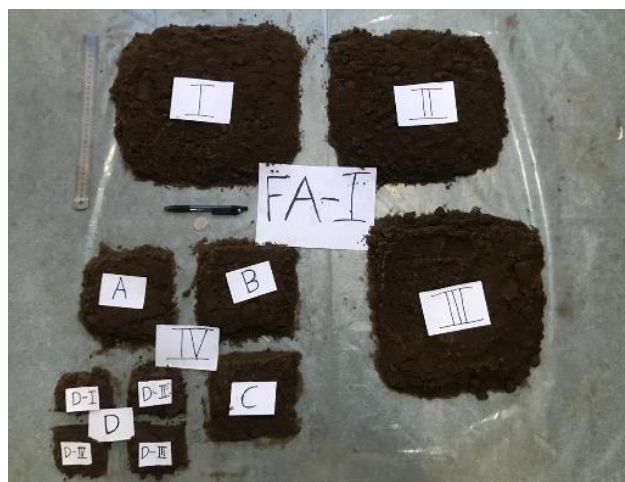
Untuk mendapatkan sampel uji yang representatif maka diperlukan suatu proses *quartering* untuk setiap material uji. Adapun proses *quartering* untuk setiap sampel uji tampak pada **Gambar 5** merupakan sampel uji FA-I (*fly ash* titik 1) dan **Gambar 6** merupakan sampel uji FM-I (abu batu titik 1).



Gambar 3 Proses Pengambilan Sampel Uji *Fly Ash* (FA)



Gambar 4 Proses Pengambilan Sampel Uji *Fill Material* (FM)



Gambar 5 Hasil Proses *Quartering* Sampel Uji *Fly Ash* (FA-I)



Gambar 6 Hasil Proses Quartering Sampel Uji Fill Material (FM-I)

3. HASIL UJI DAN ANALISIS

Indeks Properti Fly Ash

Uji indeks properti yang dilakukan pada *fly ash* yaitu pengujian *water content* (kadar air), w dan *specific gravity*, G_s .

Water Content Fly Ash

Setelah pengambilan sampel dari *stockpile*, pada sampel uji *fly ash* dilakukan proses *quartering* seperti tampak pada Gambar 6. Sampel untuk uji *water content* diambil dari *quarter* D-IV. Hasil uji *water content* dinyatakan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil pengujian nilai *water content initial* didapatkan 52,81%, kemudian setelah 23 hari tersimpan di laboratorium pada suhu ruangan, nilai *water content* berubah menjadi 3,09% dengan selisih *water content* 49,72%.

Tabel 1 Water Content Fly Ash

Sampel Uji	Water Content, w (%)	
	1 Nov 2023	24 Nov 2023
Fly Ash (FA)	52,81	3,09

Specific Gravity Fly Ash

Setelah melakukan pengujian *water content* pada sampel uji *fly ash*, dapat dilakukan pengujian *specific gravity*, G_s . Berdasarkan pengujian didapatkan hasil 3,02. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil – U.K. Maranatha. Hasil uji G_s dinyatakan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 *Specific Gravity Fly Ash*

Sampel Uji	Specific Gravity, G_s
Fly Ash (FA)	3,02

Indeks Properti Fill Material

Uji indeks properti yang dilakukan pada *fill material* yaitu pengujian *water content* (kadar air), w , *particle density* dan *water absorption*.

Water Content Fill Material

Setelah pengambilan sampel dari *stockpile*, pada sampel uji *fill material* dilakukan proses *quartering* seperti tampak pada **Gambar 6**. Sampel untuk uji *water content* diambil dari *quarter* D-IV-IV. Hasil uji *water content* dinyatakan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil pengujian nilai *water content initial* didapatkan 9,01% setelah 15 hari disimpan pada suhu ruangan nilai *water content* menjadi 3,09% dengan selisih *water content* 5,92 %.

Tabel 1 *Water Content Fill Material*

Sampel Uji	Water Content, w (%)	
	9 Nov 2023	24 Nov 2023
Fill Material (FM-I)	9,01	3,09

Particle Density dan Water Absorption Fill Material

Kondisi sebelum dan saat tercapai kondisi *saturated surface dried* (SSD) dari *fill material* tampak pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**. Hasil uji *particle density* dan *water absorption* untuk *fill material* dinyatakan pada **Tabel 4**.



Gambar 7 Sampel Uji *Fill Material* Sebelum Tercapai Kondisi SSD



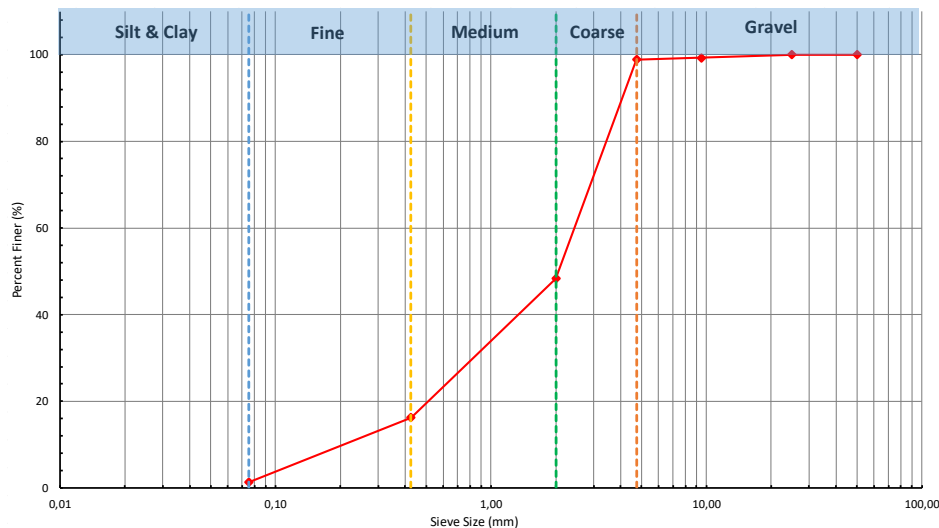
Gambar 8 Sampel Uji *Fill Material* Saat Tercapai Kondisi SSD

Tabel 4 Indeks Properti *Fill Material*

<i>Fraction</i>	<i>New Size Fraction</i>	<i>% Size Fraction</i>	<i>Condition</i>	<i>Weight (g)</i>	<i>Density (mg/m³)</i>
0.075 mm - 4.75 mm					
			Mass of the saturated and surface dried test portion, M_1	594,8	
			Mass of pycnometer + fraction + water, M_2	1048,2	
		20,3 °	Temperature of water when M_2 determined		
			Mass of pycnometer + water, M_3	683,3	
		20,3 °	Temperature of water when M_3 determined		
			Mass of the oven-dried test portion, M_4	576,50	
			Density of water at the temp. recorded when M_2 determined, ρ_w		0,998
Apparent particle density		$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$			2,719
Particle density on an oven-dried basis		$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$			2,503
Particle density on a saturated and surface-dried basis		$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$			2,582
Water absorption after immersion for 24 h		$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$		3,174	

Distribusi Ukuran Butir *Fill Material*

Hasil uji *sieve analysis* akan menghasilkan kurva distribusi ukuran butir. Untuk *fill material* kurva distribusi ukuran butir tersebut tampak pada **Gambar 9**. Metoda yang digunakan untuk uji *sieve analysis* dari *fill material* adalah menggunakan metoda *wet sieving*. Presentase ukuran butir dari *fill material* adalah sebagai berikut; *gravel* 1.08%, *sand* = 97.58%, dan persentase *fines content* = 1.34%.



Gambar 9 Kurva Distribusi Ukuran Butir *Fill Material*

Hasil Uji X-Ray *Fluorescence* (XRF) untuk *Fly Ash*

Pengujian XRF dilakukan terhadap material *fly ash* untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Pengujian unsur kimia ini yang dilakukan di Laboratorium *Hydrogeology* - Institut Teknologi Bandung.

Hasil uji XRF dinyatakan pada **Tabel 5**. Berdasarkan tabel tersebut ditunjukkan bahwa unsur kimia yang terdapat pada material *fly ash* didominasi oleh senyawa-senyawa sebagai berikut:

- SiO₂ (silika atau silicon dioksida) : 37.4%
- Al₂O₃ (aluminium oksida) : 21.9%
- Fe₂O₃ (ferioksida) : 15.1%
- CaO (kalsium oksida) : 14.6%.

Tabel 5 Hasil Uji XRF *Fly Ash*

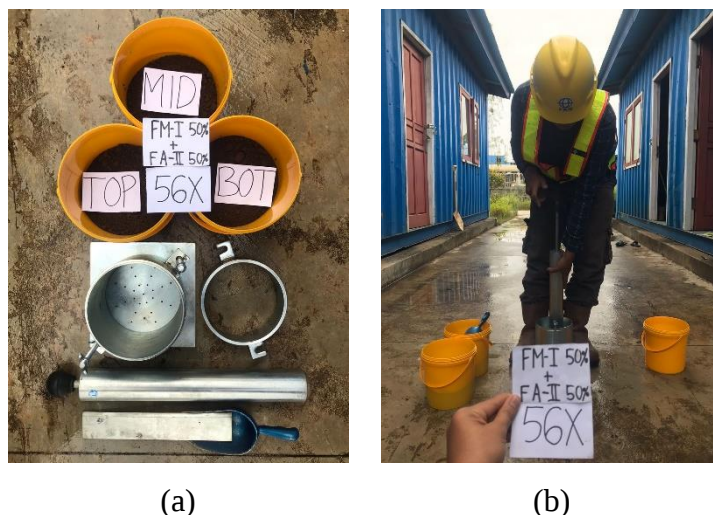
Oksida (oxides)	Satuan (Unit)	Jumlah (Amount)	Elemen (Elements)
Na ₂ O	%	1,13	Na
MgO	%	6,37	Mg
Al ₂ O ₃	%	15,7	Al
SiO ₂	%	31,7	Si
P ₂ O ₅	%	0,267	P
SO ₃	%	5,11	S
Cl	%	2,15	Cl
K ₂ O	%	1,06	K
CaO	%	21,7	Ca
TiO ₂	%	0,617	Ti
MnO	%	0,486	Mn
Fe ₂ O ₃	%	14,6	Fe
CuO	%	0,0125	Cu
Rb ₂ O	%	0,0080	Rb
SrO	%	0,654	Sr
BaO	%	0,342	Ba

Hasil Uji Kompaksi *Fly Ash + Fill Material*

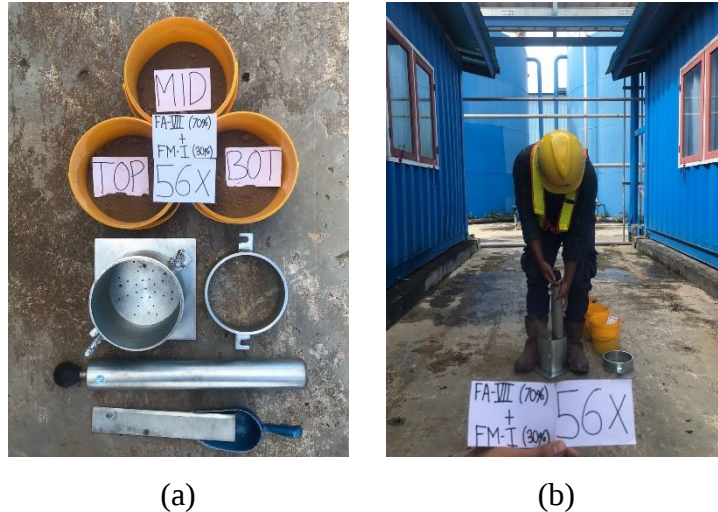
Proses pengujian kompaksi di laboratorium dengan komposisi FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%) yang mengikuti standar ASTM D698 – *Standard Test Methods for Laboratory Compaction*. Proses pengujian kompaksi terbagi menjadi 3 lapisan pemadatan, dengan setiap lapisan ini dilakukan 56x tumbukan, adapun proses pengujian tampak pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**. Spesifikasi alat yang digunakan dalam pengujian kompaksi terdapat *mold* yang memiliki diameter $\pm 100\text{mm}$ dan tinggi $\pm 115\text{mm}$, serta proses pemadatan menggunakan *hammer* dengan tinggi jatuh $\pm 30\text{cm}$ dan memiliki berat $\pm 2,6\text{kg}$. Setelah melakukan pengujian kompaksi dilakukan pengambilan *water content* pada lapisan yang dimana dimasukan kedalam oven selama 24jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Hasil uji kompaksi untuk sampel FA(50%)+FM-I(50%) dengan kondisi kadar air 3,08% diperoleh *dry density* $1,28 \text{ t/m}^3$, untuk kondisi kadar air 10,24% diperoleh *dry density* $1,44 \text{ t/m}^3$, untuk kondisi kadar air 18,7% diperoleh *dry density* $1,44 \text{ t/m}^3$, untuk kondisi kadar air 33,4% diperoleh *dry density* $1,41 \text{ t/m}^3$, dan untuk kondisi kadar air 33,51% diperoleh *dry density* $1,41 \text{ t/m}^3$.

Hasil uji kompaksi untuk sampel FA(70%)+FM-I(30%), dengan kondisi kadar air 5,06% diperoleh *dry density* $1,08 \text{ t/m}^3$, untuk kondisi kadar air 11,97% diperoleh *dry density* $1,08 \text{ t/m}^3$, untuk kondisi kadar air 21,20% diperoleh *dry density* $1,91 \text{ t/m}^3$, dan untuk kondisi kadar air 29,88% diperoleh *dry density* $1,88 \text{ t/m}^3$.

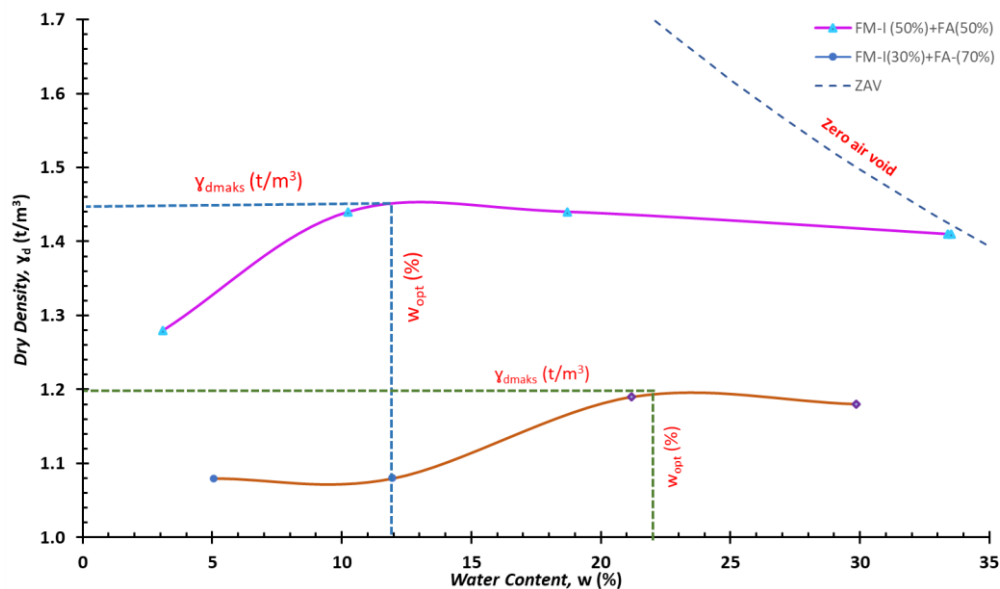


Gambar 10 (a) Preparasi Pengujian Kompaksi FA(50%)+FM-I(50%)
(b) Proses Pengujian Kompaksi FA(50%)+FM-I(50%)



Gambar 11 (a) Preparasi Pengujian Kompaksi FA(70%)+FM-I(70%)
 (b) Proses Pengujian Kompaksi FA(30%)+FM-I(70%)

Hasil uji kompaksi akan menghasilkan kurva kompaksi. Kedua kurva kompaksi untuk komposisi FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%) tampak pada **Gambar 12**. Berdasarkan kurva kompaksi akan diperoleh parameter kompaksi yaitu: *maximum dry density* (kepadatan kering maksimum), $\gamma_{dry\ max}$ dan *optimum moisture content* (kadar air optimum) w_{opt} .



Gambar 12 Kurva Kompaksi

Parameter kompaksi untuk komposisi FA(50%)+FM-I(50%) dan FA(70%)+FM-I(30%) dinyatakan pada Tabel 6.

Tabel 6 Parameter Kompaksi

Sampel Uji	Maximum Dry Density $\gamma_{dry\ max} (t/m^3)$	Selisih $\gamma_{dry\ max} (t/m^3)$	Optimum Moisture Content, $w_{opt} (%)$	Selisih $w_{opt} (%)$
FA(50%)+FM-I(50%)	1,44	0.22	12,9	9.0
FA(70%)+FM-I(30%)	1,20		21.9	

Tabel 6 menunjukkan bahwa kenaikan presentase *fly ash* dari 50% menjadi 70% terhadap bahan campuran (FA+FM-I), akan meningkatkan *optimum moisture content* dari 12.9% menjadi 21.9% atau terdapat selisih w_{opt} sebesar 9%. Peningkatan *optimum moisture content* tersebut akan menurunkan *maximum dry density* dari 1.44 t/m³ menjadi 1.20 t/m³ atau terdapat selisih $\gamma_{dry\ max}$ sebesar 0.22%.

Kondisi tersebut di atas menunjukkan bahwa presentase *fly ash* berpengaruh terhadap parameter kompaksi dari material campuran antara *fly ash* dan *fill material*. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh nilai *maximum dry density* dan *water content* optimum yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk desain jalan tambang (*hauling road*). Kebutuhan *fill material* untuk *hauling road* yang diperoleh dari luar area pertambangan (*fill material* berasal dari luar pulau) dapat dikurangi dengan memanfaatkan *fly ash* yang merupakan limbah non B3 yang tersedia di tambang tersebut (sisa hasil pembakaran batu bara dengan suhu tinggi) sehingga biaya konstruksi jalan tambang akan menjadi lebih ekonomis.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan presentase *fly ash* dari 50% menjadi 70% terhadap bahan campuran antara *fly ash* dan *fill material*, akan meningkatkan *optimum moisture content* dari 12.9% menjadi 21.9% dan akan menurunkan *maximum dry density* dari 1.44 t/m³ menjadi 1.20 t/m³.
2. Presentase *fly ash* berpengaruh terhadap parameter kompaksi dari suatu *fill material*.

5. SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukannya uji kompaksi untuk campuran *fill material* dan *fly ash* dengan komposisi yang sama tetapi dengan kandungan CaO yang berbeda dari *fly ash* lainnya yang merupakan limbah nonB3 dari sisa pembakaran batu bara dengan temperature tinggi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 127-07. (2007). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM D 698-07. (2007). *Designation: D 698-07 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*.
- ASTM D 2216-98. (1998). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*.
- ASTM D422-02. (2002). *Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils*.
- Guspita Mega Putri Yemima, A., Noor Abdi, F., & Haryanto, B. (2023). Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* untuk Bahan Tambah Pembuatan Batu Bata Ringan. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Sipil*, 7(2), 56-61.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) Hasil Pembakaran Batubara Wajib Dikelola*. SP.078/HUMAS/PP/HMS.3/3/2021.
- Nugraha, A., Fahlevi, J. D., & Soentpiet, W. H. (2017). Studi Pengaruh Ukuran Butir terhadap Parameter Kompaksi dan Nilai CBR Material Crushed Limestone Padalarang. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95–206.
- Philip, A., Marthin, M., Sumajouw, D. J., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) terhadap Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11), 729–736.