JOICHE
Journal of Industrial Process and Chemical Engineering
Jurnal homepage : ejurnal.itats.ac.id/JOICHE

Pengaruh Bentuk Debu Terhadap *Minimum Ignition Energy* (MIE) Pada Debu Serbuk Kayu

Septian Dwi Cahyo [1],Santi[1], dan Kartika Udyani[1]
[1]Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
19 – 25

Tanggal penyerahan:
02 November 2025

Tanggal diterima:
02 November 2025

Tanggal terbit:
25 Desember 2025

EMAIL

kudyani@itats.ac.id
1 **corresponding author***

ABSTRACT

Dust explosion is a serious threat in industries that involve the processing and storage of powdery materials, such as flour, sugar, wood, and so on. The aim of this study was to determine the effect of dust shape on MIE. Irregular and spherical wood dust was dried for 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours and then tested for moisture content. Samples dried for 1 hour had a moisture content of about 13%. Samples dried for 2 hours have a moisture content of about 9%. The sample dried for 3 hours has a moisture content of about 7%. The sample dried for 4 hours has a moisture content of about 6.5%. Samples dried for 5 hours have a moisture content of about 6%. After knowing the water content, each sample is weighed as much as 1 gram; 1.25 grams; 1.5 grams; 1.75 grams; 2 grams and then tested using a Dust Explosion tool. Irregular samples have the highest MIE value of 6.3801 mJ and the smallest of 1.3936 mJ. Spherical samples have the highest MIE value of 7.7079 mJ and the smallest of 1.3951 mJ. The highest MIE value is at a concentration of 1 g/L and the smallest at a concentration of 2 g/L.

Keywords: *Dust Explosion, Wood Powder, Minimum Ignition Energy.*

ABSTRAK

Ledakan debu (dust explosion) adalah ancaman serius dalam industri yang melibatkan pengolahan dan penyimpanan bahan-bahan serbuk, seperti tepung, gula, kayu, dan sebagainya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk debu terhadap MIE. Debu serbuk kayu yang berbentuk irreguler dan spherical keringkan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam kemudian diuji kadar airnya. Sampel yang dikeringkan selama 1 jam memiliki kadar air sekitar 13%. Sampel yang dikeringkan selama 2 jam memiliki kadar air sekitar 9%. Sampel yang dikeringkan selama 3 jam memiliki kadar air sekitar 7%. Sampel yang dikeringkan selama 4 jam memiliki kadar air sekitar 6,5 %. Sampel yang dikeringkan selama 5 jam memiliki kadar air sekitar 6 %. Setelah diketahui kadar airnya kemudian masing-masing sampel ditimbang sebanyak 1 gram; 1,25 gram; 1,5 gram; 1,75 gram; 2 gram kemudian diuji menggunakan alat Dust Explosion. Sampel Irregular memiliki nilai MIE tertinggi sebesar 6,3801 mJ dan terkecil sebesar 1,3936 mJ. Sampel spherical memiliki nilai MIE tertinggi sebesar 7,7079 mJ dan terkecil sebesar 1,3951 mJ. Nilai MIE tertinggi ada pada konsentrasi 1 g/L dan terkecil pada konsentrasi 2 g/L.

Kata kunci: *Dust Explosion, Serbuk Kayu, Minimum Ignition Energy.*

PENDAHULUAN

Dalam industri modern, penggunaan berbagai jenis bahan seringkali melibatkan pengolahan dan pengangkutan bahan yang dapat menghasilkan partikel debu. Debu ini bisa berasal dari berbagai sumber, seperti proses manufaktur, pertanian, dan konstruksi. Meskipun debu mungkin terlihat sepele, mereka dapat menjadi bahaya serius ketika terjadi ledakan debu. Ledakan

debu adalah peristiwa yang sangat merusak dan berpotensi mematikan yang dapat terjadi ketika partikel debu yang mengudara mencapai konsentrasi yang melebihi batas keamanan. Ledakan debu dapat terjadi di berbagai lingkungan, termasuk pabrik, gudang, dan pertambangan, dan dapat memiliki dampak yang merusak pada kehidupan manusia dan properti [1].

Peneliti [2] mengeksplorasi peran morfologi partikel terhadap MIE dengan memisahkan morfologi dengan parameter lain seperti ukuran, komposisi kimia, dan lain-lain dan menyimpulkan bahwa partikel berbentuk tidak beraturan memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap penyalaan (MIE yang lebih rendah) dibandingkan partikel berbentuk bola karena ketahanan panas yang lebih rendah (luas permukaan spesifik yang lebih tinggi; angka Biot yang lebih rendah). Berdasarkan penelitian ini, ada banyak bukti bahwa morfologi memang mempengaruhi parameter ledakan debu, dan alasan mendasarnya adalah luas permukaan spesifik yang mempengaruhi sifat perpindahan panas partikel. Namun, bukan hanya aspek perpindahan panas yang memainkan peran penting, tetapi juga dinamika fluida dari awan yang terdispersi.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengaruh bentuk debu terhadap *minimum ignition energy* (MIE) pada debu serbuk kayu. Penelitian baru ini diharapkan mampu memberikan informasi dan referensi pengaruh bentuk debu terhadap *minimum ignition energy* (MIE) pada debu serbuk kayu.

TINJAUAN PUSTAKA

Ledakan Debu

Ledakan debu, atau yang lebih dikenal sebagai "dust explosion," adalah kejadian berbahaya yang terjadi ketika partikel debu padat tersuspensi di udara mengalami suatu reaksi yang melepaskan energi dalam bentuk panas dan tekanan yang tinggi. Kejadian ini seringkali terjadi di berbagai jenis industri yang melibatkan proses pengolahan dan produksi bubuk atau serbuk padat, seperti industri kayu, makanan, farmasi, dan pertambangan. Debu dari bahan-bahan seperti tepung, gula, kayu, atau logam dapat menjadi bahan bakar potensial dalam ledakan debu. Ketika debu ini bercampur dengan udara dalam proporsi yang tepat dan terjadi sumber panas atau api, hasilnya dapat menjadi ledakan yang sangat merusak, membahayakan pekerja, serta merusak fasilitas dan peralatan [3]. Oleh karena itu, pemahaman dan manajemen risiko ledakan debu sangat penting dalam industri. Risiko ledakan debu dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk konsentrasi debu, sifat kimia debu, suhu, tekanan, dan kelembaban. Untuk mengurangi risiko ledakan debu, ada berbagai strategi pencegahan dan pengendalian yang dapat digunakan, seperti penggunaan sistem isolasi, ventilasi yang baik, dan penggunaan peralatan anti ledakan [4].

Minimum Ignition Energy

Minimum Ignition Energy (MIE) adalah jumlah energi listrik minimum yang diperlukan untuk membuat campuran gas atau uap dalam kondisi tertentu menjadi terbakar atau meledak saat terpapar dengan sumber api atau percikan listrik. Dalam konteks ledakan debu, MIE merujuk pada energi minimum yang dibutuhkan untuk menyulut debu atau serbuk dan menciptakan kondisi pembakaran. Energi penyalaan minimum diukur menggunakan tabung Hartmann 1,2 L yang dimodifikasi sesuai dengan Standar EN ISO/IEC 80079-20-2 (British Standards Institution, 2016). Peralatan yang digunakan terdiri dari tabung Hartmann, unit tegangan tinggi, unit difusi debu, dan sebagainya. Reaksi pembakaran terjadi di dalam tabung hartmann dengan volume 1,2 L. Debu diangkat oleh udara terkompresi di unit difusi debu dan mengisi tabung hartmann. Percikan listrik yang dihasilkan oleh pelepasan elektroda di unit tegangan tinggi menyulut debu [5].

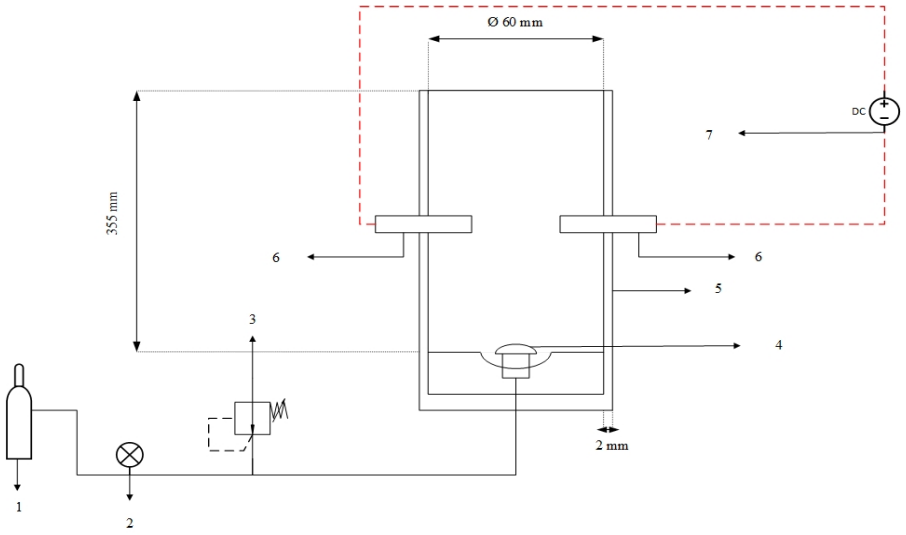
Moisture

Sebagai jenis media inert, kelembapan memiliki kemampuan untuk memberikan pengaruh fisik selama proses penghambatan ledakan debu. Eksperimen menunjukkan bahwa kadar air yang lebih tinggi menyebabkan penurunan tekanan yang lebih besar, serta efek penghambatan yang lebih kuat pada ledakan debu. Pada dasarnya, dampak kelembapan pada ledakan debu dapat dikaitkan dengan empat aspek, yaitu ekstraksi panas, pengenceran oksigen, efek penghambatan, dan aglomerasi partikel. Pertama, uap air dapat menyerap panas secara langsung dari lingkungan sekitar, serta mengkonsumsi panas selama perubahan fase dari cair menjadi uap. Selain itu, jika debu dalam kondisi lembab dinyalakan, maka panas pertama kali digunakan untuk menguapkan uap air di dalam debu, sebelum kemudian dialokasikan untuk proses pembakaran. Kedua, perubahan fase uap air menghasilkan uap air, yang melarutkan udara dan menyebabkan penurunan

fraksi mol oksigen. Ketiga, uap kelembaban dan air menghalangi difusi oksigen ke dalam zona pembakaran dan menghambat perambatan api ke zona yang tidak terbakar. Lebih jauh lagi, kemungkinan terjadinya aglomerasi debu meningkat dengan adanya uap air dalam celah partikel yang berfungsi sebagai perekat [6].

METODE

Alat dan Bahan Penelitian



Gambar 1. Peralatan Penentuan *Minimum Ignition Energy*.

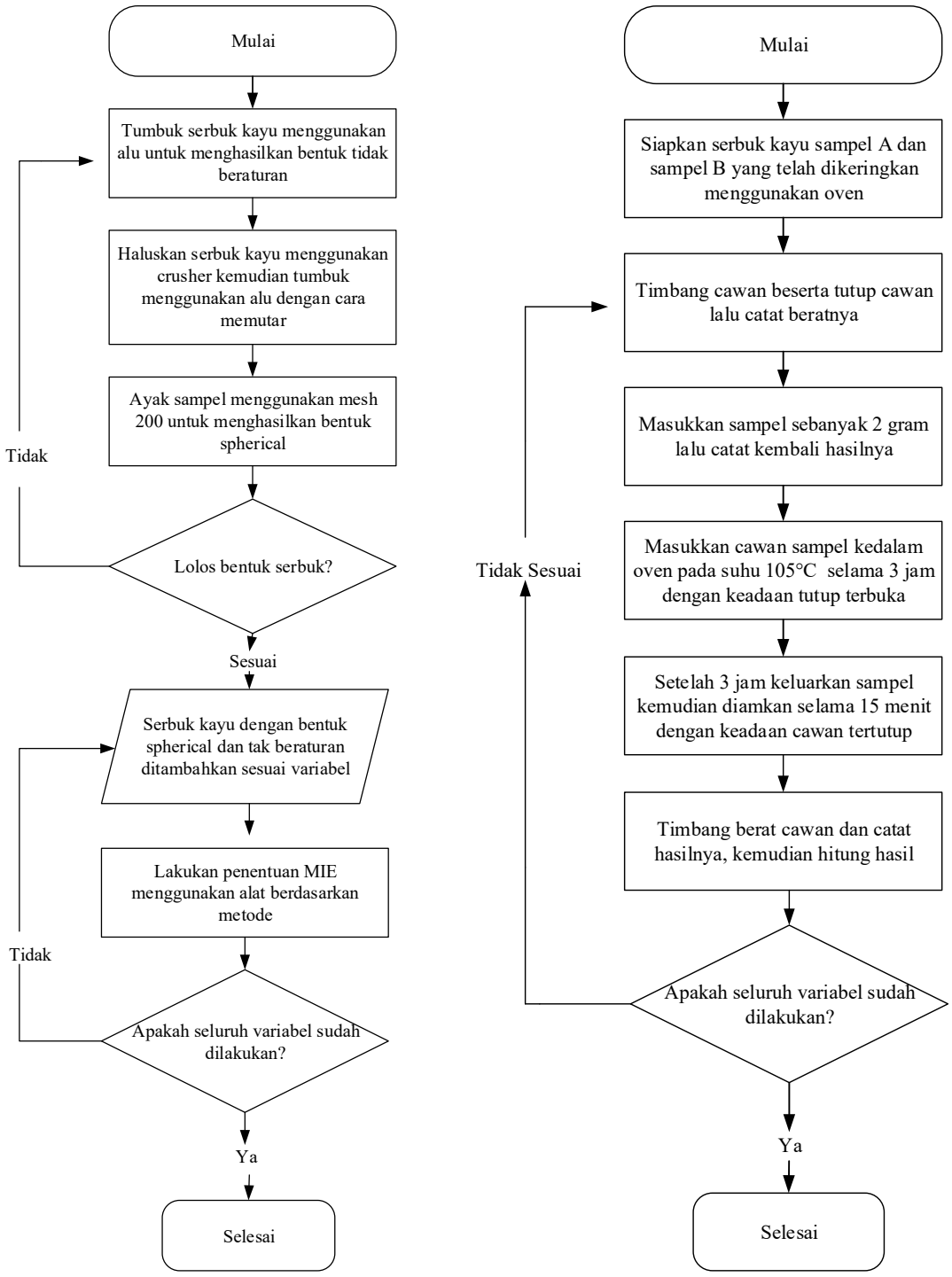
Keterangan:

1. Kompresor angin
2. *Pressure Gauge*
3. Solenoid *valve*
4. Wadah sampel
5. *Chamber*
6. Elektroda
7. Sumber listrik DC

Bahan yang digunakan yaitu serbuk kayu dari limbah penggergajian kayu.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan kondisi operasi kapasitansi 2,35 – 112,5 µF dan tegangan 15000 V. Variasi penelitian yang digunakan pada penelitian adalah morfologi bentuk debu aadalah Spherical dan tidak beraturan. Konsentrasi debu yang digunakan adalah 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 g/L.



Gambar 2. a) Diagram alir penentuan MIE; b) Diagram alir penentuan kadar air

Minimum Ignition Energy (MIE) dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 :

$$\log MIE = \log E2 - N1 \times \frac{\log E2 - \log E1}{N + 1} \quad (1)$$

Dengan:

MIE : *Minimum Ignition Energy* (mJ)
E_2 : Nilai energi terendah terjadi penyalaan
E_1 : Nilai energi tertinggi tidak terjadi penyalaan
N : Jumlah percobaan yang dilakukan di E_2
N_1 : Jumlah percobaan yang terjadi penyalaan di E_2

Rumus penentuan energi dari voltas: (European Standart 13821, 2002)

$$E = 0{,}5\ C\ U^2 \quad (2)$$

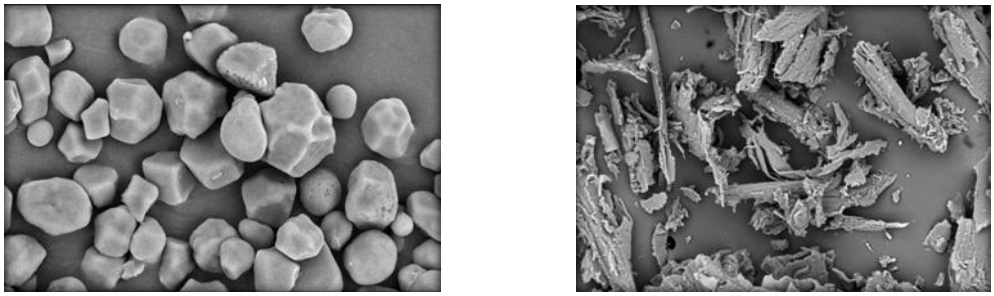
Dengan:

E : *Energy* (J)
U : Voltase (Volt)
C : Kapasitansi (F)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa *Scan Electro Microscopy*

Tujuan dari analisis SEM ini adalah untuk mengetahui morfologi permukaan dari debu serbuk kayu yang diuji. Melalui analisa ini, dapat diperoleh informasi mengenai bentuk partikel pada masing-masing sampel serbuk kayu, yang sangat penting untuk memahami bagaimana faktor-faktor ini dapat mempengaruhi *Minimum Ignition Energy* (MIE).



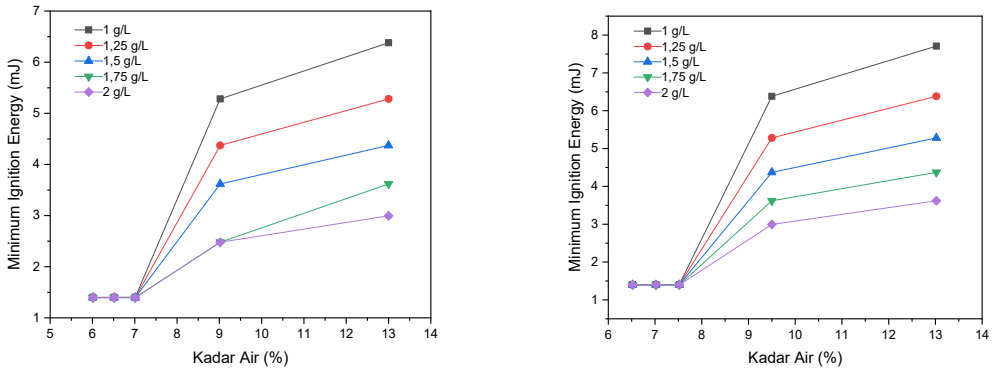
(a) (b)

Gambar 3. Hasil analisa SEM serbuk kayu berbentuk *spherical* (a) dan *irregular* (b)

Kedua serbuk kayu ini dianalisa menggunakan analisa SEM untuk mengetahui bentuk spesifik dari masing-masing sampel dengan pembesaran 4400 magnitudo. Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa sampel serbuk kayu yang dilakukan dengan pre-treatment dengan cara ditumbuk terlebih dahulu dapat menghasilkan serbuk kayu yang berbentuk spherical. Dengan demikian, perbedaan morfologi pada kedua sampel telah sesuai dengan kriteria penelitian ini.

Pengaruh Kadar Air Debu Serbuk Kayu Terhadap MIE

Kadar air dalam serbuk kayu berperan penting dalam menentukan karakteristik penyalaan dan energi minimum yang dibutuhkan untuk memicu pembakaran, atau yang dikenal sebagai *Minimum Ignition Energy* (MIE). Kadar air dapat mempengaruhi penyalaan, karena air harus menguap terlebih dahulu sebelum pembakaran dapat dimulai, sehingga energi yang dibutuhkan untuk ignisi meningkat.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kadar Air Terhadap MIE Pada Serbuk Kayu *Irregular* (a) dan *Spherical* (b)

Berdasarkan **Gambar 4** dapat dilihat perbedaan kadar air mempengaruhi proses pembakaran serbuk kayu. Sampel irregular yang dikeringkan selama 1 jam dengan kadar air sebesar 13% membutuhkan energi minimal sebesar 11,25 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 6,3801 mJ dan terendah yaitu 2,9950 mJ. Sampel Spherical yang dikeringkan selama 1 jam dengan kadar air sebesar 13,02% membutuhkan energi minimal sebesar 11,25 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 7,7079 mJ dan terendah yaitu 3,6183 mJ.

Sampel irregular yang dikeringkan selama 2 jam dengan kadar air sebesar 9,02% membutuhkan energi minimal sebesar 11,25 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 5,2811 mJ dan terendah yaitu 2,4791 mJ. Sampel Spherical yang dikeringkan selama 2 jam dengan kadar air sebesar 9,50% membutuhkan energi minimal sebesar 11,25 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 6,3801 mJ dan terendah yaitu 2,9950 mJ.

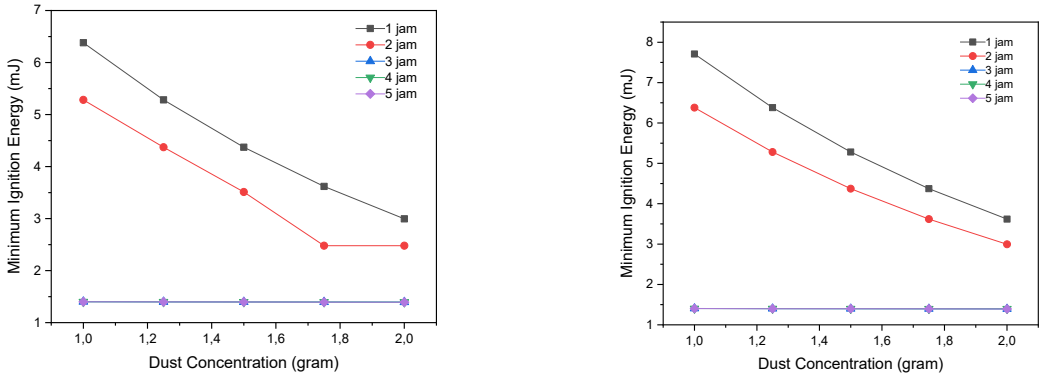
Sampel irregular yang dikeringkan selama 3 jam dengan kadar air sebesar 7,01% membutuhkan energi minimal sebesar 1,406 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4028 mJ dan terendah yaitu 1,3936 mJ. Sampel Spherical yang dikeringkan selama 3 jam dengan kadar air sebesar 7,52% membutuhkan energi minimal sebesar 1,406 mJ untuk dapat menyala, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4044 mJ dan terendah yaitu 1,3951 mJ.

Sampel irregular yang dikeringkan selama 4 jam dengan kadar air sebesar 6,51%, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4013 mJ dan terendah yaitu 1,3951 mJ. Sampel Spherical yang dikeringkan selama 4 jam dengan kadar air sebesar 7,2%, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4028 mJ dan terendah yaitu 1,3967 mJ. Sampel irregular yang dikeringkan selama 5 jam dengan kadar air sebesar 6,01%, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4013 mJ dan terendah yaitu 1,3920 mJ. Sampel Spherical yang dikeringkan selama 5 jam dengan kadar air sebesar 6,52%, dengan nilai MIE tertinggi yaitu 1,4028 mJ dan terendah yaitu 1,3936 mJ.

Hasil kadar air yang lebih tinggi pada suatu sampel membutuhkan energi yang lebih besar untuk dapat terbakar. Kadar air yang lebih tinggi menghambat proses penyalaan, karena air dalam material kayu menyerap sejumlah besar energi panas sebelum mencapai titik pengapian [7]. Oleh karena itu, serbuk kayu dengan kadar air rendah lebih mudah menyala dibandingkan serbuk kayu dengan kadar air yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar air merupakan faktor krusial yang mempengaruhi MIE pada serbuk kayu, dan manajemen kadar air dapat menjadi langkah preventif dalam mengendalikan risiko penyalaan dan ledakan.

Pengaruh Konsentrasi Debu Serbuk Kayu Terhadap MIE

Selain morfologi serbuk kayu dan kadar air, salah satu faktor terjadinya pembakaran adalah konsentrasi serbuk kayu.



Gambar 5. Grafik Konsentrasi MIE Pada Serbuk Kayu *Irregular* (a) dan *Spherical* (b)

Dari **Gambar 5**, dapat diketahui bahwa semakin berat sampel yang diuji maka semakin mudah terjadi penyalaan api dan nilai MIE yang diperoleh juga semakin rendah. Semakin banyak massa yang digunakan, maka semakin banyak juga serbuk yang dapat terbakar sehingga nyala api yang terlihat juga lebih besar dibandingkan dengan massa yang lebih kecil. Serbuk kayu yang lebih berat memiliki lebih banyak material yang dapat terbakar. Jumlah serbuk yang lebih banyak menyebabkan lebih banyak energi dan gas panas yang dihasilkan selama pembakaran, sehingga menghasilkan api yang lebih besar. Selain itu, dengan jumlah yang lebih banyak, permukaan yang tersedia untuk bereaksi dengan oksigen juga meningkat, mempercepat reaksi dan menghasilkan api yang lebih besar. Hal ini sejalan dengan penelitian [8] yang menyebutkan bahwa massa yang lebih besar membuat reaksi pembakaran akan terjadi pada kondisi yang kaya akan oksigen sehingga pembakaran lebih mudah terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada dosen pembimbing penelitian Bu Kartika Udyani dan teman-teman mahasiswa Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya yang sangat berjasa dalam membantu dalam bentuk materil maupun non-material sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini Semakin rendah kadar air yang terkandung pada serbuk kayu, maka semakin rendah juga MIE yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi serbuk kayu yang digunakan, maka nilai MIE nya semakin kecil. Serbuk kayu yang memiliki bentuk irregular memiliki nilai MIE yang lebih rendah dibandingkan dengan serbuk kayu yang berbentuk spherical. Nilai MIE tertinggi pada serbuk kayu yang berbentuk irregular adalah 6,3801 mJ dan nilai terkecilnya adalah 1,3936 mJ. Nilai MIE tertinggi pada serbuk kayu berbentuk spherical adalah 7,7079 mJ dan nilai terkecilnya adalah 1,3951 mJ.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nurida Choirinisa Arfiyana, Evi Widowati, G. N. P. (2020). Analisis Potensi Bahaya Metal Dust Explosion Menggunakan Metode Fault Tree Analysis. *Higeia Journal of Public Health Research and Development*, *4*(4), 610–620.

[2] Bagaria, P., Prasad, S., Sun, J., Bellair, R., & Mashuga, C. (2019). Effect of particle morphology on dust minimum ignition energy. *Powder Technology*, *355*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.020

[3] Prasad, S., Schweizer, C., Bagaria, P., Kulatilaka, W. D., & Mashuga, C. V. (2021). Effect of particle morphology on dust cloud dynamics. *Powder Technology*, *379*, 89–95. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.10.058

[4] Zhang, H., Chen, X., Zhang, Y., Niu, Y., Yuan, B., Dai, H., & He, S. (2017). Effects of particle size on flame structures through corn starch dust explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *50*, 7–14. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.09.002

[5] Zheng, L., Yu, Y., Yang, J., Zhang, Q., & Jiang, J. (2021). Inhibiting effect of inhibitors on ignition sensitivity of wood dust. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *70*(January), 104391. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104391

[6] Zhang, J., Xu, P., Sun, L., Zhang, W., & Jin, J. (2018). Factors influencing and a statistical method for describing dust explosion parameters: A review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *56*, 386–401. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.09.005

[7] Sun, H., Pan, Y., Guan, J., Jiang, Y., Yao, J., Jiang, J., & Wang, Q. (2019). Thermal decomposition behaviors and dust explosion characteristics of nano-polystyrene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *135*(4), 2359–2366. https://doi.org/10.1007/s10973-018-7329-1

[8] Bu, Y., Yuan, C., Amyotte, P., Li, C., Cai, J., & Li, G. (2019). Ignition hazard of non-metallic dust clouds exposed to hotspots versus electrical sparks. *Journal of Hazardous Materials*, *365*