

## PENGARUH PERUBAHAN SUHU TERHADAP NILAI *HUMIDITY* MATERIAL *FLY ASH* PADA KONDISI *ROOM TEMPERATURE*

Deananta Julliana Pinangkaan<sup>1</sup>, Andrias Suhendra Nugraha<sup>1\*</sup>, dan Brance Kambuaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Surya Sumantri No.65, Bandung, Jawa Barat

<sup>2</sup>PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara, Tj. Selor, Bulungan, Kalimantan Utara

\*andrias.snugraha@maranatha.ac.id

Masuk: 22-04-2025, revisi: 10-06-2025, diterima untuk diterbitkan: 30-06-2025

### ABSTRACT

*Fly ash is a non-B3 waste resulting from the combustion of coal as the main fuel for Steam Power Plants (PLTU). The use of fly ash is used as a reuse material to optimize the utilization of fly ash and increase the use of waste. This study aims to analyze the physical parameters, namely humidity in a range of temperature changes and its relationship with fly ash moisture content both in the stockpile area and at room temperature conditions in the laboratory. The research location was in the coal mining area, Tanjung Selor, North Kalimantan. Research studies on fly ash material show that humidity is directly proportional to water content and humidity is inversely proportional to temperature. The higher the fly ash temperature, the lower the humidity and the lower the fly ash temperature, the higher the humidity. The humidity value is affected by changes in temperature and test location and the water content value is affected by the humidity value. Field data shows that in the fly ash temperature range: 32°C - 36°C, the humidity value is 80% - 87%. Laboratory data shows that in the temperature range of fly ash: 27°C - 31°C, the humidity value is 83% - 89%.*

*Keywords: fly ash; humidity; temperature; water content*

### ABSTRAK

*Fly ash (abu terbang) merupakan limbah non-B3 hasil dari pembakaran batubara sebagai bahan bakar utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penggunaan fly ash digunakan sebagai reuse material untuk pemanfaatan fly ash secara optimalisasi dan meningkatkan penggunaan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa parameter fisik yaitu humidity pada suatu rentang perubahan suhu serta hubungannya dengan kadar air fly ash baik di area stockpile maupun pada kondisi room temperature di laboratorium. Lokasi penelitian dilakukan di area pertambangan batubara, Tanjung Selor, Kalimantan Utara. Kajian penelitian terhadap material fly ash menunjukkan bahwa humidity berbanding lurus dengan water content dan humidity berbanding terbalik dengan suhu. Suhu fly ash semakin tinggi maka humidity semakin rendah dan suhu fly ash semakin rendah maka humidity semakin tinggi. Nilai humidity dipengaruhi oleh perubahan suhu dan lokasi pengujian dan nilai water content dipengaruhi oleh nilai humidity. Data lapangan menampilkan bahwa pada rentang suhu fly ash: 32°C - 36°C, nilai humidity adalah 80% - 87%. Data laboratorium menampilkan bahwa pada rentang suhu fly ash: 27°C - 31°C, nilai humidity adalah 83% - 89%.*

*Kata kunci: fly ash; humidity; suhu; water content*

## 1. PENDAHULUAN

Kalimantan Utara sebagai salah satu daerah penghasil batubara dan sebagai pengguna aktif bahan bakar tersebut menghasilkan limbah buangan dengan jumlah besar. *Fly ash* dan *bottom ash* (FABA) atau abu batubara merupakan hasil pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan yang telah ditetapkan bukan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) karena *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) tidak memenuhi karakteristik limbah B3 (Yemima et al, 2023). Pemanfaatan ulang material *fly ash* dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari PLTU batubara, dengan cara mengurangi volume limbah yang harus dibuang dan menggunakan kembali material sebagai bahan baku campuran. (Kementerian ESDM, 2021).

Penelitian sebelumnya untuk pemanfaatan *fly ash* sebagai material konstruksi telah dilakukan diantaranya untuk; lataston (Gazalie et al., 2023), batu bata ringan (Yemima et al., 2023; Haryanti, 2017; Indriyati et al., 2019), dan beton (Philip et al., 2015).

*Humidity test* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur atau menentukan kelembapan suatu bahan atau material. *Humidity test* dilakukan terhadap material *fly ash* di lokasi tempat penyimpanan *fly ash* (*stockpile*) untuk

mendapatkan kondisi aktual *humidity* dari *fly ash*. Selain pengujian di lapangan, *humidity test* terhadap *fly ash* dapat juga dilakukan di laboratorium dengan kondisi *room temperature*.

Pemahaman terhadap parameter fisik dari *fly ash* sangat diperlukan agar pemanfaatan material ini dapat dioptimalkan (Bhatt et al., 2019). Parameter fisik yang dimaksud antara lain adalah *humidity* dan *water content* atau kadar air (Das, 2010; Holtz dan Kovacs, 1981). Menurut Oderji et al. (2017), kelembapan relatif (RH) selama *curing* berpengaruh signifikan terhadap performa geopolimer berbasis *fly ash* dimana pada suhu *curing* 75 °C, kekuatan mekanik optimal (tekan dan lentur) dicapai pada RH 70%, dan mikrostruktur terbaik terbentuk pada kondisi ini, yang menunjukkan reaksi geopolimerisasi yang lebih lengkap. Kusuma et al. (2017) menjelaskan dari hasil pengujian diperoleh tanah yang di stabilisasi dengan *fly ash* pada variasi kadar air 0%, 10%, 20%, dan 30%, menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung, dan menurunkan batas plastis, batas cair tanah serta nilai berat jenis tanah. Nugraha (2023) menyatakan bahwa kondisi kadar air inisial suatu tanah vulkanik akan mempengaruhi *density* dari tanah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa parameter fisik yaitu *humidity* pada suatu rentang perubahan suhu serta hubungannya dengan kadar air *fly ash* baik di area *stockpile* maupun pada kondisi *room temperature* di laboratorium

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah analisa berdasarkan data-data hasil esperimental. Seluruh pengujian dilakukan di laboratorium yang terletak di area pertambangan batu bara, Tanjung Selor, Kalimantan Utara.

### Lokasi Pengambilan Sampel Uji *Fly Ash*

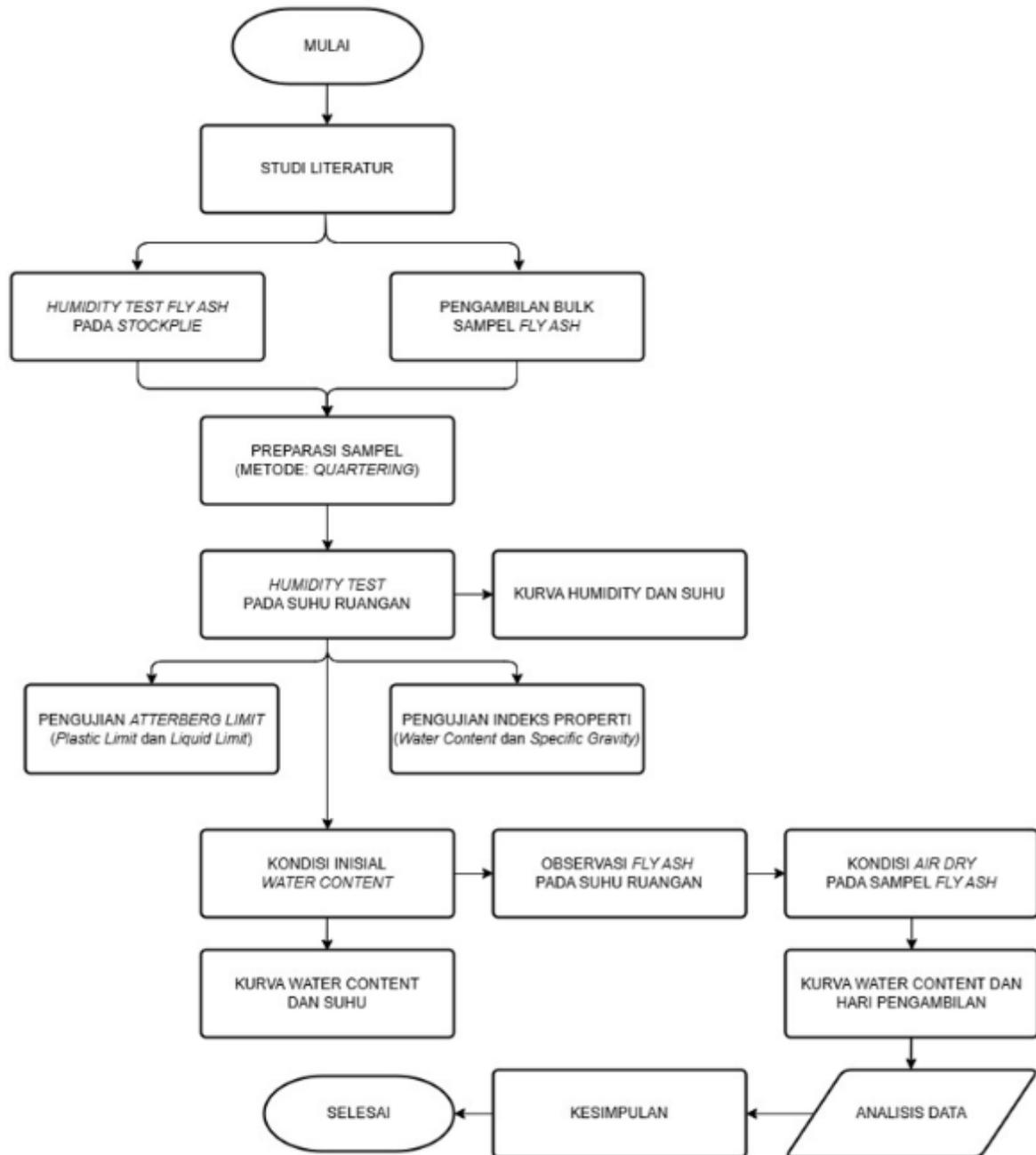
Material yang dijadikan sampel uji pada penelitian ini adalah *fly ash* dimana lokasi pengambilan sampel uji tampak pada Gambar 1. Di lapangan *fly ash* terkumpul pada suatu lokasi yang disebut sebagai *stockpile*. Terdapat 10 lokasi *stockpile* untuk *fly ash* di area penelitian.



Gambar 1. Lokasi *Stockpile Fly Ash* (<https://earth.google.com>)

### Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian tampak pada Gambar 2. Bagan tersebut merupakan rangkaian kegiatan yang dimulai dari aktivitas di lapangan hingga aktivitas di laboratorium untuk mendapatkan hasil dari keseluruhan kegiatan penelitian yang akan dilakukan



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### ***Humidity Test***

*Humidity test* (uji kelembapan) terhadap *fly ash* dilaksanakan di lapangan dan di laboratorium. Alat yang digunakan untuk *humidity test* adalah tipe Model AS847 seperti tampak pada Gambar 3. Pada layar LCD alat uji tersebut akan memberikan informasi perihal nilai *humidity* dan suhu.

Diagram descriptions:

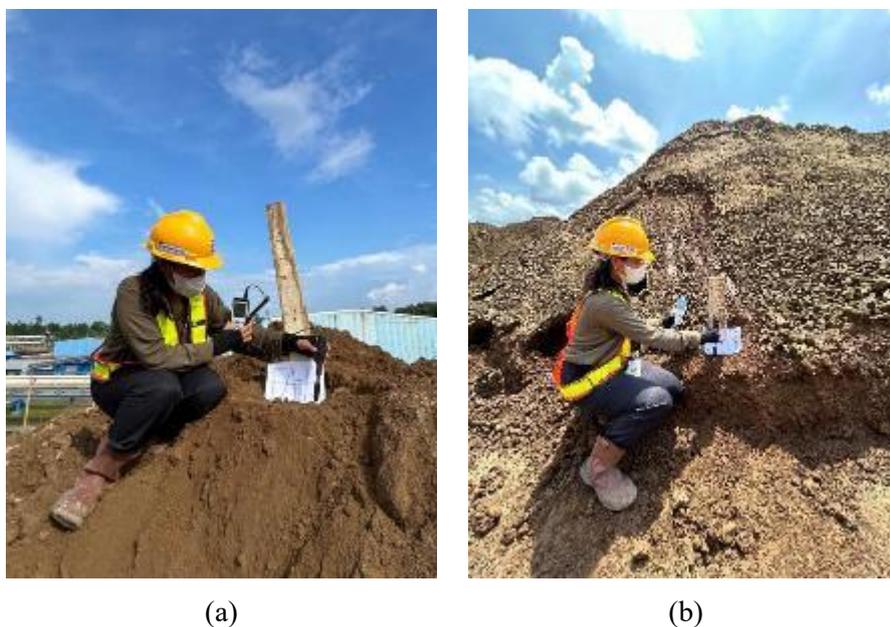
- 1) LCD
- 2) ON/OFF button
- 3) Temperature switch and LED on/off button
- 4) Temperature maximum/minimum measuring button
- 5) Humidity maximum/minimum measuring button
- 6) Temperature data hold button
- 7) Humidity data hold button
- 8) Humidity & temperature sensor
- 9) K-type



Gambar 3. Alat *Humidity Test*

### ***Humidity Test* di Lapangan**

Rentang waktu pengambilan *humidity* lapangan dimulai pukul 10.30 WITA – 15.40 WITA dengan kondisi cuaca cerah tanpa adanya catatan hujan pada hari pengambilan *humidity test*. Tata cara pelaksanaan *humidity test* di lapangan terhadap material *fly ash* yang tampak pada Gambar 4. Persiapan lokasi titik pengujian yang menjadi tempat acuan dilakukan *humidity test* berada pada lokasi yang akan menjadi tempat pengambilan sampel.



Gambar 4. *Humidity Test* pada Stockpile (a) FA-H (b) FA-B

Prosedur *humidity test* lapangan dilakukan dengan menempatkan sensor *humidity* pada titik dari lokasi *fly ash* yang akan di tinjau. Karena proses *humidity test* dilakukan dilapangan cenderung memiliki suhu yang berubah-ubah sehingga untuk mendapatkan hasil *humidity* diperlukan waktu untuk mencapai kondisi yang stabil. Perubahan suhu pada lapangan mempengaruhi nilai *humidity*. Semakin tinggi suhu di lokasi *stockpile* nilai *humidity* lapangan mengalami penurunan.

### Humidity Test di Laboratorium

Langkah-langkah pengujian *humidity test* di laboratorium adalah sebagai berikut:

1. *Penyiapan Bulk Sample Fly Ash*

Salah satu *bulk sample fly ash* yang diambil dari *stockpile* tampak pada Gambar 5. Pengambilan sampel dilakukan secara hati-hati dengan memasukkan sampel ke dalam plastik yang kemudian ditutup rapat agar tidak terjadi evaporasi yang akan berdampak terhadap inisial *water content*. *Bulk sample fly ash* dari *stockpile* dipindahkan ke laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan terkait dengan penelitian skala laboratorium.



Gambar 5. *Bulk Sample Fly Ash*



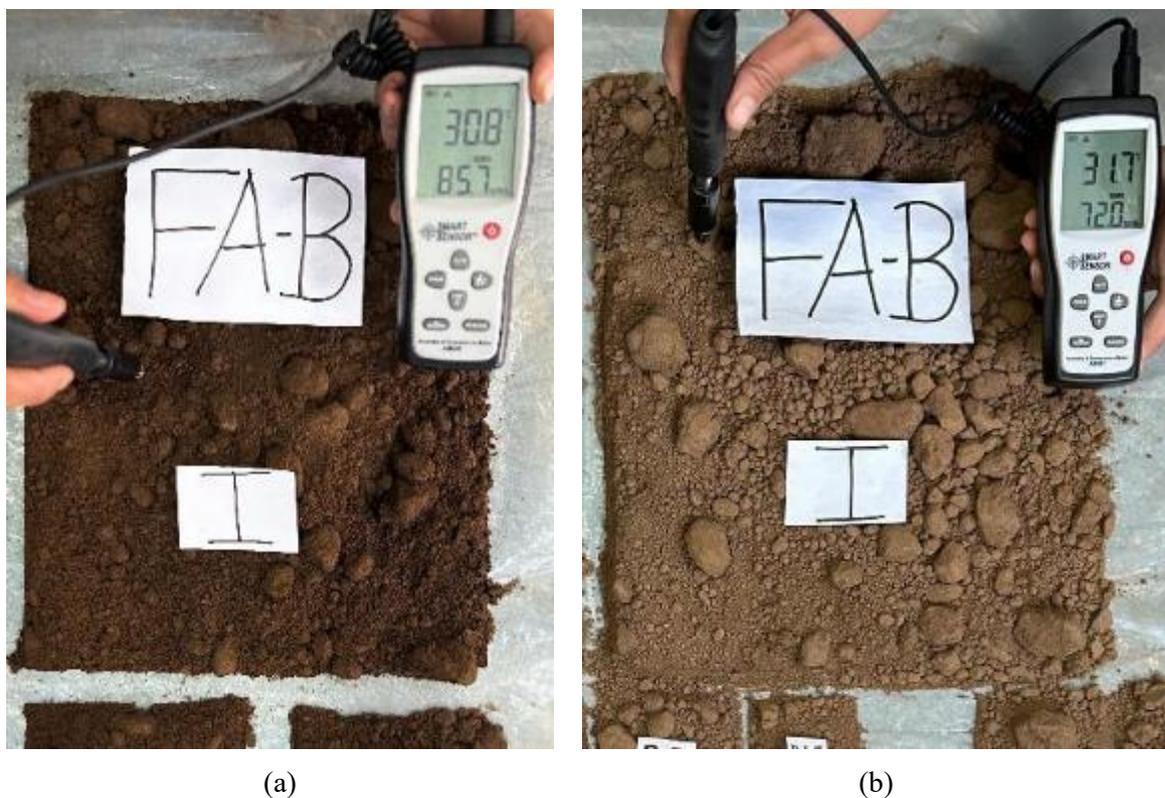
Gambar 6. Metode *Quartering* Sampel *Fly Ash*

## 2. Proses *Quartering*

Proses *quartering* (Nugraha, 2021; Nugraha et al., 2023) dilakukan terhadap setiap sampel uji dengan tujuan untuk mendapatkan sampel yang representatif. Mekanisme dari proses *quartering* tampak pada Gambar 6. Proses dilakukan *quartering* dilakukan untuk setiap sampel uji, oleh karena itu diperlukan pengamatan luas/area laboratorium yang akan digunakan sebagai lokasi proses *quartering*. Penerapan metode *quartering* dilakukan juga untuk efisiensi pengambilan sampel yang akan digunakan sebagai bahan penelitian.

## 3. Proses *Humidity Test* di Laboratorium

Tata cara pelaksanaan *humidity test* di laboratorium terhadap material *fly ash* tampak pada Gambar 7. Proses pengecekan *humidity* laboratorium memiliki prosedur yang sama dengan prosedur *humidity* lapangan dengan posisi vertikal dan bagian sensor alat mengarah pada sampel *fly ash* hingga berada pada permukaan sampel lalu dilakukan proses pengecekan *humidity* hingga pada LCD menampilkan data dari nilai RH dan suhu yang sudah konstan atau stabil lalu diambil nilai tersebut sebagai data. Kemudian dilakukan hal yang sama hingga didapatkan 4 titik dari nilai *humidity* untuk mendapatkan keakuratan nilai RH.



Gambar 7. *Humidity Test* di Laboratorium

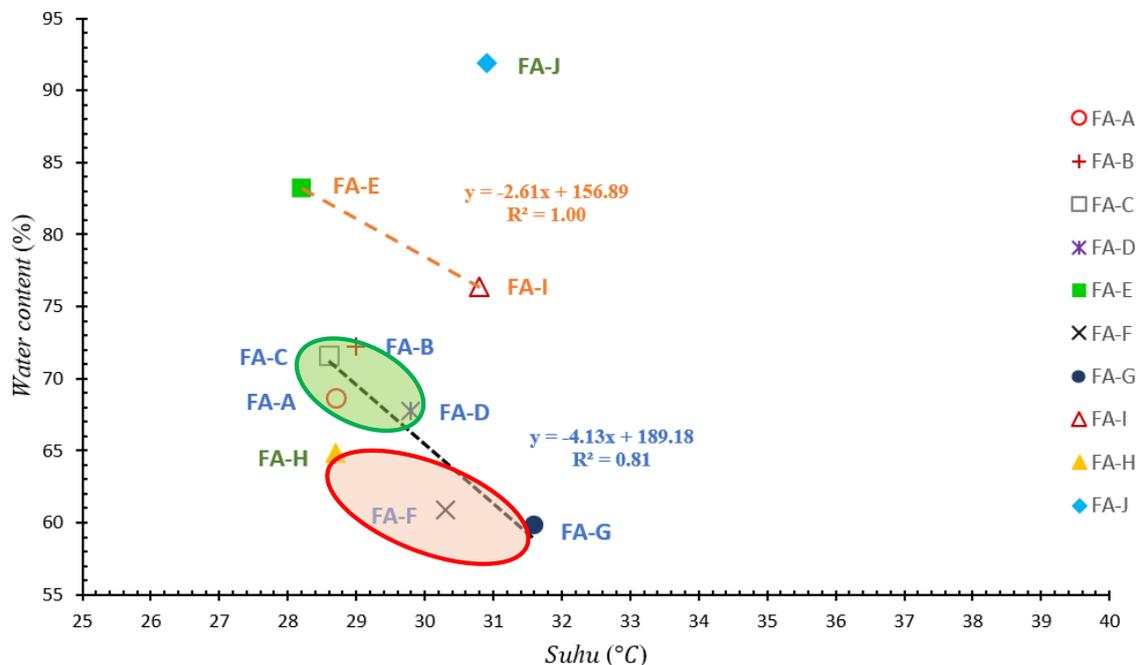
Pengambilan *water content* (ASTM, 1988) untuk sampel *fly ash* menggunakan metode pemanasan dengan oven selama  $\pm 24$  jam untuk mendapatkan nilai perubahan massa yang akan menentukan kadar airnya. Pengambilan siklus pengecekan *humidity test* dan pengambilan *water content* dilakukan pada hari pengambilan yang telah ditetapkan yaitu pada hari Senin, Rabu, dan Jumat. Tujuannya untuk memperoleh nilai *water content* dan *humidity* yang akurat. *Water content test* tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Water Content Test

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva *water content* inisial – suhu pada Gambar 9 merupakan hasil dari *water content* inisial pada saat sampel *fly ash* tiba di laboratorium dalam bentuk *bulk sample* yang telah melewati proses *quartering* yang tampak pada Gambar 6 dan segera dilakukan pengujian *water content* untuk kondisi inisial pada skala laboratorium. Pengecekan *humidity* lapangan yang tampak pada Gambar 4 menjelaskan bahwa adanya diambil nilai *humidity* lapangan. Kondisi *water content* lapangan adalah kondisi inisial *water content fly ash* di laboratorium. Sehingga nilai *water content* antara skala lapangan dan skala laboratorium memiliki nilai yang sama namun memiliki nilai *humidity* yang berbeda yang dipengaruhi oleh nilai perbedaan suhu. Oleh karena itu, suhu mempengaruhi nilai *humidity* namun suhu tidak mempengaruhi nilai *water content*.



Gambar 9. Kurva *Water Content* Inisial – Suhu

Berdasarkan titik pengambilan sampel uji untuk FA-A, FA-B, FA-C, dan FA-D memiliki lokasi yang berdekatan sehingga memiliki suatu rumpun *water content* yang sama pada kisaran 67% - 72%. Sama halnya dengan FA-F, FA-G, dan FA-H memiliki suatu rumpun *water content* yang sama pada kisaran 60% - 65%. Untuk FA-E, FA-I, dan FA-J memiliki nilai *water content* yang lebih tinggi yaitu diatas 76% hingga mencapai 92%. Kondisi tersebut dipengaruhi

oleh lokasi pengambilan sampel uji *fly ash* karena untuk FA-E, FA-I, dan FA-J memiliki lokasi yang berbeda dengan lokasi sampel lainnya. Perbedaan kisaran *water content* tersebut dipengaruhi oleh lokasi pengambilan sampel yang memiliki rumpun yang sama tampak pada Gambar 10.

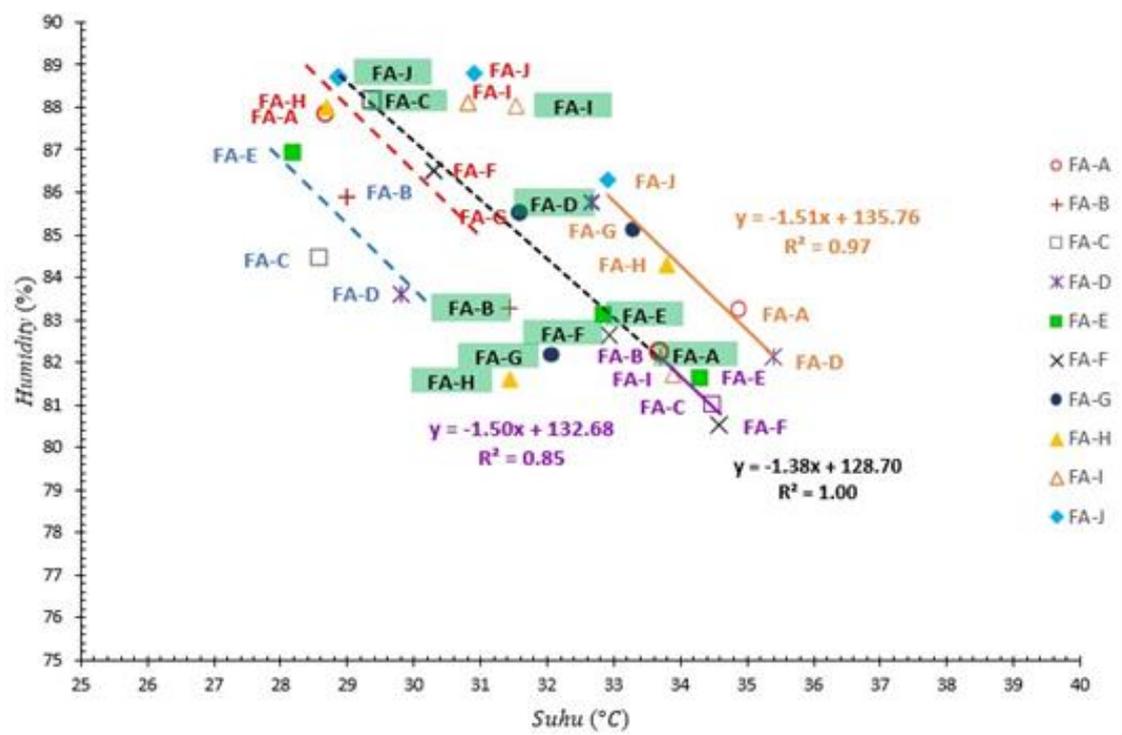


Gambar 10. *Stockpile*

Hasil pengujian *humidity test* di lapangan (*stockpile fly ash*) dan di laboratorium tampak pada Gambar 11. *Humidity test* di lapangan menghasilkan dua tren kurva (garis ungu dan orange). Nilai *humidity* untuk tren kurva kesatu (garis ungu) memiliki rentang 80% - 83%. Nilai *humidity* untuk tren kurva kedua (garis orange) memiliki rentang 83% - 87%. Data lapangan menampilkan bahwa pada rentang suhu yang sama yaitu 32°C - 36°C, *fly ash* memiliki nilai *humidity* yang berbeda. Selisih nilai *humidity* untuk kedua kurva adalah sebesar 4%.

*Humidity test* di laboratorium menghasilkan dua tren kurva (garis biru dan merah). Nilai *humidity* untuk tren kurva kesatu (garis biru) memiliki rentang 83% - 87%. Nilai *humidity* untuk tren kurva kedua (garis merah) memiliki rentang 85% - 89%. Data laboratorium menampilkan bahwa pada rentang suhu yang sama yaitu 27°C - 31°C, *fly ash* memiliki nilai *humidity* yang berbeda. Selisih nilai *humidity* untuk kedua kurva adalah sebesar 2%.

*Humidity test* di lapangan dan di laboratorium memiliki nilai suhu yang berbeda karena perbedaan lokasi *humidity*. Berdasarkan pengujian pada kedua lokasi tersebut menghasilkan suatu pola yang sama tampak pada arsiran biru untuk *humidity test* di laboratorium dan arsiran orange untuk *humidity test* di lapangan. Sehingga dari pola tersebut menciptakan suatu tren garis hitam pada kurva yang menjadi acuan untuk nilai *humidity* dan suhu baik untuk lapangan maupun laboratorium. Kurva rata-rata untuk hubungan antara nilai *humidity* dan suhu *fly ash* (garis hitam) yang menunjukkan bahwa suhu *fly ash* semakin tinggi maka *humidity* semakin rendah.



Gambar 11. Kurva Humidity - Suhu

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada material *fly ash* diperoleh bahwa *humidity* berbanding lurus dengan *water content* dan *humidity* berbanding terbalik dengan suhu. Suhu *fly ash* semakin tinggi maka *humidity* semakin rendah dan suhu *fly ash* semakin rendah maka *humidity* semakin tinggi. Nilai *humidity* dipengaruhi oleh perubahan suhu dan lokasi pengujian dan nilai *water content* dipengaruhi oleh nilai *humidity*. Data lapangan menampilkan bahwa pada rentang suhu *fly ash*: 32°C - 36°C, nilai *humidity* adalah 80% - 87%. Data laboratorium menampilkan bahwa pada rentang suhu *fly ash*: 27°C - 31°C, nilai *humidity* adalah 83% - 89%.

##### Saran

Berdasarkan hubungan antara suhu, *humidity*, dan *water content* yang diperoleh dari penelitian ini, disarankan agar melakukan kajian lanjutan terhadap pengaruh ukuran butir *fly ash* (ASTM, 2002).

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing Materials. (1998). *Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass* (ASTM D 2216-98). <https://store.astm.org/d2216-98.html>
- American Society for Testing Materials. (2002). *Standard test methods for particle-size analysis of soils* (ASTM D422-02). <https://store.astm.org/standards/d422>
- Bhatt, A., Priyadarsini, S., Mohanakrishnan, A. A., Abri, A., Sattler, M., & Techapaphawit, S. (2019). Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00263. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263>
- Das, B.M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*, 7th Ed., Cengage Learning, Stamford, USA.
- Gazalie, R., Fauzi, M., Hawinuti, R., & Helmi, M. (2023). Pemanfaatan limbah abu batu bara sebagai filler pada lataston lapis aus (HRS-WC). *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 7(1), 71-85.
- Yemima, A. G. M. P., Abdi, F. N., & Haryanto, B. (2023). Pemanfaatan limbah fly ash untuk bahan tambah pembuatan batu bata ringan. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 7(2), 56-61.
- Haryanti, N. H. (2017). Uji abu terbang PLTU asam asam sebagai bahan pembuatan bata ringan. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 11(2), 127-137.
- Holtz, R.D. dan Kovacs, W.D. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall. New Jersey. USA.

- 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. S. (2023). Efek kondisi inisial kadar air terhadap kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum pada tanah butir halus terkompaksi. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(1), 470. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11660>
- Nugraha, A. S., Rahardjo, P. P., & Sadisun, I. A. (2023). Comparison of the Number of Compactor Passes and the Constrained Modulus of a Compacted Volcanic Soil. *Journal of Mechanical, Civil and Industrial Engineering*, 4(1), 17-27. <https://doi.org/10.32996/jmcie.2023.4.1.3>
- Nugraha, A. S., (2021). *Studi laboratorium kompaksi statik dan dinamik dan uji kompaksi di lapangan dengan energi terukur pada tanah vulkanik di Jawa Barat*. [Disertasi Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan].
- Oderji, S. Y., Chen, B., & Jaffar, S. T. A. (2017). Effects of relative humidity on the properties of fly ash-based geopolymers. *Construction and Building Materials*, 153, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.121>
- 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>
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Utomo, A. P. (2017). Stabilisasi tanah menggunakan fly ash terhadap nilai kuat tekan bebas berdasarkan variasi kadar air optimum (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 1-10.