E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



PENGARUH *FLY ASH* DAN KADAR AIR TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* SUATU *FILL MATERIAL*

[1]Muhammad Fadhil Murtedza
[2]Andrias Suhendra Nugraha

[1] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha (2121034@maranatha.ac.id)
[2] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha (andrias.snugraha@maranatha.ac.id)

Received: 12 Pebruari 2024 / Accepted: 6 Mei 2024 / Published: 31 Desember 2024

ABSTRAK

Abu terbang (*fly ash*) merupakan hasil limbah nonB3 dari pembakaran batu bara yang di manfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pemanfaatan *fly ash* tengah diupayakan untuk meningkatkan nilai tambah sebagai *reuse material* yang ramah terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memahami dan mengkaji pengaruh *fly ash* dan kadar air terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) laboratorium suatu *fill material* yang akan digunakan pada *hauling road*. *Fly ash* dan *fill material* yang digunakan sebagai materal uji berasal dari Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara. Komposisi campuran yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah; *fly ash* 50% + *fill material* 50% dan *fly ash* 70% + *fill material* 30%. Kadar air campuran untuk *fly ash* dan *fill material* adalah pada rentang: 10.24% - 29.88%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air yang semakin besar akan mengurangi nilai CBR. Persentase *fly ash* (FA) 50% terhadap campuran FA+FM akan menghasilkan nilai CBR yang lebih besar jika dibandingkan persentase FA (70%) terhadap campuran FA+FM. Campuran *fly ash* 50% + *fill material* 50% merupakan kondisi komposisi campuran yang optimal dengan nilai CBR 31.84% dan kadar air 10.24%.

Kata Kunci: CBR, *fly ash*, *fill material*, kadar air.

ABSTRACT

Fly ash is a non-B3 waste product from burning coal which is used for Steam Power Plants. Efforts are being made to utilize fly ash to increase added value as an environmentally friendly reuse material. This research aims to understand and assess the effect of fly ash and water content on the laboratory California Bearing Ratio (CBR) value of a filler material that will be used on haul roads. The fly ash and filler materials used as test materials came from Tanjung Selor, Bulungan Regency, North Kalimantan. The composition of the mixture used in this study is: fly ash 50% + 50% filler and fly ash 70% + 30% filler. The mixed water content for fly ash and filler materials is in the range: 10.24% - 29.88%. The research results show that greater water content will reduce the CBR value. A fly ash (FA) percentage of 50% in the FA+FM mixture will produce a greater CBR value compared to the FA percentage (70%) in the FA+FM mixture. A mixture of 50% fly ash + 50% fill material is

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



the optimal mixture composition condition with a CBR value of 31.84% and a water content of 10.24%.

***Key words**: CBR, fly ash, fill material, water content.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan penghasil batubara terbesar di dunia. Sebagian besar penggunaan batubara dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menghasilkan limbah nonB3 (non bahan beracun dan berbahaya) yaitu FABA (*Fly Ash dan Bottom Ash*). Material FABA diklasifikasikan ke dalam limbah nonB3 karena pembakaran batubara untuk kegiatan PLTU dilakukan pada temperatur tinggi, hal tersebut menyebabkan kandungan *unburnt carbon* di dalam FABA menjadi minimum dan lebih stabil saat disimpan (Kementrian ESDM, 2021).

Pemanfaatan *fly ash* tengah diupayakan untuk meningkatkan nilai tambah sebagai *reuse material* yang ramah terhadap lingkungan. Pada saat ini umumnya *fly ash* tidak hanya sebagai untuk campuran beton saja (Philip et al., 2015) (Anggarini dan Hardiani, 2023), tetapi dapat juga digunakan juga sebagai campuran bata ringan (Haryanti, 2014) (Yemima et al., 2023), dan juga dimanfaatkan sebagai campuran bahan untuk pembuatan jalan (Indriyati et al., 2019) (Gazalie et al., 2023). Pada konstruksi perkerasan jalan diperlukan adanya lapisan *base course*, *subbase course* dan *subgrade*. Pada lapisan *base course* dan *subbase course* sering digunakan material *crushed rock* sebagai material agregat kasar. Selain itu material *crushed rock* sering juga digunakan sebagai *fill material* pada suatu *road embankment*. Nilai kekuatan (*strength*) dari suatu material yang akan digunakan untuk konstruksi jalan dapat diperoleh dari hasil pengujian California Bearing Ratio (CBR) di laboratorium. Nugraha dan Iqbal (2019) telah melakukan penelitian terhadap nilai CBR *unsoaked* material *crushed limestone* yang berasal dari daerah Pangandaran, Jawa Barat. Nilai CBR dari suatu material tidak terlepas dari parameter kompaksi dari material tersebut. Parameter kompaksi yang dimaksud antara lain adalah *maximum dry density* (MDD) atau kepadatan kering maksimum dan *optimum moisture content* (OMC) atau kadar air optimum. Nugraha (2023) telah melakukan penelitian untuk pengaruh nilai kadar air inisial pada parameter kompaksi untuk tanah berbutir halus yang terkompaksi.

Tujuan Penelitian dari penelitian ini adalah untuk memahami dan mengkaji pengaruh pengaruh *fly ash* dan kadar air terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) di laboratorium dari suatu *fill material* yang akan digunakan pada suatu *hauling road* di area pertambangan batubara.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah penelitian berdasarkan data-data eksperimental. Seluruh pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Prodi. Teknik Sipil – U.K. Maranatha, Bandung. Sampel uji yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua sampel uji yaitu; *fly ash* dan *fill material*. Kedua material tersebut akan digunakan sebagai bahan komposit atau *composite material* untuk *hauling*

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179

road. Sampel uji berasal dari Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara. Sampel uji diambil dari *stockpile* dalam kondisi *bulk sample*. Lokasi pengambilan sampel uji tampak pada Gambar 1. Sampel uji dalam kondisi *bulk* dari lapangan yang siap dikirim ke Laboratorium tampak pada Gambar 2. Bagan alir dari penelitian ini dinyatakan pada Gambar 3.



Gambar 1. Lokasi Sampel Uji
(Sumber: https://earth.google.com)



(a)



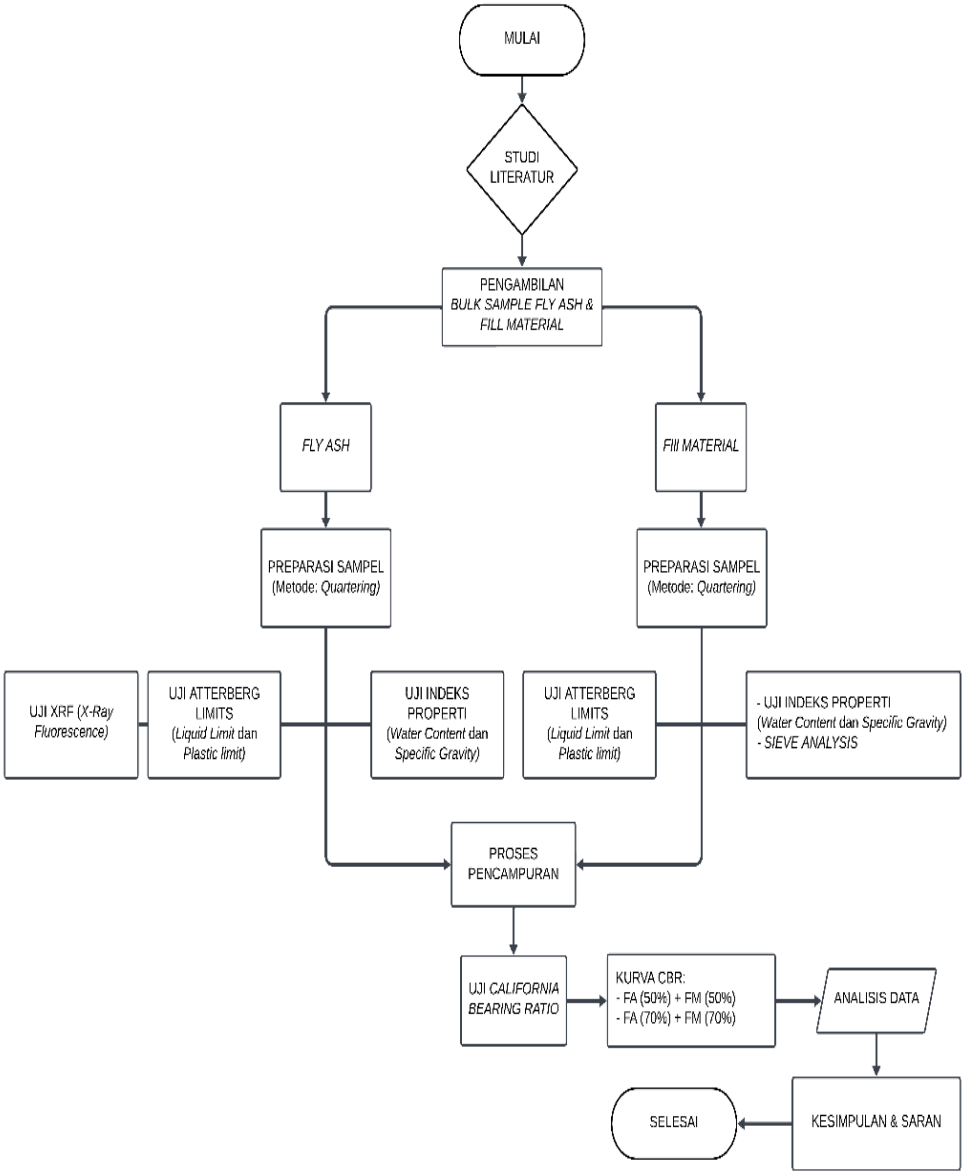
(b)

Gambar 2. *Bulk Sample* (a) *Fly Ash* (b) *Fill Material*

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Proses pengambilan sampel uji dari *stockpile* tampak pada Gambar 4. Proses pengambilan sampel *fly ash* dan *fill material dilakukan sesegera mungkin* dengan tujuan untuk menghindari evaporasi dari sampel yang akan berpengaruh terhadap kadar air inisial. Selanjutnya sampel uji di masukan kedalam plastik sampel dan ditutup dengan rapat. Pengambilan sampel *fly ash* dan *fill material* juga harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari terjadinya kontaminasi pada sampel yang berbeda di area tersebut. Berat sampel uji yang diambil pada setiap *stockpile* dinyatakan pada Tabel 1.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



(a) (b)

Gambar 4. Pengambilan Sampel Uji
(a)*Fly Ash* (b) *Fill Material*

Pada penelitian ini, material *fly ash* selanjutnya disebut dengan inisial saja yaitu: FA dan untuk *fill material* yaitu: FM.

Tabel 1. Berat Sampel Uji

Sampel	Berat	Satuan
FA	21.00	kg
FM	37.35	kg

Setelah proses pengambilan sampel di *stockpile*, sampel dikirim ke Laboratorium di Bandung dalam kondisi *bulk sample* di dalam plastik sampel. Setiba di Laboratorium, pada sample uji akan dilakukan proses *quartering* untuk mendapatkan sampel uji yang representatif seperti tampak pada Gambar 5.



(a)

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



(b)

Gambar 5. Hasil *Quartering*
(a) *Fly Ash* (b) *Fill Material*

Jenis Pengujian dan Standar Uji

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada standar uji sebagai berikut:

a. Uji XRF : *X-Ray Fluorescence*
b. Kadar air, w : (ASTM D 2216–98)
c. *Specific gravity*, G_s : (XP CEN ISO/TS 17892-3)
d. *Atterberg Limits*, LL dan PL : (ASTM D4318−10)
e. *Sieve Analysis* : (ASTM D422-02)
f. *California Bearing Ratio* (CBR) : (ASTM D1883−16)

Alat Uji California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR di laboratorium dibedakan menjadi 2 yaitu; CBR dengan rendaman (*soaked* CBR) dan CBR tanpa rendaman (*unsoaked* CBR). Pada penelitian ini digunakan CBR di laboratorium tanpa rendaman. Uji CBR hanya dilakukan dengan satu nilai energi tumbukan per *layer*, yaitu: 56 tumbukan/*layer*. Alat uji CBR di laboratorium yang digunakan tampak pada Gambar 6.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



Gambar 6. Alat Uji CBR di Laboratorium

Komposisi Campuran FA dan FM

Komposisi campuran yang digunakan dalam pengujian ini ada dua campuran yaitu; FA 50% + FM 50% (komposisi 1) dan FA 70% + FM 30% (komposisi 2). Total berat sampel uji yang digunakan dalam pengujian CBR adalah 5000 gram. Untuk komposisi 1 dengan campuran FA 50% + FM 50% digunakan pada dua kondisi kadar air yaitu: 10.24% dan 18.70%. Sedangkan untuk komposisi 2 dengan campuran FA 70% + FM 30% juga digunakan dua kondisi kadar air yaitu: 21.20% dan 29.88%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji XRF Material *Fly Ash*

Hasil uji XRF *(X-Ray Fluorescence)* pada material *fly ash* yang dilakukan di Laboratorium *Hydrogeology* ITB, dinyatakan pada Tabel 2. Terdapat 4 (empat) senyawa yang dominan dari material fly ash yang diuji tersebut. Keempat senyawa tersebut antara lain adalah SiO_2 (silika atau silicon dioksida): 37.4%, Al_2O_3 (alumunium oksida): 21.9%, dan Fe_2O_3 (ferioksida): 15.1%, dan CaO (kalsium oksida): 14.6%.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179

Tabel 2. Data Hasil Uji XRF di Lab.ITB

No.	Oksidasi	Jumlah	Satuan	Elemen
1	Na2O	0.163	%	Na
2	MgO	4.57	%	Mg
3	Al_2O_3	21.9	%	AI
4	SiO_2	37.4	%	Si
5	P_2O_5	0.117	%	P
6	SO_3	2.85	%	S
7	CI	0.0898	%	CI
8	K_2O	1.26	%	K
9	CaO	14.6	%	Ca
10	TiO_2	0.730	%	Ti
11	MnO	0.354	%	Mn
12	Fe_2O_3	15.1	%	Fe
13	Co_2O_3	0.0185	%	Co
14	NiO	0.0136	%	Ni
15	CuO	0.0119	%	Cu

Hasil Uji Indeks Properti dan *Atterberg Limits* Untuk *Fly Ash*

Setelah melakukan proses *quartering* pada material *fly ash* yang tampak pada Gambar 5, sampel untuk uji kadar air (*water content*, w) dan *specific gravity* (G_s) diambil dari kuadran: D-VI-VI-I dan D-VI-VI-II dengan hasil uji yang dinyatakan pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks Properti *Fly Ash*

Sampel	Kadar Air, w (%)	*Specific Gravity*, G_s
FA	73.43	3.02

Uji *Atterberg limits* dilakukan pada material *fly ash* untuk mengetahui batas cair atau *liquid limit* (LL) dan batas plastis atau *plastic limit* (PL). Hasil uji batas plastis seperti tampak pada Gambar 7 menunjukkan bahwa pada material *fly ash* tidak dapat dilakukan uji batas plastis, hal ini menyatakan bahwa *fly ash* adalah material yang non plastis. Dengan kondisi seperti ini uji batas cair pun tidak dilakukan pada material *fly ash*.



Gambar 7. Kondisi *Non Plastis* Untuk *Fly Ash*

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179

Hasil Uji Indeks Properti dan *Atterberg Limits* Untuk *Fill Material*

Uji kadar air dan *specific gravity* untuk *fill material* dilakukan setelah proses *quartering* selesai dilakukan seperti tampak pada Gambar 5. Kuadran yang digunakan untuk kedua uji tersebut adalah D-VI-VI-VI dan D-VI-VI-III. Hasil kadar air dan *specific gravity* dinyatakan pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks Properti *Fill Material*

Sampel	Water Content (%)	Specific Gravity, G_s
FM	10.18	2.68

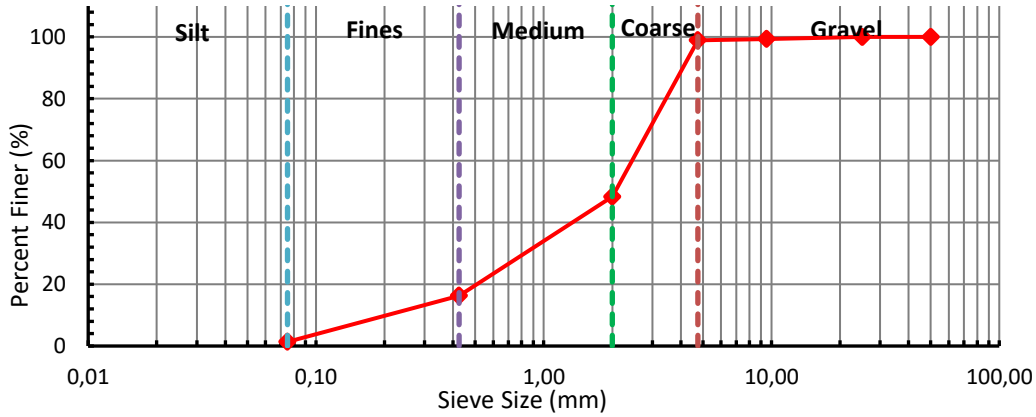
Pada pengujian *Atterberg limits* untuk *fill material* kondisinya sama seperti *fly ash*, dimana pada sampel uji tidak dapat dilakukan pengujian *plastic limit* seperti tampak pada Gambar 8, sehingga *fill material* pun masuk kedalam material non plastis. Kondisi tersebut menyebabkan uji batas cair pun tidak dilakukan pada *fill material*.



Gambar 8. Kondisi *Non Plastis* Untuk *Fill Material*

Hasil Uji *Sieve Analysis* Pada *Fill Material*

Hasil uji *sieve analysis* yaitu kurva distribusi ukuran butir tampak pada Gambar 9. Dari kurva tersebut diperoleh persentase ukuran butir dari *fill material* adalah sebagai berikut; *gravel* 1.08%, *sand* 97.58%, dan *fines content* 1.34%.



Gambar 9. Kurva *Sieve Analysis Fill Material*

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179

Hasil Uji *California Bearing Ratio* (CBR) di Laboratorium

Hasil pengujian CBR kondisi *unsoaked* untuk setiap komposisi campuran disajikan dalam bentuk kurva hubungan antara beban (*load*) dan penetrasi (*penetration*).

- **Uji 1: FA (50%) + FM (50%) dengan Kadar Air (*Water Content*) = 10.24%**

Kurva *Load-Penetration* tampak pada Gambar 10. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh nilai CBR pada penetrasi 0.1" sebesar 31.29% dan nilai CBR pada penetrasi 0.2" sebesar 31.84%. Nilai CBR kondisi *unsoaked* di laboratorium adalah 31.84%.

- **Uji 2: FA (50%) + FM (50%) dengan Kadar Air (*Water Content*) = 18.70%**

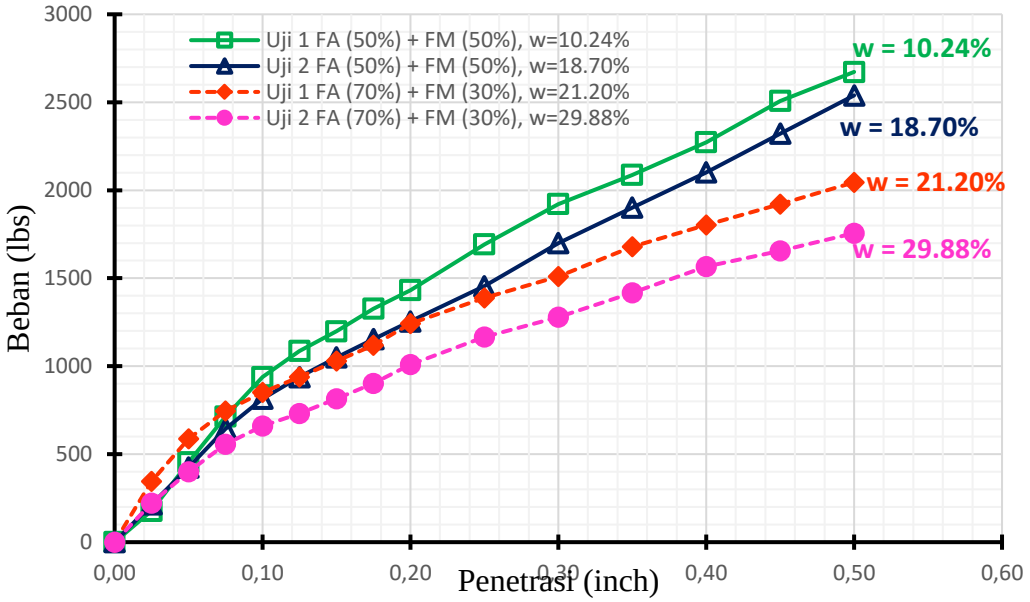
Kurva *Load-Penetration* tampak pada Gambar 10. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh nilai CBR pada penetrasi 0.1" sebesar 27.17% dan nilai CBR pada penetrasi 0.2" sebesar 27.88%. Nilai CBR kondisi *unsoaked* di laboratorium adalah 27.88%.

- **Uji 1 FA (70%) + FM (30%) dengan Kadar Air (*Water Content*) = 21.20%**

Kurva *Load-Penetration* tampak pada Gambar 10. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh nilai CBR pada penetrasi 0.1" sebesar 28.41% dan nilai CBR pada penetrasi 0.2" sebesar 27.61%. Nilai CBR kondisi *unsoaked* di laboratorium adalah 28.41%.

- **Uji 2 FA (70%) + FM (30%) dengan Kadar Air (*Water Content*) = 29.88%**

Kurva *Load-Penetration* tampak pada Gambar 10. Berdasarkan kurva tersebut diperoleh nilai CBR pada penetrasi 0.1" sebesar 21.98% dan nilai CBR pada penetrasi 0.2" sebesar 22.45%. Nilai CBR kondisi *unsoaked* di laboratorium adalah 22.45%.



Gambar 10. Kurva Beban – Penetrasi Gabungan

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



Hasil Perbandingan Uji CBR Untuk Komposisi 1 dan Komposisi 2

Hasil uji CBR untuk keempat sampel uji tampak pada Gambar 10. Dari keempat kurva tersebut dapat dilihat *trend* kurva yang sama hingga *penetration* 0.1" dan mulai terjadi perubahan bentuk kurva setelah *penetration* 0.1". Pada komposisi campuran FA 50% + FM 50% dengan kadar air terkecil, w = 10.24% diperoleh nilai CBR terbesar yaitu 31.84%. Sementara pada komposisi campuran FA 70% + FM 30% dengan kadar air terbesar, w = 29.88% diperoleh nilai CBR terkecil yaitu yang memiliki nilai CBR lebih kecil sebesar 22.45%. Perbandingan hasil uji CBR untuk keempat sampel uji dinyatakan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 5. Nilai CBR dan Kadar Air Untuk Komposisi 1: FA (50%) + FM (50%)

	Nilai CBR (%)	**Selisih CBR (%)**	**Kadar Air, w (%)**	**Selisih w (%)**
Uji 1	31.84	3.96	10.24	8.46
Uji 2	27.88		18.70	

Tabel 6. Nilai CBR dan Kadar Air Untuk Komposisi 2: FA (70%) + FM (30%)

	Nilai CBR (%)	**Selisih CBR (%)**	**Kadar Air, w (%)**	**Selisih w (%)**
Uji 1	28.41	5.96	21.20	8.68
Uji 2	22.45		29.88	

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan Tabel 5, ditunjukkan bahwa kondisi kadar air yang semakin besar akan mengurangi nilai CBR dan sebaliknya kondisi kadar air yang lebih kecil akan menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi. Komposisi 1 akan menghasilkan nilai CBR yang lebih besar dari komposisi 2 atau dapat dinyatakan bahwa persentase *fly ash* (FA) 50% terhadap campuran FA+FM akan menghasilkan nilai CBR yang lebih besar jika dibandingkan persentase FA (70%) terhadap campuran FA+FM.

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran komposisi 1 (FA 50% + FM 50%) mendapatkan nilai CBR yang optimum sebesar 31.84% dengan kadar air 10.24%. Persentase material *fly ash* dalam komposisi campuran mempengaruhi nilai CBR. Nilai CBR juga dipengaruhi oleh nilai kadar air material campuran baik untuk komposisi 1 maupun untuk komposisi 2.

E-ISSN:
2656-6001
Terbit Sejak 2018

JURNAL KACAPURI :
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Alamat web jurnal:
https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/index
DOI : 10.31602/jk.v7i2.14121

Vol. 7. No. 2
Desember 2024
Halaman:
168-179



DAFTAR PUSTAKA

Anggarini, E., & Pradhitya Hardiani, D. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) sebagai Subtitusi Semen terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Normal 30 MPa. Jurnal Kacapuri*:* Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 6(1), 51–62. https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11559

ASTM C618. (2019). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete 1:* Vol*. Designation: C618−19*.

ASTM D 2216–98. (1998). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass 1*.

ASTM D422-02. (2002). *Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils*.

ASTM D1883−16. (2018). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*.

ASTM D4318−10. (2014). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils1*.

Gazalie, R., Fauzi, M., Hawinuti, R., & Helmi, M. (2023). Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara sebagai *Filler* pada Lataston Lapis AUS (HRS-WC).

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.

Hadi Haryanti, N. (2014). Uji Abu Terbang PLTU Asam Asam sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan.

Indriyati, T., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019). Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, *13*, 122–119. https://doi.org/10.31849/teknik.v13i2.3596

Kementrian 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. (2023). Efek Kondisi Inisial Kadar Air terhadap Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum pada Tanah Butir Halus Terkompkasi. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 6(1), 470. https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11660

Nugraha, A., & Iqbal, A. (2019). Efek Pengurangan Dimensi Mold terhadap Nilai CBR-*Unsoaked* Material *Crushed Limestone* Pangandaran. Jurnal Teknik Sipil, 15(1). https://doi.org/10.28932/jts.v15i1.1857

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. https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/10662

Syafruddin. (2007). Hubungan Teoritis Antara Berat Isi Kering dan Kadar Air untuk Menentukan Kepadatan Relatif. Info-Teknik, 8(2), 142–150.

XP CEN ISO/TS 17892-3. (2015). *Geotechnical Investigation and Testing-Laboratory Testing of Soil-Part 3: Determination of Particle Density*.