

## **Analisa Pengaruh Variasi Diameter *Bed Material* Pasir Silika pada *Fluidized Bed Combustion* Limbah Medis Terhadap Pergerakan Fluidisasi**

**I Made Panji Tirta Prakasa<sup>1)\*</sup>, I Nyoman Suprpta Winaya<sup>2)</sup>, I Ketut Gede Wirawan<sup>3)</sup>,  
I Wayan Arya Darma<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362  
Email: [tirta802@gmail.com](mailto:tirta802@gmail.com)

<sup>2),3),4)</sup> Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

Email: [ins.winaya@unud.ac.id](mailto:ins.winaya@unud.ac.id), [ikgwirawan@unud.ac.id](mailto:ikgwirawan@unud.ac.id), [aryadarma@unud.ac.id](mailto:aryadarma@unud.ac.id)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2022.v08.i02.p04>

### **Abstrak**

Pandemi *Covid-19* menyebabkan meningkatnya penggunaan layanan kesehatan yang sangat signifikan sehingga jumlah limbah medis yang dihasilkan akibat kegiatan ini cukup tinggi. Limbah medis termasuk ke dalam kategori limbah B3 yang harus ditangani dan dikelola dengan baik. Salah satu teknologi yang mampu mereduksi limbah tersebut yaitu insenerator jenis *Fluidized Bed Combustion* (FBC). Teknologi FBC ini menggunakan media pengaduk berupa pasir yang akan bercampur dengan bahan bakar dan dalam proses pembakarannya menggunakan temperature yang tinggi, namun dalam pembakaran tipe FBC ini memungkinkan terjadinya suatu aglomerasi di dalam reaktor. Salah satu yang menyebabkan terjadinya aglomerasi tersebut adalah pergerakan *bed material* dalam proses fluidisasi ini kurang maksimal. Oleh sebab itu, pada penelitian ini melakukan pengujian secara permodelan untuk mengetahui proses fluidisasi terhadap lonjakan *bed material* menggunakan *software Circulating Particle Fluids Dynamic* (CPFD) *Barracuda Virtual Reactor*. Dalam penelitian ini adapun variasi *bed material* yang digunakan adalah pasir silika dengan variasi diameter  $D_A$  (0,2 mm),  $D_B$  (0,5 mm),  $D_C$  (0,8 mm),  $D_D$  (1,1 mm). Kecepatan aliran udara fluidisasi ditetapkan sebesar 4 m/s dan tekanannya diberikan sebesar 1 atm. Menurut hasil simulasi, proses fluidisasi yang terbaik ditunjukkan oleh variasi pasir silika  $D_A$  dengan tinggi lonjakan 80 cm dari permukaan reaktor. Sedangkan variasi diameter lainnya seperti  $D_B$ ,  $D_C$ ,  $D_D$  berturut-turut tercatat hanya mencapai ketinggian 65 cm; 40 cm; 25 cm dari dasar reaktor.

**Kata kunci:** *Medical Waste*, Fluidisasi, *Fluidized Bed*, *Barracuda Virtual Reactor*

### **Abstract**

*The Covid-19 pandemic has caused the utilization of health services to be very significant so that the amount of medical waste generated from this activity is quite high. Medical waste is included in the category of B3 waste that must be handled and managed properly. One technology that can reduce this waste is the Fluidized Bed Combustion (FBC) type incinerator. This technology uses a mixture of sand mixed with fuel and in a high temperature combustion process, but in this type of FBC combustion it is possible for agglomeration to occur in the reactor. One of the causes of agglomeration is the movement of bed material in the fluidization process that is not optimal. Therefore, in this research, a modeling test was conducted to*

determine the basic material fluidization process using the Barracuda Virtual Reactor's Circulating Particle Fluids Dynamic (CPFD) software. Variations of bed material used are silica sand with a diameter of  $D_A$  (0,2 mm),  $D_B$  (0,5 mm),  $D_C$  (0,8 mm),  $D_D$  (1,1 mm). The fluidization air flow velocity is set at 4 m/s and the applied pressure is 1 atm. Based on the simulation results, the best fluidization process is indicated by the variation of silica sand with a diameter of  $D_A$  and a height of 80 cm from the reactor surface. While other diameter variations such as  $D_B$ ,  $D_C$ ,  $D_D$  each recorded reaching a height of only 65 cm; 40 cm; 25 cm from the bottom of the reactor.

**Keywords:** Medical Waste, Fluidization, Fluidized Bed, Barracuda Virtual Reactor

## 1. PENDAHULUAN

Di masa pandemi *covid-19* ini pengguna layanan kesehatan akan terus meningkat sehingga limbah medis dihasilkan dari kegiatan ini lebih banyak dibandingkan sebelumnya. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) jumlah limbah medis sejak tahun 2020 hingga 2021 sebesar 18.460-ton dan limbah ini termasuk katagori limbah (B3) Bahan Berbahaya dan Beracun [1].

Dalam mengatasi limbah berbahaya tersebut dapat menggunakan teknologi insenerasi yang telah digunakan di beberapa negara maju dunia, Insenerasi merupakan salah satu teknik untuk mengolah limbah padat dengan cara membakarnya dengan temperatur tinggi. Dalam proses pembakaran terdapat beberapa teknik pembakaran yang dapat digunakan seperti *pyrolysis*, *combustion*, *gasification*. Kelebihan teknologi ini adalah mengurangi limbah yang mengandung infeksius dan mengurangi volume limbah tersebut. Teknologi insenerator ini memiliki beberapa jenis reaktor antara lain *Rotary-Klin'Incinerator*, *Moving Grate Incinerator*, *Multiple'Heart'Incinerator*, *Multiple'Chamber*, *Fixed'Grate'Incinerator*, *Liquid Injection* dan *Fluidized'Bed'Incinerator* [2,3]

Insenerator dengan teknologi *fluidized bed* mempunyai kelebihan untuk mencampurkan *bed material* dan masa limbah hingga dapat bersirkulasi di dalam reaktor pembakaran. Prinsip kerja *fluidized bed combustion* yaitu penggunaan media berupa pasir, berfungsi sebagai media penghantar dan penyimpanan panas di dalam reaktor dan akan berkontak langsung dengan bahan bakar [4,5]. *Bed material* yang digunakan adalah pasir silika yang dinilai cukup efektif dalam perpindahan panas yang tinggi serta kontak dengan permukaannya cukup luas. Tingkat efisien dalam penggunaan teknologi *fluidized bed combustion* bisa menurun akibat terjadinya aglomerasi pada proses penggabungan partikel-partikel kecil. Oleh sebab itu banyak penelitian yang telah mempelajari mengenai proses terjadinya aglomerasi salah satunya adalah proses fluidisasi yang terjadi di dalam reaktor.

Menurut penelitian lainnya menjelaskan proses terjadinya defluidisasi disebabkan akibat distribusi udara dan temperature pada reaktor tidak merata. Untuk mengetahui pergerakan dari *bed material* yang terjadi di dalam reaktor maka dapat dilakukan dengan cara rekayasa komputasi. Beberapa penelitian banyak yang telah melakukan rekayasa komputasi salah satunya menggunakan *Computational Particles Fluid Dynamics* (CPFD) yang secara khusus pada reaktor ruang bakar. *Software Barracuda Virtual Reactor* dapat menganalisa dan mendeteksi bagaimana proses fluidisasi tersebut berlangsung di dalam reaktor pada kondisi yang benar [6,7].

Untuk mendeteksi dan mengetahui pergerakan dari *bed material* yang digunakan apakah mengalami turbulensi atau tidak, Maka proses simulasi dalam penelitian ini menggunakan CPFD Barracuda untuk mengetahui pergerakan bed material pasir silika dengan variasi *bed material* diameter ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ ,  $D_D$ ) pada *fluidized bed combustion*. Dari hasil simulasi tersebut akan diketahui variasi diameter *bed material* manakah diantara keempat tersebut yang mengalami proses fluidisasi sangat baik.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini metode permodelan dilakukan menggunakan *software Computational Particles Fluid Dynamisc (CPFD) Barracuda Virtual Reactor* yang dikhususkan pada reaktor *Fluidized Bed Combustion (FBC)*. Dalam simulasi tersebut berfungsi untuk mengetahui pergerakan fluidisasi *bed material* pasir silika dengan variasi diameter *bed material*  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$ . Tujuan metode permodelan antara lain mengetahui pengaruh dari variasi diameter *bed material* pasir silika yang digunakan terhadap proses fluidisasi yang terjadi di dalam reaktor FBC.

### 2.2. Variabel Penelitian

#### 2.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi timbulnya variabel terikat, variabel dalam penelitian ini adalah diameter *bed material* pasir silika. Variasi ukuran diameter *bed material* dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Variasi  $D_A$  (0,2 mm)
- b. Variasi  $D_B$  (0,5 mm)
- c. Variasi  $D_C$  (0,8 mm)
- d. Variasi  $D_D$  (1,1 mm)

#### 2.2.2 Variabel Terikat

Dalam penelitian ini variabel terikat yang dihasilkan yaitu pergerakan fluidisasi di masing-masing variasi *bed material* yang ditunjukkan dengan tinggi lonjakan fluidisasi *bed material* pada saat proses simulasi berlangsung menggunakan *Software CPFD Barracuda Virtual Reactor*.

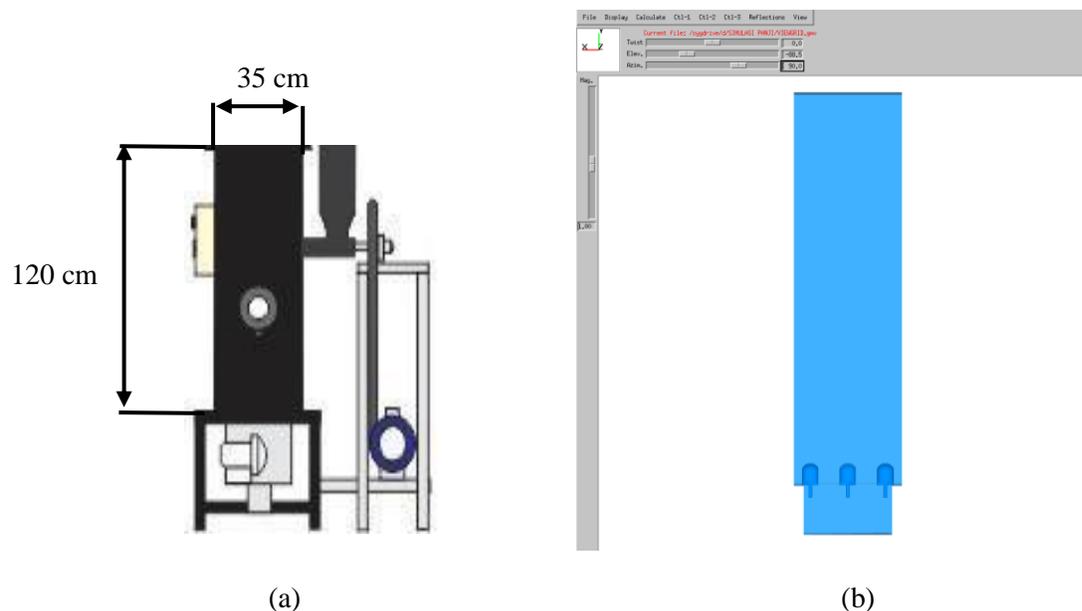
#### 2.2.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain :

- a. Jenis *Bed Material* (Pasir Silika)
- b. Tekanan udara dalam fluidisasi sebesar 1 atm
- c. Kecepatan aliran fluidisasi 4 m/s

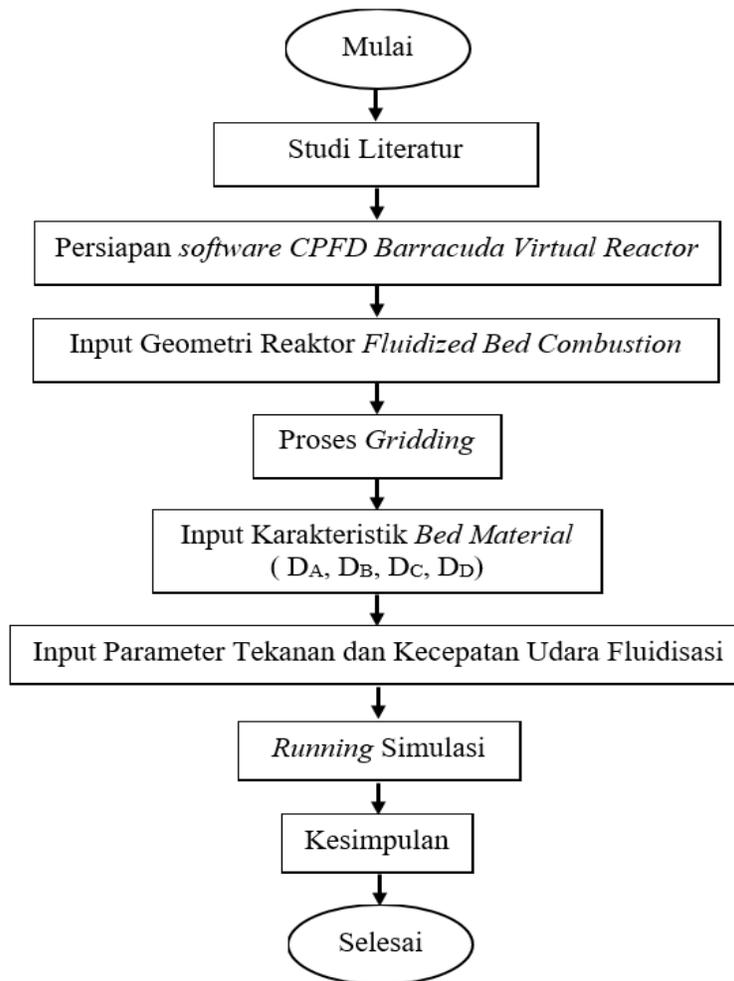
### 2.3. Skematik Penelitian

Skematik unit *Fluidized Bed Combustion (FBC)* yang akan disimulasikan dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Reaktor *FBC* Limbah Medis, (b) Geometry Reaktor *FBC* Limbah Medis

Dilihat pada gambar 1. Unit reaktor *FBC* disimulasikan menggunakan *software CPFD Barracuda Virtual Reactor* dengan melihat komponen utama pada reaktor *fluidized bed combustion* (*FBC*), dimana pada reaktor tersebut terdapat 8 buah *nozzle* udara yang akan mendistribusikan udara ke dalam reaktor. Di bagian bawah reaktor *fluidized bed combustion* (*FBC*) terdapat *windbox* dan *blower* yang berguna untuk menyuplai udara primer ke *nozzle* tersebut. Udara yang dihembuskan oleh 8 buah *nozzle* memiliki kecepatan 4 m/s di masing-masing variasi diameter *bed material* dimana udara akan menggerakkan *bed material* di dalam reaktor *fluidized bed combustion* (*FBC*) agar terjadi suatu peristiwa fluidisasi.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 2. proses pemodelan simulasi diawali dengan membuat geometri pada reaktor *fluidized bed combustion* menggunakan *software Inventor*, kemudian geometri yang telah dibuat tersebut diinput pada *software CPFD Barracuda Virtual Reactor*. Geometri yang telah di input tadi akan dilakukan proses *gridding* dengan jumlah sel sebesar 100.000 sel. Dalam proses *gridding* berguna untuk membagi geometri yang kita input menjadi beberapa batasan sel agar proses simulasi yang dilakukan mempunyai sifat nyata atau dengan kata lain mendekati kondisi nyata pada saat eksperimen dilakukan. Dalam proses *gridding* dilakukannya batasan-batasan dalam geometri tersebut. Setelah semua telah dilakukan maka masuk ke dalam proses *input* karakteristi disetiap variasi *bed material* ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ ,  $D_D$ ) dalam *software CPFD Barracuda Virtual Reactor*.

*Bed material* yang digunakan akan bergerak terfluidisasi dengan cara memasukan kecepatan aliran udara yang telah ditentukan sebesar 4 m/s dengan tekanan 1 atm di *input* pada parameter *software* tersebut. Setelah semua parameter di *input* ke dalam simulasi maka selanjutnya masuk ke proses *run solver* bertujuan untuk mengecek apakah dalam *input* parameter tersebut tidak terjadi *error* atau kesalahan. Selanjutnya ke proses *running* simulasi pada *software CPFD Barracuda Virtual Reactor* yang menghasilkan nilai *volume fraction* pada tiap variasi diameter *bed material* yang digunakan dalam reaktor *fluidized bed combustion* sehingga nilai *volume fraction* tersebut akan menjelaskan tentang ketinggian lonjakan dari *bed material* yang digunakan dengan bentuk

visual dan kemudian dilakukannya analisis perbandingan antara ketinggian lonjakan pada variasi diameter *bed material* lainnya ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$ ).

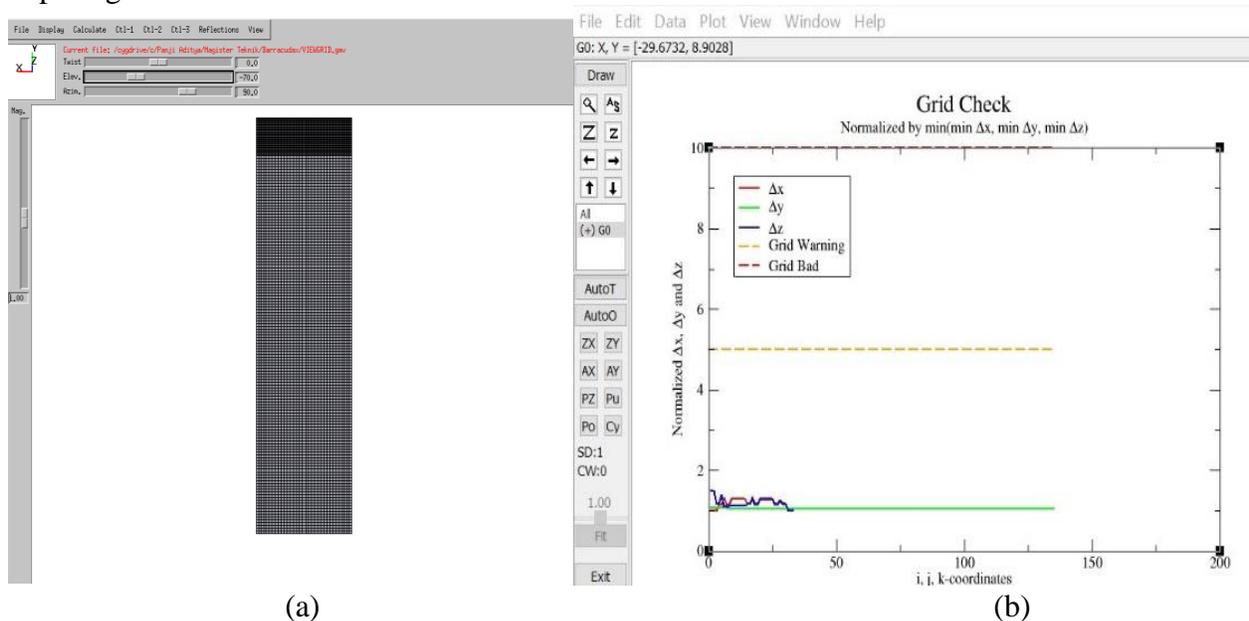
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakteristik *Bed Material* Pasir Silika

Pasir Silika ( $\text{SiO}_2$ ) termasuk ke dalam kelompok mineral yang terdiri dari silikon dan oksigen, dua komponen tersebut pada umumnya ditemukan dalam bentuk kristal dan amorf silika. Pasir silika merupakan mineral yang keras, *chemical inert* dan memiliki titik leleh yang tinggi. Karakteristik Pasir Silika antara lain memiliki nilai *molecular weight* sebesar 60.0843 g/mol dan untuk *density* pasir tersebut sebesar 2200 kg/m<sup>3</sup>. Dalam penelitian ini pasir silika akan dibagi menjadi 4 jenis sesuai dengan ukuran diameter butir pasir tersebut seperti variasi ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$ ). Kemudian analisa pada tinggi lonjakan yang terjadi pada pasir tersebut dilakukan dengan menggunakan *software CPFD Barracuda Virtual Reactor*.

#### 3.2 Proses *Gridding* Reaktor

Dalam proses *gridding* berguna untuk membagi antara geometri yang digunakan dengan beberapa sel yang ditentukan, oleh karena itu hasil simulasi akan mendekati kondisi sebenarnya pada saat proses eksperimen dilakukan. Proses *gridding* ada dua yaitu *view grid* dan *grid check* seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3. (a) *View Gridding* pada Reaktor FBC, (b) *Grid Check* pada Reaktor FBC

Dilihat dari gambar 3. (a) menunjukkan bahwa hasil *gridding* pada reaktor merupakan hasil secara visual dimana kotak-kotak pada reaktor tersebut menunjukkan bahwa jumlah sel sebanyak 100.00 sel, dan dilihat pada gambar 3. (b) diatas menjelaskan bahwa grafik pada *grid check* tersebut sudah dapat dikatakan baik dikarenakan garis grafik pada  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  dan  $\Delta z$  ini jumlahnya masih lebih rendah dari nilai ambang batas maksimum yang telah ditentukan dapat dilihat dari garis *grid warning* atau garis putus-putus yang berwarna kuning.

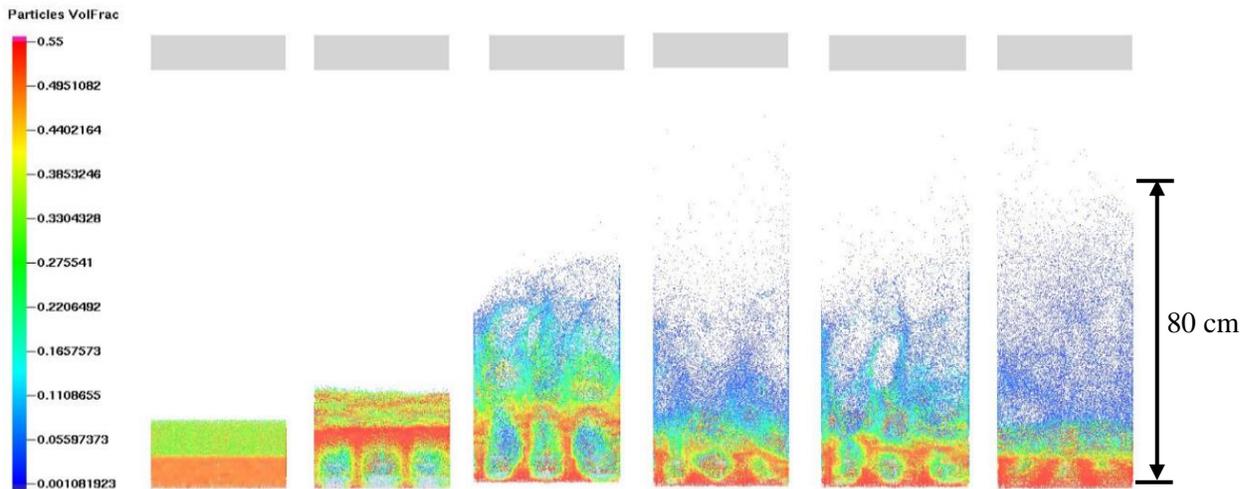
#### 3.3 Hasil Simulasi

Hasil simulasi dari penggunaan *software CPFD Barracuda Virtual Reactor* adalah bentuk

dari aliran fluidisasi yang dihasilkan oleh *bed material* pada masing-masing variasi diameter ( $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$ ) akan berbeda-beda. Berikut ini adalah hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software* tersebut.

### 3.3.1 Simulasi Pasir Silika $D_A$

Adapun hasil pada gambar dibawah ini merupakan bentuk proses fluidisasi yang terjadi di reaktor *fluidized bed combustion* dengan variasi diameter *bed material* di 0,2 mm.

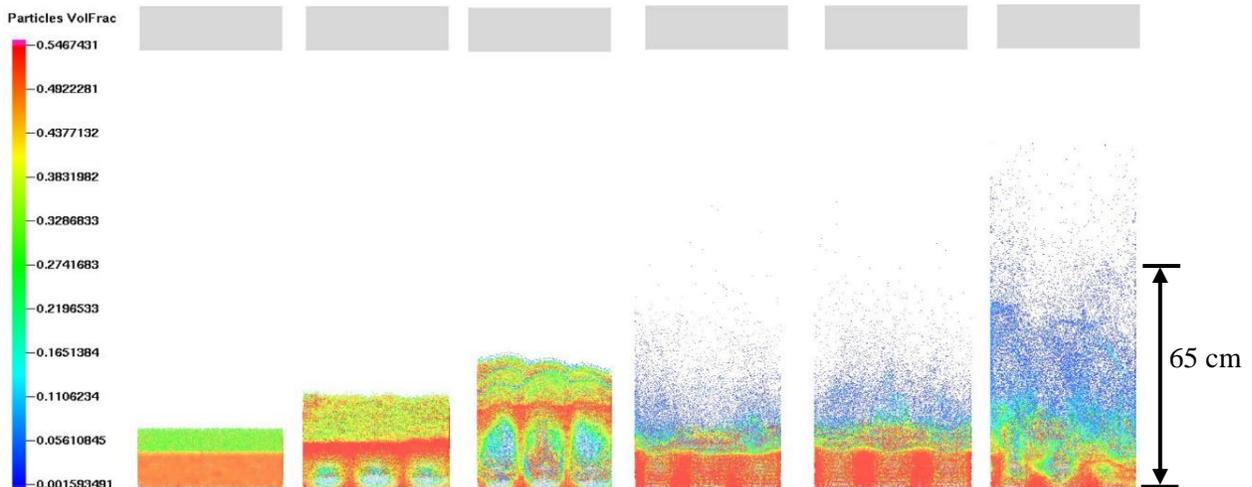


Gambar 4. *Particle Volume Fraction Bed Material  $D_A$*

Hasil simulasi menunjukkan *bed material* terfluidisasi dengan sangat baik dibuktikan dengan tinggi lonjakan fluidisasi pada *fluidized bed combustion* limbah medis sebesar 0,001081923 hingga 0,1657573. Dari simulasi tersebut menggambarkan bahwa *bed material* di variasi  $D_A$  ini terjadi proses fluidisasi dengan sangat baik hingga mencapai ketinggian 80 cm dari permukaan reaktor.

### 3.3.2 Simulasi Pasir Silika $D_B$

Hasil simulasi pasir silika  $D_B$  pada gambar 5. dibawah ini merupakan tinggi aliran fluidisasi pada reaktor *fluidized bed combustion* dengan variasi diameter *bed material* di 0,5 mm.

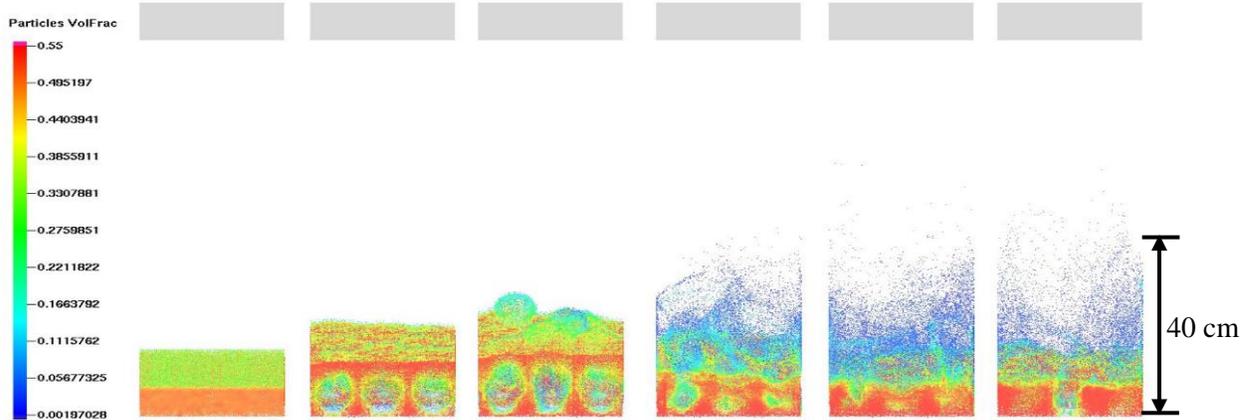


Gambar 5. *Particle Volume Fraction Bed Material  $D_B$*

Hasil simulasi gambar diatas menunjukkan *bed material* terfluidisasi dengan cukup baik dibuktikanannya oleh tinggi lonjakan fluidisasi pada *fluidized bed combustion* limbah medis sebesar 0,001593491 hingga 0,1651384. Menurut simulasi diatas menggambarkan bahwa *bed material* di variasi  $D_B$  ini terjadi proses fluidisasi dengan cukup baik hingga mencapai ketinggian 65 cm dari permukaan reaktor.

### 3.3.3 Simulasi Pasir Silika $D_C$

Hasil simulasi pasir silika  $D_C$  pada gambar 6. merupakan tinggi dari aliran fluidisasi yang terjadi pada reaktor *fluidized bed combustion* dengan variasi diameter *bed material* di 0,8 mm.

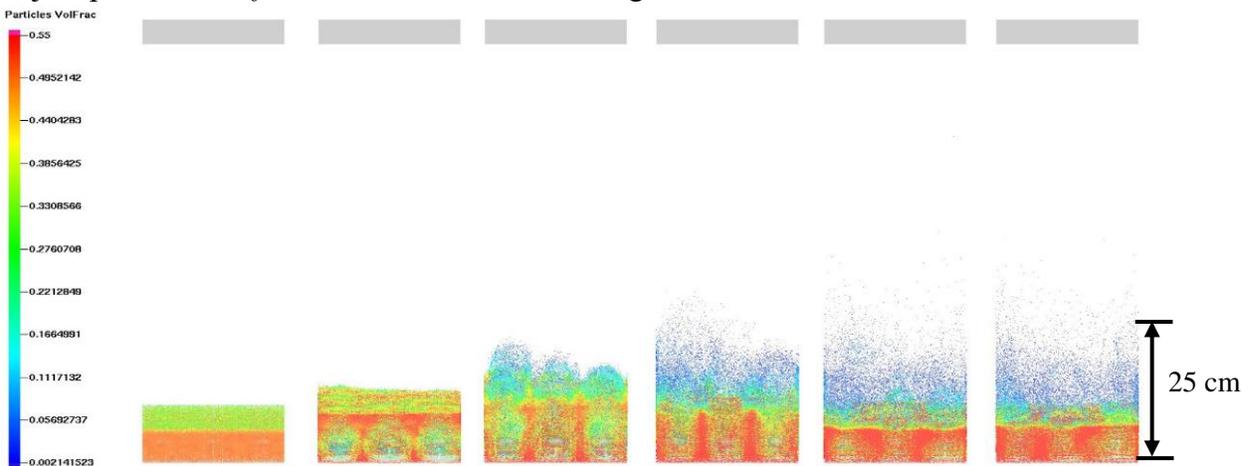


Gambar 6. *Particle Volume Fraction Bed Material  $D_C$*

Hasil simulasi gambar 6. menunjukkan *bed material* terfluidisasi dengan baik dibuktikanannya oleh tinggi dari aliran fluidisasi pada *fluidized bed combustion* limbah medis sebesar 0,00197028 hingga 0,1663792. Dari simulasi diatas menunjukkan bahwa *bed material* di variasi  $D_C$  ini terjadi proses fluidisasi dengan baik hingga ketinggian 40 cm dari permukaan reaktor.

### 3.3.4 Simulasi Pasir Silika $D_D$

Hasil simulasi pasir silika  $D_D$  pada gambar 6. merupakan tinggi dari aliran fluidisasi yang terjadi pada reaktor *fluidized bed combustion* dengan variasi diameter *bed material* di 0,8 mm.



Gambar 7. *Particle Volume Fraction Bed Material  $D_D$*

Hasil simulasi dari gambar diatas menunjukkan *bed material* terfluidisasi dengan baik dibuktikanannya oleh tinggi aliran fluidisasi yang terjadi pada reaktor *fluidized bed combustion*

limbah medis sebesar 0,002141523 hingga 0,1664991. Sehingga menurut simulasi diatas menunjukkan bahwa *bed material* di variasi  $D_D$  ini terjadi proses fluidisasi dengan baik hingga ketinggian 25 cm dari permukaan reaktor.

Pada hasil keempat simulasi tersebut menunjukkan bahwa variasi diameter *bed material*  $D_A$  menggambarkan lonjakan aliran fluidisasi yang paling tinggi diantara variasi diameter *bed material*  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$ . Dalam penelitian lainnya juga menyebutkan bahwa proses fluidisasi yang terjadi pada reaktor *fluidized bed combustion* apabila semakin kecil ukuran partikel *bed material* maka proses fluidisasi yang berlangsung akan semakin baik, sehingga dalam proses pencampuran partikel *bed material* dengan bahan bakar yang digunakan akan merata [6,8]. Fenomena aliran fluidisasi yang terjadi Sesuai dengan persamaan Ergun bahwa tekanan di dalam reaktor dipengaruhi oleh fraksi volume unggun, ketika fraksi volume semakin kecil maka tekanan yang dihasilkan semakin besar. Pada umumnya ketika massa unggun tersebut besar maka fraksi volume juga mengecil, sebaliknya pada saat massa unggun menyusut maka fraksi volume juga membesar. Ketika terjadi penyusutan massa unggun maka tekanan yang dihasilkan oleh partikel menjadi kecil [9,10].

#### 4. SIMPULAN

Suatu aliran fluidisasi yang terjadi pada reaktor pembakaran *fluidized bed* limbah medis akan berpengaruh terhadap ukuran dari diameter partikel *bed material*. Kenaikan aliran fluidisasi yang terjadi bisa dilihat secara visual menggunakan metode permodelan dengan menggunakan *software Computational Particle Fluids Dynamics (CPFD) Barracuda Virtual Reactor*. Simulasi yang dilakukan selama 60 detik, selanjutnya setiap 10 detik akan mendeteksi dan menampilkan pergerakan aliran fluida yang terjadi.

Menurut data hasil dari simulasi yang dilakukan maka proses fluidisasi pada reaktor *fluidized bed combustion* di tiap variasi menjelaskan bahwa aliran fluidisasi yang sangat baik ada pada variasi diameter *bed material*  $D_A$  (0,2 mm) dengan tinggi semburan partikel sebesar 80 cm dari permukaan reaktor. Sedangkan variasi lainnya yaitu  $D_B$ ,  $D_C$ , dan  $D_D$  masing – masing mencapai 65 cm, 40 cm, dan 25 cm lebih rendah dari variasi  $D_A$ . dari keempat dat tersebut menjelaskan bahwa semakin kecil diameter partikel maka akan lebih mudah untuk terfluidisasi, sehingga apabila semakin baik proses fluidisasi maka pembakaran akan sempurna.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutana. 2021. Pengelolaan Limbah B3 Medis Covid-19 di Indonesia. Jakarta.
- [2] Al-Salem, S. M. 2019. Energy Production from Plastic Solid Waste (PSW). *Journal of Plastics to Energy*, 45–64.
- [3] Jawahar, B. Z., Naresh, V., Prithiviraj, R., Vignesh, C., & Sugumaran, J. 2019. Design and Fabrication of Fluidized Bed Incinerator. *International Conference on System, Computation, Automation and Networking*, 1–10.
- [4] Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. 2014. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Journal Waste Management*, 34(12), 2466–2486
- [5] Shen, H. M., Chyang, C. S., Lin, K. P., & Chen, M. F. 2019. Fluidized Bed Incinerator for Medical Waste That Generates No Residual Dioxin. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 1–11.
- [6] Prima, Z., & Noda, R. 2021. Defluidization Investigation into Bubbling Fluidized Bed Particles with Alkaline Addition during Pyrolysis. *MATEC Web of Conferences*, 333, 02014.

- [7] Furuvik, N. C. I. S., Jaiswal, R., Thapa, R. K., and Moldestad, B. M. E. 2019. CPFD Model for Prediction of Flow Behavior In An Agglomerated fluidized bed gasifier. *International Journal for Energy Production and Management*, 4(2):105- 114.
- [8] Dalimunthe, A.K Pengaruh Diameter Partikel Terhadap Fenomena Fluidisasi Di Dalam Fluidized Bed., *SemNas. Cendekiawan Ke 4 Tahun 2018 Buku 1 Teknik, Kedokteran Hewan, Kesehatan, Lingkungan. Dan Lanskap*“, no. April 2020, pp. 57–62, 2018.
- [9] Khuriati, A. 2022 Model Based on Experimental Data from Municipal Solid Waste Incineration. *Journal of Physics and Its Applications FOPDT*, 4(2), hal. 33–36.
- [10] Lin, C. L., Peng, T. H., & Wang, W. J. 2011. Effect of Particle Size Distribution on Agglomeration During Fluidized Bed Combustion. *Powder technology*, 207, 290-295.