

**SIMULASI UJI KARAKTERISTIK GELEMBUNG PADA *BUBBLING
FLUIDIZED BED* DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUIDS
DYNAMICS (CFD)***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

ARI PURNOMO

D 200 120 147

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

**"SIMULASI UJI KARAKTERISTIK GELEMBUNG PADA
BUBBLING FLUIDIZED BED DENGAN METODE
COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMICS (CFD)"**

PUBLIKASI ILMIAH

Disusun oleh :

ARI PURNOMO

D 200 120 147

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing


(Nur Aklis, ST., M.Eng)

HALAMAN PENGESAHAN

**"SIMULASI UJI KARAKTERISTIK GELEMBUNG PADA
BUBBLING FLUIDIZED BED DENGAN METODE
COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMICS (CFD)"**

oleh :

ARI PURNOMO

D 200 120 147

Telah disetujui dan dipertahankan dihadapan Dewan penguji
Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 08 Februari 2018
dan dinyatakan memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Nur Aklis, ST., M. Eng
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. H. Sarjito, MT, Ph.D
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Tri Tjahjono, MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan Fakultas Teknik


(**Ir. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D**)



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 08 Februari 2018

Yang menyatakan,



ARI PURNOMO

D 200 120 147

SIMULASI UJI KARAKTERISTIK GELEMBUNG PADA *BUBBLING FLUIDIZED BED* DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMICS* (CFD)

ABSTRAK

Fluidisasi adalah suatu fenomena berubahnya sifat suatu padatan dalam suatu reaktor menjadi bersifat seperti fluida dikarenakan adanya aliran fluida ke dalamnya baik berupa liquid maupun gas. Fluidisasi melalui reaktor yang kemudian disebut dengan *fluidized bed* merupakan sebuah wadah di dalamnya berupa partikel padat yang di aliri fluida dari bawah. Proses fluidisasi menunjukkan bahwa parameter geometri, diameter, jumlah lubang, jarak antar lubang serta susunan atau konfigurasi lubang pada gas distributor akan berpengaruh terhadap karakteristik gelembung yang di hasilkan. Berdasarkan keunggulan yang di miliki oleh fluidisasi, untuk mengetahui karakteristik hidrodinamik gelembung yang terbentuk didalam reaktor maka dilakukan proses simulasi. Simulasi terhadap karakteristik fluidisasi dilakukan untuk mendapatkan visualisasi karakteristik gelembung udara dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Dalam metode CFD dapat digunakan untuk menentukan dimensi dan konfigurasi sistem di reaktor *Fluidized bed* mengenai pengaruh perbedaan jumlah lubang 3, 5, dan 7 pada distributor udara masuk 1 m/s, 2 m/s dan 3m/s terhadap karakteristik gelembung dengan menggunakan persamaan rumus dalam eksperimen.

Hasil simulasi didapatkan ketika udara masuk ke bed berpengaruh terhadap ukuran diameter gelembung pada semua kecepatan semakin jauh jarak antara gelembung dengan distributor dan kecepatan udara yang masuk melewati *bed* tinggi memberi pengaruh terhadap ukuran diameter gelembung menjadi bertambah besar. Ukuran gelembung diameter simulasi setiap kecepatan mengalami kenaikan yang tidak menentu dan perhitungan diameter rumus, persamaan eksperimen gelembung pada setiap distributor mengalami kenaikan tanpa adanya penurunan. Perbandingan perhitungan diameter simulasi dan diameter rumus, persamaan eksperimen selisih hasil yang didapat relatif kecil. Kecepatan udara yang masuk dan jenis distributor berpengaruh terhadap kecepatan gelembung menunjukkan hasil yang berbeada-beda pada setiap distributor.

Kata kunci : Fluidisasi, *Fluidized Bed*, *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

ABSTRACT

Fluidization is the nature of the changes that occur in the rooms in the form of a reactor to be fluid-like because of the fluid flow into it either in the form of liquid or gas. The fluidization through the reactor, which is then called the fluidized bed, is a container inside which is part of the fluid from below. The fluidization process indicates that geometry parameters, diameter, number of holes, the distance between holes and the arrangement or configuration of holes on the gas distributor will affect the components produced. Based on the advantages obtained by fluidization, to know the differences that occur in the reactor then

performed the simulation process. Simulation of the fluidization characteristic was done to obtain visualization using machine by using Computational Fluid Dynamic (CFD) method. In CFD method can be used to determine Fluidized bed system and reactor which affect the difference of number of holes 3, 5, and 7 on the incoming air distributor 1 m / s, 2 m / s and 3m / s towards the original filter by using the formula inside experiment. The results obtained from the air entering into the bed against the width of the diameter at a longer distance The distance between the reinforcing with the distributor and the speed entering through the high bed gives effect to the diameter of the bubble size becomes larger. The size of the curved diameter with different velocities that do not specify the different diameters, varies on each distributor. Comparison of diameter diameter and diameter, the result equation is relatively small. Incoming air velocity and distributor types to different results vary by distributor.

Keywords : Fluidization, Fluidized Bed, Computational Fluid Dynamic (CFD)

1. PENDAHULUAN

Fluidisasi merupakan fenomena sifat padatan yang berubah dalam reaktor. Reaksi fluidisasi melalui reaktor tersebut disebut *fluidized bed*. *Fluidized bed* merupakan sebuah wadah berupa partikel padat yang di aliri fluida dari bawah. *Fluidized bed* sudah banyak di aplikasikan di berbagai jenis reaktor seperti dalam pengeringan, pembakaran, gasifikasi, pelapisan dan lain-lain. Keuntungan dalam proses fluidisasi sifat yang dapat di alirkan dari operasi zat padat dapat bersifat kontinyu, mampu mengangkat butiran partikel sampai mengapung dan luas permukaan kontak menjadi sangat besar sehingga oprasi sangat efektif, sirkulasi butiran-butiran padat fluidisasi memungkinkan perpindahan panas yang besar didalam reaktor, mampu dalam mengontrol temperatur.

Beberapa penelitian menunjukkan karakteristik gelembung yang dihasilkan dipengaruhi oleh parameter geometri, diameter, jumlah lubang, jarak antar lubang serta susunan atau konfigurasi lubang pada distributor. Riset eksperimental tersebut dilakukan dengan berbagai variasi yang membutuhkan waktu pengerjaan yang lama, biaya banyak, dan jumlah alat ukur yang digunakan harus sesuai dengan jumlah posisi yang dijadikan sempel uji agar memperoleh karakteristik udara yang seragam antar posisi pengukuran. Perkembangan penelitian dengan menggunakan perangkat lunak

bebasis komputasi dapat mengurangi biaya, waktu pengerjaan, dan sangat memudahkan peneliti dalam proses simulasi. *Computational fluid dynamics* (CFD) metode yang dipakai dalam komputasi. Proses simulasi CFD dengan parameter-parameter yang ditentukan sesuai dengan kondisi di lapangan, diharapkan kedepannya mampu memberikan acuan dalam perancangan jika nantinya akan diaplikasikan secara nyata.

Pinchookorn C dkk (2014), menggambarkan proses simulasi CFD perilaku hidrodinamika antara distribusi udara menggunakan lubang dengan menggunakan nosel. Proses terbentuknya *bubbling* dengan model yang disimulasikan dalam reaktor *fluidized bed* permodelan menggunakan metode CFD. Aliran udara pada distributor nosel harus mengatasi konfigurasi udara yang rumit, pembentukan gelembung dalam nosel berbeda proses terjadinya awalnya lambat, namun siklus pembentukan gelembung dan gerak yang lebih cepat dibandingkan dengan model distributor udara berbentuk lubang. Dengan jenis konfigurasi distributor udara menggunakan nosel, aliran udara berupa gelembung lebih bertekanan tinggi dan membantu memaksimalkan sirkulasi *bed*. Sedangkan model jenis lubang bisa menekan tinggi perluasan *fluidized bed* dibanding dengan model jenis Nosel.

Rajan dan Britt (2013), menelitian tentang perilaku Aliran gelembung *fluidized bed* pada reaktor gasifikasi biomassa menggunakan proses simulasi CFD. Penurunan tekanan komputasi di ketinggian bed untuk kaca 350 μm partikel yang terfluidisasi dengan udara dan 500 μm pasir kuarsa yang terfluidisasi dengan uap sekitar. Hal yang sama dan hasilnya menyimpang dari pengukuran eksperimental sebesar 18% pada kondisi fluidisasi minimum. Kecepatan gelembung minimum, ukuran gelembung, frekuensi gelembung dipelajari dengan menggunakan fluktuasi fraksi volume padat dan kontur fraksi volume padat. Kecepatan gelembung minimum komputasional adalah 0,18 m/s untuk pasir kuarsa dan partikel kaca. Ukuran gelembung dan frekuensi menyimpang untuk dua kasus sebagian kecepatan udara meningkat dari kecepatan fluidisasi minimum.

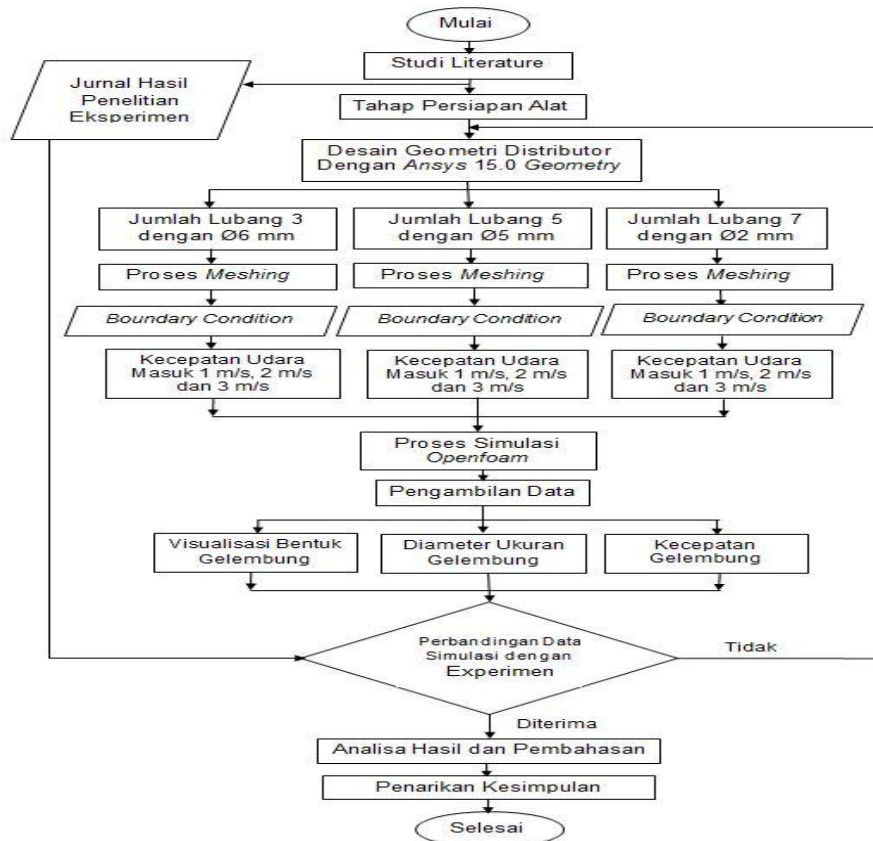
Jian le dkk (2016), Melakukan penelitian pengaruh perbandingan proses

simulasi pencampuran *Eulerian-eulerian* dan CFD-DEM perilaku karakteristik gelembung dalam *fluidized bed*. Bed disimulasikan menggunakan model eulerian dengan kecepatan gas terendah yang diterapkan masih dalam keadaan segregasi yang signifikan bahkan setelah 10 detik fluidisasi, jumlah awal padatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap laju pencampuran. Sebaliknya, bed yang sama disimulasikan dengan CFD-DEM mampu mencapainya setelah 10 s, perbedaan kualitatif dalam perilaku pencampuran padatan yang diprediksi oleh dua pendekatan pemodelan pada kecepatan gas rendah. Kecepatan gas yang lebih tinggi, lebih baik dalam pencampuran perilaku dari dua pendekatan pemodelan yang diamati.

Nur aklis (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah lubang distributor udara terhadap karakteristik gelembung pada *bubbling fluidized bed* dengan variasi partikel *bed*. Hasil yang di dapat yaitu bentuk distributor berpengaruh terhadap kecepatan fluidisasi. Secara teori faktor yang berpengaruh terhadap besarnya kecepatan minimum fluidisasi adalah sifat partikel, sifat dari fluida sebagai media fluidisasi dan ketinggian *bed*. Bentuk distributor memberi pengaruh terhadap besarnya kecepatan minimum fluidisasi *fluidized bed*. Partikel kapur memberi pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan minimum fluidisasi. Pengaruh bentuk distributor terhadap bentuk dan perubahan bentuk gelembung, kecenderungan tidak sama pada setiap kondisi operasi kecepatan udara masuk ke *bed* dan setiap jenis partikel.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir pada gambar 1 dapat dijelaskan langkah percobaan sebagai berikut :

1. Langkah yang pertama adalah penelitian dimulai.
2. Dilanjutkan studi literatur yang bersumber dari jurnal dan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang isinya identik dengan penelitian yang dilakukan sekarang.
3. Langkah selanjutnya adalah proses mendesain *system fluidize bed* dengan lubang 3, 5 dan 7 menggunakan *Ansys Geometry* dengan dimensi *system fluidize bed* sesuai dengan penelitian Nur Aklis (2013).
4. Setelah selesai proses pembuatan *geometry* masuk tahap berikutnya pembuatan *mesh* masih menggunakan program *Ansys Mesh*.

5. Setelah didapatkan tipe *mesh* yang sesuai dan dapat digunakan untuk proses penelitian, harus juga menentukan *Boundary Condition* bidang geometri yang terdiri dari (*inlet, outlet, dan wall*) dan proses dilanjutkan dengan simulasi perhitungan menggunakan *Openfoam*.
6. Selanjutnya data hasil simulasi kemudian dilakukan validasi dengan penelitian, setelah didapat data validasi dari simulasi. Kemudian diambil distribusi kecepatan gelembung dan diameter gelembung.
7. Kemudian dilakukan analisa dan penarikan kesimpulan dari semua proses simulasi yang sudah dilakukan, dan penelitian selesai.

2.2 Alat

Komputer

Pengerjaan sepenuhnya menggunakan komputer (Laptop). Komputer yang digunakan dengan spesifikasi windows 10, Intel (R) Core i5 – 4210U , Ram 4 GB, NVIDIA GEFORCE 64 – bit.

Processor:	Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz 2.40 GHz
Installed memory (RAM):	4.00 GB (3.89 GB usable)
System type:	64-bit Operating System, x64-based processor
Pen and Touch:	No Pen or Touch Input is available for this Display

Gambar 2. Spesifikasi komputer

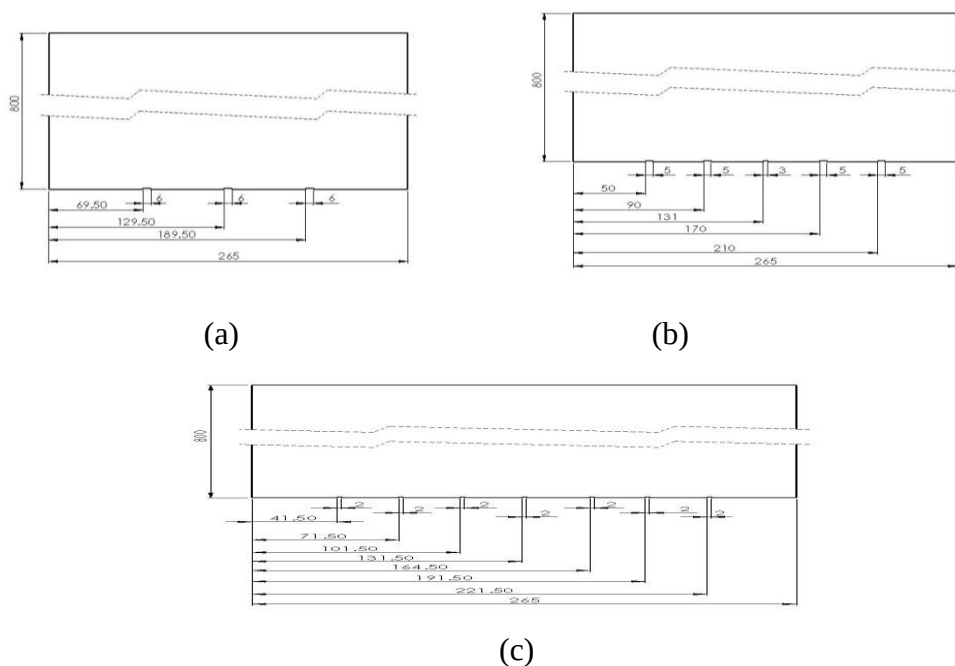
2.3 Tahapan Simulasi

2.3.1 Pengukuran Dimensi dan Geometri

Proses pengukuran dilakukan untuk memastikan dimensi dan geometri dari benda yang akan dibuat sesuai dengan referensi yang dipakai sebagai acuan pada simulasi yang dilakukan. Referensi yang dipakai sebagai acuan adalah hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Nur Aklis (2013) simulasi menggunakan *system fluidize bed*. Dengan desain yang sama dengan penelitian yang telah dilakukan panjangxlebarxtinggi (265x40x800) mm menggunakan distributor yang digunakan 3 jenis sebagaimana dalam table 1 dan gambar 3.

Tabel 1. Jenis distributor udara yang digunakan

Distributor	Diameter lubang(mm)	Kecepatan (m/s)
3	Ø 6	1,2 dan 3
5	Ø 3 dan Ø 5	1,2 dan 3
7	Ø 2	1,2 dan 3



Gambar 3. Geometry Distributor

(a) Jumlah lubang 3, (b) Jumlah lubang 5, (c) Jumlah lubang 7

Dalam proses pembuatan gambar *system fluidize bed* dengan variasi jumlah lubang dan diameter lubang menggunakan *Software Ansys* seperti pada gambar 3. Model yang di gunakan tidak sama persis dengan model 3D melainkan menggunakan permodelan 2D.

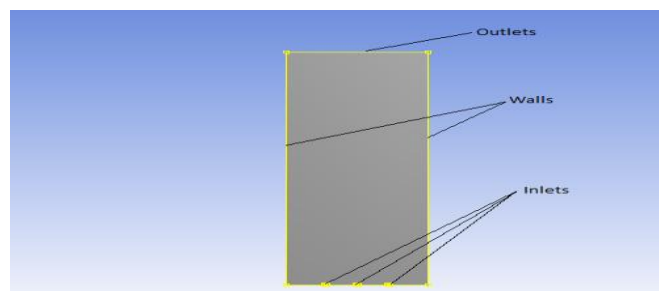
2.3.2 Langkah–langkah simulasi *system fluidize bed* dengan menggunakan *Computational Fluids Dynamic (CFD)*

Untuk melakukan proses simulasi CFD dapat digunakan *Software ANSYS 18 – fluent* dan *Openfoam* sudah tersedia paket permodelan yang dipilih untuk

proses simulasi ini.

2.3.3 Pre-Processing

Dalam tahap ini dimana data dimasukkan atau di *input* mulai dari geometry, meshing, menentukan material properties dari fluida dan penentuan *inlet* dan *outlet* serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition* pembuatan model geometry



Gambar 4. Model *geometry* di *ansys*

Geometry yang di maksud disini adalah pembuatan *geometry* dalam *software ansys* untuk di lakukan pengujian simulasi. Geometry yang di gunakan 2D bagian bawahnya terdiri dari lubang *inlet* serta bagian yang berada sisi luarnya berupa *wall* dan di bagian atas *outlet*. Dapat dilihat pada gambar 4.

2.3.4 Tingkat *Mesh*

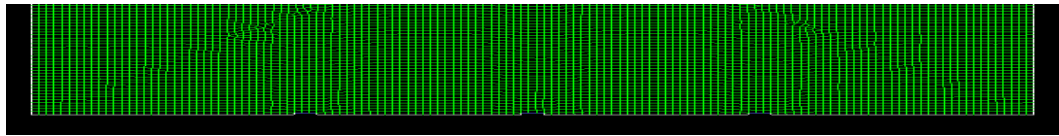
Proses simulasi hal yang tidak kalah penting adalah penentuan jenis *mesh* yang tepat pada benda yang akan di simulasikan. Proses menganalisis dan menghitung dengan cara membagi domain menjadi jumlah *grid* tertentu (*mesh*). Karena geometri yang rumit maka digunakan *mesh* yang tidak terstruktur/*unstructured grid* untuk permukaan yang memiliki tingkat kekasaran tinggi pada *computational domain*.

Tabel 2. Karakteristik *Mesh*

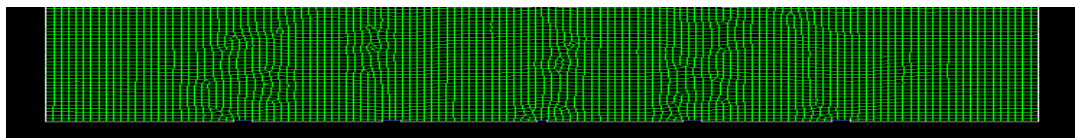
Tipe	Distributor 3	Distributor 5	Distributor 7
<i>Cells</i>	52186	52194	52201
<i>Faces</i>	104694	104718	104926
<i>Nodes</i>	52709	52715	52726

Geometry yang sudah di buat tiga dengan distributor yang berbeda-beda

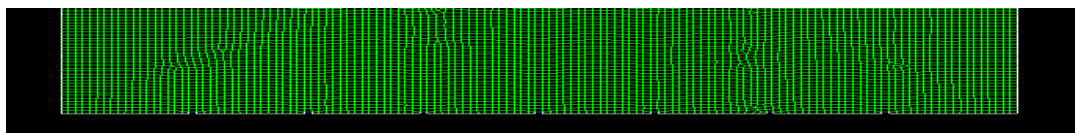
menggunakan 3,5,dan 7 dibuat *meshing* dengan karakteristik dari tiap *mesh* dapat di lihat pada Tabel 2 dan Gambar 5. Selanjutnya dilakukan simulasi yang bertujuan untuk validasi *mesh*.



Mesh distributor 3



Mesh distributor 5



Mesh distributor 7

Gambar 5. Variasi tipe *mesh*

Setelah selesai proses *mesh* disimpan dengan format .msh proses selanjutnya dilakukan dengan pengerjaan simulasi dengan menggunakan *Openfoam*.

2.3.5 Boundary Condition

Kondisi batas atau *boundary condition* yang diterapkan pada simulasi ini sudah di tentukan parameter–parameter yang dimasukan. Sehingga setelah pengerjaan simulasi di *openfoam* selesai bisa dilihat menggunakan *software ParaView 5.4.1-RC 2*.

2.3.6 Solution

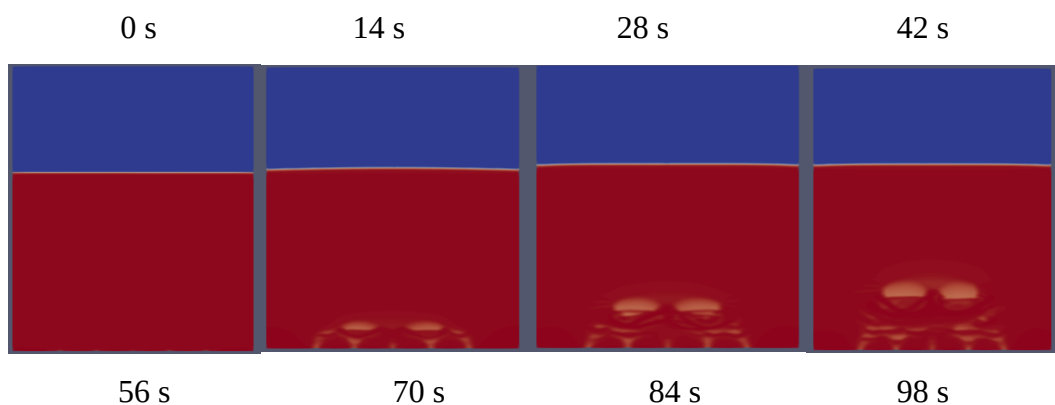
Tahapan ini dilakukan perhitungan dengan data–data yang sudah dimasukkan dengan persamaan yang terlibat secara *iteratife*, artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil.

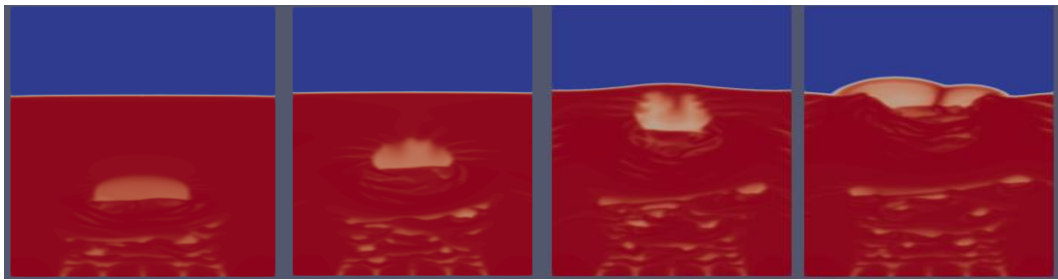


Gambar 8. Visualisai Gelembung Distributor 3 Dengan Kecepatan Udara Masuk 1 m/s

Gambar 8 menunjukkan contoh visualisasi gelembung distributor 3 dengan kecepatan udara masuk 1 m/s. Pancaran-pancaran tersebut bentuknya gelembung kecil-kecil dan tidak beraturan setelah menuju satu titik akan membuat gelembung besar dan bentuknya memanjang. Gelembung menjadi satu bergerak naik ke atas dan disusul oleh gelembung yang terbentuk dibawahnya. Kecepatan 1 m/s gelembung pertama yang sampai pada permukaan *bed* dengan gelembung kedua yang terbentuk di bawahnya jarak yang dihasilkan dekat. Kecepatan 2 m/s dan 3 m/s terjadi perbedaan gelembung pada kecepatan 2 m/s lebih besar daripada kecepatan 1 m/s. Sedangkan pada kecepatan 3 m/s kecepatan kenaikan gelembung dan ukuran gelembung lebih besar daripada kecepatan 1 m/s dan 2 m/s.

3.1.2 Distributor 5





Gambar 9. Visualisai Gelembung Distributor 5 Dengan Kecepatan Udara Masuk 1 m/s

Gambar 9 menunjukkan contoh visualisasi gelembung distributor 5 dengan kecepatan udara masuk 1 m/s. Udara yang masuk membentuk gelembung yang ukurannya kecil-kecil kemudian menjauhi *bed*. Gelembung yang tadinya kecil-kecil dan banyak menjadi satu dan berada di tengah setelah melewati ketinggian sekitar 10 cm. Semakin menjauhi *bed* bentuk gelembung semakin tidak beraturan semula dari ukuran awal yang berupa gelembung lingkaran menjadi tidak beraturan. Kecepatan 2 m/s dan 3 m/s fenomena yang terjadi gelembung dari awal udara masuk langsung menjadi gelembung besar dan berbentuk tidak beraturan.

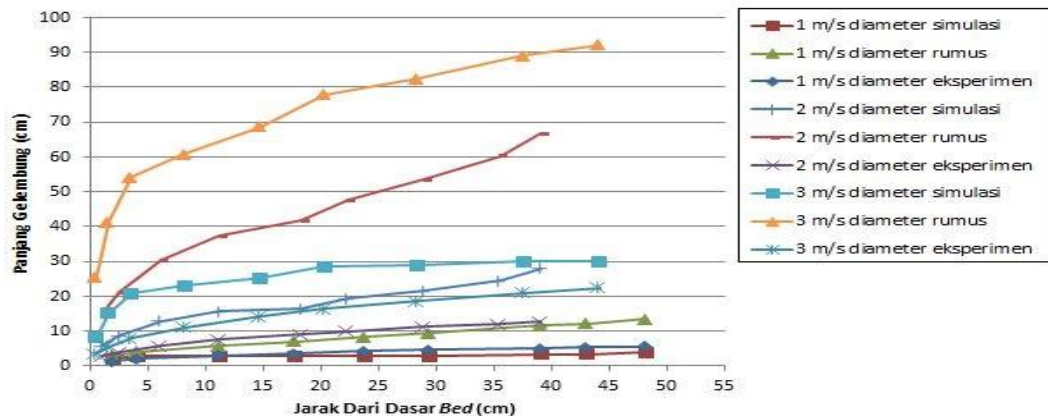
3.1.3 Distributor 7

Visualisasi gelembung distributor 7 dengan kecepatan udara masuk 1 m/s, 2 m/s dan 3 m/s. Berbeda dengan hasil yang ditunjukkan pada distributor 3 dan 5 pada kecepatan 1 m/s, dikecepatan 1 m/s di distributor 7 udara yang masuk tidak mampu membuat gelembung dikarenakan terlalu kecil kecepatan udara yang masuk. Kecepatan 2 m/s dan 3 m/s udara yang masuk ke *bed* mampu membuat gelembung sama dengan distributor 3 dan 5. 7 lubang yang terlewati udara dengan kecepatan 2 m/s dan 3 m/s mampu membuat gelembung berukuran kecil – kecil pada ketinggian sekitar 10 cm menjadi satu gelembung yang berukuran besar kemudian naik ke atas. Semakin tinggi gelembung semakin besar gelembung karena gelembung kecil dari bawah bergabung menjadi satu seiring bertambahnya ketinggian. Kecepatan 2 m/s dan 3 m/s gelembung bertambah tinggi kemudian menjadi satu dan besar pada saat gelembung hampir melewati pasir bentuknya berubah menjadi tidak beraturan.

3.2 Perbandingan Hasil Gelembung Simulasi, Rumus Dan Persamaan Rumus Eksperimen

3.2.1 Distributor 3

Gambar 10 menunjukkan perbandingan tiap kecepatan pada distributor 3. Kecepatan 1 m/s titik awal gelembung terbentuk pada jarak dari dasar *bed* 2,02 cm ukuran gelembung diameter simulasi berukuran 1,95 cm, diameter rumus 3,03 cm dan diameter eksperimen berukuran 1,50 cm. Ketinggian 48,16 cm ukuran diameter simulasi sebesar 3,86 cm, diameter rumus 13,41 cm dan ukuran diameter eksperimen 5,60 cm. Diameter rumus 13,41 cm merupakan ukuran terbesar pada kecepatan 1 m/s.



Gambar 10. Perbandingan Ukuran Gelembung Simulasi, Rumus Dan Eksperimen Distributor 3

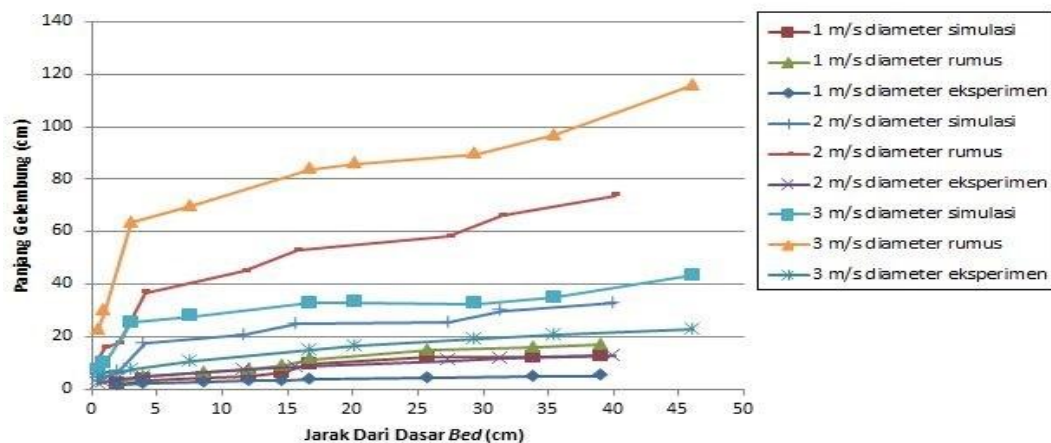
Kecepatan 2 m/s pada ketinggian awal yang sama 1,01 cm ukuran diameter simulasi 5,73 cm, ukuran diameter rumus 14,93 cm dan ukuran diameter eksperimen sebesar 2,76 cm. Pada ketinggian akhir 39,03 cm ukuran gelembung diameter simulasi 27,96 cm, ukuran diameter rumus 66,59 cm dan ukuran diameter eksperimen 12,63 cm.

Kecpatan 3 m/s awal mula gelembung terbentuk pada ketinggian dari dasar *bed* 0,5 cm ukuran gelembung diameter simulasi sebesar 3,50 cm, ukuran diameter rumus 25,68 cm dan ukuran diameter eksperimen 8,43 cm. Kecepatan 3 m/s setiap ketinggian pada ukuran diameter simulasi, rumus dan eksperimen tidak ada ukuran gelembung yang sama terbentuk. Pada ketinggian tertinggi diposisi 44,10 cm ukuran gelembung diameter simulasi

sebesar 29,91 cm, ukuran diameter rumus 92,18 cm dan ukuran diameter eksperimen sebesar 22,51 cm.

3.2.2 Distributor 5

Gelembung terbentuk pada ketinggian dari dasar *bed* 2,02 cm pada kecepatan 1 m/s ukuran diameter simulasi gelembung berukuran 1,95 cm, ukuran diameter rumus 2,85 cm dan ukuran diameter eksperimen berukuran 1,50 cm Posisi awal terbentuknya ukurannya diameter rumus lebih besar dibandingkan dengan diameter simulasi dan eksperimen. Pada gelembung di ketinggian 39,03 cm diameter simulasi dengan ukuran 12,96 cm, ukuran diameter rumus 17,08 cm dan ukuran diameter eksperimen 5,13 cm.



Gambar 11. Perbandingan Ukuran Gelembung Simulasi, Rumus Dan Eksperimen Distributor 5

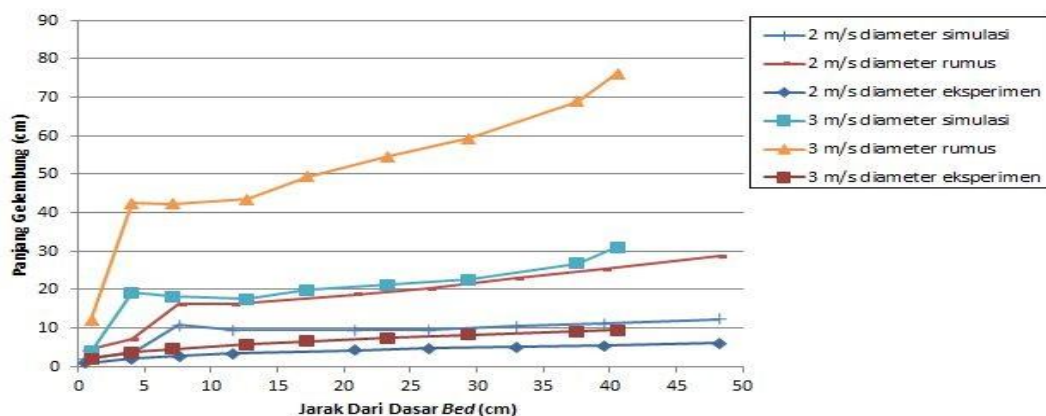
Kecepatan 2 m/s pada ketinggian awal yang sama 0,50 cm ukuran diameter simulasi sebesar 4,35 cm, ukuran diameter rumus 11,82 cm dan ukuran diameter eksperimen 2,06 cm. Pada posisi ketinggian dari dasar *bed* tertinggi 40,05 cm diameter simulasi, rumus dan eksperimen ukuran gelembung yang terbentuk 12,77 cm, 73,79 cm dan 33,01 cm.

Awal mula gelembung terbentuk Kecpatan 3 m/s pada ketinggian dari dasar *bed* 0,5 cm ukuran gelembung diameter simulasi sebesar 7,20 cm, ukuran diameter rumus sebesar 22,68 cm dan ukuran diameter eksperimen dengan ukuran 3,50 cm. Ketinggian tertinggi diposisi 46,13 cm ukuran gelembung diameter simulasi sebesar 43,30 cm, ukuran diameter rumus

sebesar 115,78 cm dan ukuran diameter eksperimen dengan ukuran sebesar 22,93 cm.

3.2.3 Distributor 7

Kecepatan 2 m/s pada ketinggian dari dasar *bed* awal yang sama 0,5 cm ukuran gelembung diameter simulasi berukuran 2,15 cm, diameter rumus berukuran 4,10 cm dan ukuran diameter eksperimen sebesar 2,05 cm. Setiap kenaikan ketinggian gelembung pada diameter simulasi, rumus dan eksperimen tidak menghasilkan ukuran yang sama. Ketinggian akhir 48,16 cm ukuran gelembung diameter simulasi, diameter rumus dan diameter eksperimen terbentuknya ukuran gelembung sebesar 12,37cm, 28,61 cm dan 6,03 cm.



Gambar 12. Perbandingan Ukuran Gelembung Simulasi, Rumus Dan Eksperimen Distributor 7

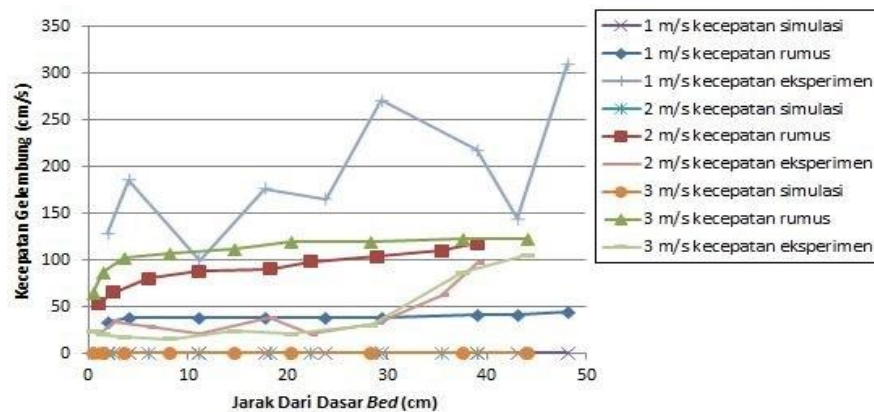
Kecepatan 3 m/s awal mula gelembung terbentuk pada ketinggian dari dasar *bed* 1,01 cm ukuran gelembung diameter simulasi sebesar 3,96 cm, diameter rumus sebesar 12,07 cm dan diameter eksperimen sebesar 2,05 cm. Ketinggian tertinggi diposisi 48,16 cm ukuran gelembung diameter simulasi sebesar 31,10 cm, diameter rumus 76,36 cm dan diameter eksperimen lebih kecil dengan ukuran sebesar 9,51 cm.

3.3 Perbandingan Hasil Kecepatan Gelembung Frame, Rumus Dan Persamaan Kecepatan Rumus Eksperimen

3.3.1 Distributor 3

Kecepatan 1 m/s titik awal kecepatan pada ketinggian 2,02 cm dengan

kecepatan frame 0,1 cm/s, kecepatan rumus 32,65 cm/s dan kecepatan eksperimen 128,94 cm/s. Kecepatan tertinggi pada kecepatan udara masuk 1 m/s sebesar 310,22 cm/s kecepatan eksperimen sedangkan 0,28 cm/s kecepatan frame dan kecepatan 43,71 cm/s.



Gambar 13. Perbandingan Kecepatan Gelembung Frame, Rumus Dan Eksperimen Distributor 3

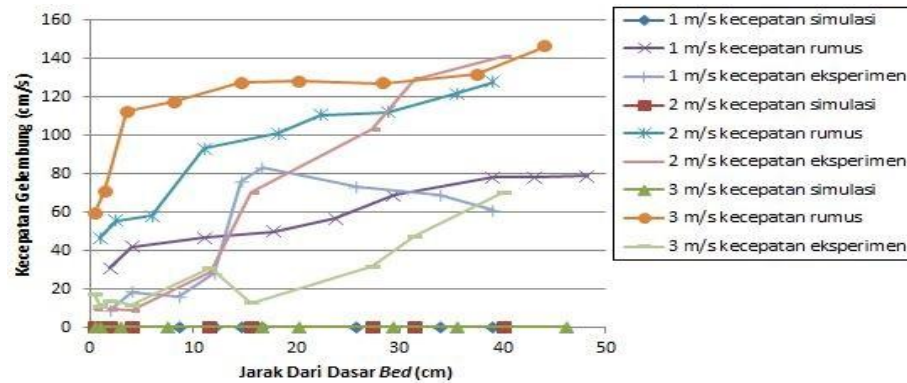
Kecepatan 2 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,05 cm/s, kecepatan rumus 53,30 cm/s dan kecepatan eksperimen 19,80 cm/s. Semua perhitungan kecepatan mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,22 cm/s, kecepatan rumus 117,75 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 96,43 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 3 pada kecepatan udara masuk 2 m/s sebesar 117,75 cm/s dengan menggunakan kecepatan rumus.

Kecepatan 3 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,03 cm/s, kecepatan 64,66 cm/s dan kecepatan eksperimen 23,03 cm/s. Kecepatan akhir mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,25 cm/s, kecepatan rumus 121,79 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 105,42 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 3 pada kecepatan udara masuk 3 m/s sebesar 121,79 cm/s dengan menggunakan kecepatan rumus.

3.3.2 Distributor 5

Kecepatan 1 m/s titik awal kecepatan pada ketinggian 2,02 cm dengan kecepatan frame 0,14 cm/s mengalami kenaikan menjadi 0,31 cm/s, kecepatan rumus 31,09 cm/s naik menjadi 79,02 cm/s dan kecepatan eksperimen 8,89 cm/s menjadi 60,78 cm/s. Kecepatan tertinggi pada

kecepatan udara masuk 1 m/s sebesar 79,92 cm/s kecepatan rumus cm/s sedangkan kecepatan frame 0,31 cm/s dan kecepatan eksperimen 60,78 cm/s.



Gambar 14. Perbandingan Kecepatan Gelembung Frame, Rumus Dan Eksperimen Distributor 5

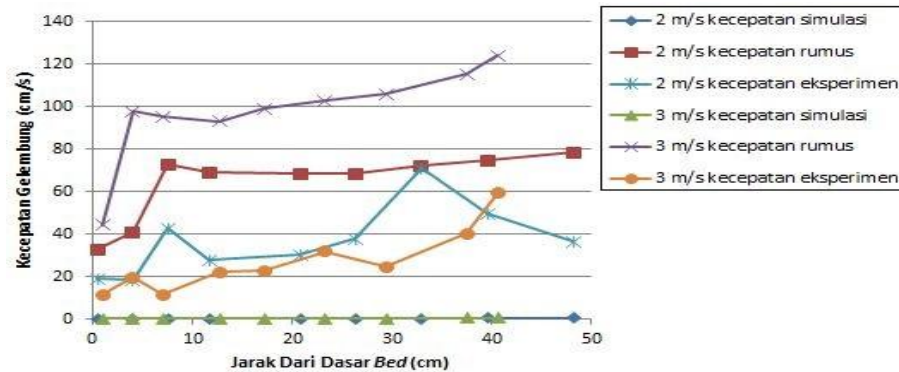
Kecepatan 2 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,04 cm/s, kecepatan rumus 46,45 cm/s dan kecepatan eksperimen 9,43 cm/s. Semua perhitungan kecepatan mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,32 cm/s, rumus menjadi 127,94 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 141,26 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 5 pada kecepatan udara masuk 2 m/s sebesar 141,26 cm/s dengan menggunakan kecepatan eksperimen.

Kecepatan 3 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,04 cm/s, kecepatan rumus 59,75 cm/s dan kecepatan eksperimen 17,18 cm/s. Kecepatan akhir mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,37 cm/s, kecepatan rumus 146,54 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 70,18 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 5 pada kecepatan udara masuk 3 m/s sebesar 146,54 cm/s dengan menggunakan kecepatan rumus.

3.3.3 Distributor 7

Kecepatan 2 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,04 cm/s, kecepatan rumus 32,65 cm/s dan kecepatan eksperimen 18,68 cm/s. Semua perhitungan kecepatan mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,41 cm/s, kecepatan rumus 78,33 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 36,30 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 7 pada kecepatan

udara masuk 2 m/s sebesar 78,33 cm/s dengan menggunakan kecepatan rumus.



Gambar 15. Perbandingan Kecepatan Gelembung Frame, Rumus Dan Eksperimen Distributor 7

Kecepatan 3 m/s awal mula kecepatan frame sebesar 0,08 cm/s, kecepatan rumus 44,29 cm/s dan kecepatan eksperimen 11,25 cm/s. Kecepatan akhir mengalami kenaikan kecepatan frame menjadi sebesar 0,40 cm/s, kecepatan rumus 124,19 cm/s dan kecepatan eksperimen menjadi 59,26 cm/s. Kecepatan terbesar pada distributor 3 pada kecepatan udara masuk 3 m/s sebesar 124,19 cm/s dengan menggunakan kecepatan rumus.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

- 1) Udara masuk ke *bed* pada setiap kecepatan menghasilkan gelembung yang berbeda-beda. Kecepatan udara berpengaruh terhadap ukuran diameter gelembung semakin jauh jarak antara gelembung dengan distributor berpengaruh terhadap ukuran diameter gelembung menjadi bertambah besar.
- 2) Semua jenis distributor menghasilkan kecepatan yang beragam pada perhitungan kecepatan gelembung. Perbandingan perhitungan kecepatan simulasi dengan menggunakan persamaan kecepatan eksperimen selisih hasil yang didapat relatif kecil sedangkan dengan rumus selisih hasil yang di dapat jauh berbeda.
- 3) Kecepatan udara yang masuk dan jenis distributor berpengaruh terhadap kecepatan gelembung menunjukkan hasil yang berbeada-beda pada setiap

distributor. Kecepatan dihitung dengan rumus dan persamaan eksperimen diperoleh hasil yang tidak stabil pada setiap kecepatan. Perbedaan hasil kecepatan frame, rumus dan eksperimen dipengaruhi juga oleh luas permukaan *bed*. Dalam eksperimen luas permukaan *bed* lebih besar dibandingkan dengan permodelan hanya menggunakan 2D yang luas permukaannya relatif kecil.

4.2 Saran

Saran-saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Diharapkan pada penelitian selanjutnya, untuk proses pembuatan geometri sama dengan eksperimen supaya *mesh* lebih banyak variasi yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati data penelitian.
- 2) Masih ada faktor-faktor penentu dalam proses simulasi tetapi belum mampu dimasukkan. Perlu adanya penelitian lebih lanjut supaya antara penelitian dengan proses simulasi mendapatkan hasil yang sama.
- 3) Variasi jumlah distributor harus diperbanyak agar nantinya antara penelitian dan proses simulasi sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aklis, Nur. 2013. *studi eksperimental pengaruh jumlah lubang distributor udara terhadap karakteristik gelembung pada bubbling fluidized bed dengan variasi partikel bed*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Basu, Nilanjana, dkk. 2003. *Modeling of Two-phase Flow and boiling with FLUENT*. West yellowstone, Montana : RELAP5 UGM.
- Benzarti, Salma, dkk. 2013. *Simulation Of Gas-Solid Turbulent fluidized Bed Hydrodynamic*. Monastir, Tunisia : National Engineering School of Monastir.
- Chobthiangtham, Pinchookorn, dkk. 2014. *Comparison of Hydrodynamic behavior inside Bed Zone with Non-Simplified and Simplified Air distributor in a Bubbling Fluidized Bed Gasifier Model*. Bangkok,Thailand : University of Technology Thonburi.
- Cundari lia. 2011. *Pemodelan cfd proses pencairan batubara distribusi suhu slurry batubara dalam autoclave*. Palembang : Universitas Sriwijaya.
- Dzulfansyah, Dziyad, dkk. 2014. *Analisis computational fluid dynamics untuk*

- perancangan reaktor gasifikasi sekam padi tipe downdraft. Bogor : Institut Pertanian Bogor.*
- Kurnia, Reza, dkk. 2013. *Review Pengaruh Hidrodinamika pada Fluidized Bed Dryer*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Kumar, Rajan and Britt Margrethe Halvorsen. 2013. *Study of flow behavior in bubbling fluidized bed biomass gasification reactor using CFD simulation*. Porsgrunn, Norway : Institute for Process, Energy and Environmental Technology Telemark University College.
- Le Jian and Eldin Wee Chuan. 2016. *Comparisons of eulerian-eulerian and CFD-DEM simulations of mixing behaviors in bubbling fluidized beds*. Singapore : National University of Singapore.
- Satrio, Agus. 2008. *Modul – 1.05 fluidisasi*. Banten : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon.
- Sujana, Gede, dkk. 2013. *Pemodelan CFD perilaku fluidisasi hampan partikel sewage sludge*. Badung, Bali : Universitas Bukit Jimbaran.
- Sukarsono, liliek harmianto, dkk. 2011. *Variasi kecepatan alir gas pada proses pelapisan kernel UO₂ dengan computational fluid dynamic (cfd)*. Yogyakarta : Badan tenaga nuklir nasional yogyakarta.
- Tuakia, Firman. 1999. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung : Informatika.
- Widayati. 2010. *Fenomena dan Kecepatan Minimum (Umf) Fluidisasi*. Yogyakarta : Universitas Veteran Yogyakarta.