

Simulasi Sistem Aliran Massa *Pneumatic Grain Conveyor* Kapasitas 135 Ton/Jam

Muhammad Ridwan, Andri Surya R, Irga Nugraha.

Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124

email : ridwan@itenas.ac.id

Abstrak

Pneumatic grain conveyor adalah sebuah alat untuk memindahkan benda yang berbentuk serbuk atau butir dengan memanfaatkan udara sebagai media pemindahan. Conveyor yang cocok digunakan untuk memindahkan butiran-butiran seperti gandum dengan cepat adalah bertipe pneumatic grain conveyor yang memanfaatkan fluida udara sebagai media untuk memindahkan butiran. Proses simulasi ini dilakukan untuk membuktikan sejauh mana kapasitas perancangan 135 ton/jam dapat dicapai oleh conveyor hasil perancangan. Pneumatic grain conveyor yang dirancang menggunakan sistem tekanan kombinasi, proses simulasi dilakukan pada jalur aliran gandum yang meliputi 3 bagian menyambung yaitu inlet pipe, cyclone, dan outlet pipe. Boundary conditions pada bagian inlet pipe menggunakan data dari hasil perancangan, sedangkan pada cyclone dan outlet pipe menggunakan data dari hasil simulasi pada bagian sebelumnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas pemindahan dari conveyor adalah sebesar 26,653 ton/jam. Laju aliran gandum dapat mencapai fasa dilute phase serta cyclone berfungsi dengan baik dalam memisahkan gandum dengan udara.

Kata kunci : *pneumatic grain conveyor, inlet pipe, cyclone , outlet pipe, simulasi.*

Abstract

Pneumatic grain conveyor is a tool for moving objects in the form of powder or grain by utilizing air as a transfer medium. Conveyors that are suitable for moving granules quickly such as wheat are pneumatic grain conveyor, that use air fluid to move the grain. This simulation process is carried out to prove the extent to which the design capacity of 135 tons / hour can be achieved by the designed conveyor. Pneumatic grain conveyor designed using a combination pressure system, the simulation process is carried out on the grain flow path which includes 3 connecting parts, namely inlet pipe, cyclone, dan outlet pipe. Boundary conditions in the inlet pipe section use data from the design result, while the cyclone and outlet pipe section use data from the simulation results in the previous section. The simulation results show that the displacement capacity of the conveyor is 26.653 tons / hour. The flow rate of wheat can reach the phase of the dilute phase and the cyclone works well in separating wheat with air.

Keywords : *pneumatic grain conveyor, inlet pipe, cyclone, outlet pipe, simulation.*

1. Pendahuluan

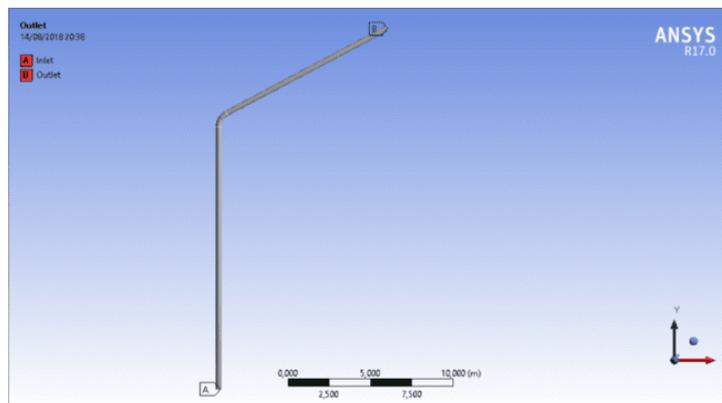
Pneumatic grain conveyor digunakan untuk memindahkan bahan baku makanan seperti gandum, tepung, gabah ataupun lainnya yang berbentuk serbuk. Rancangan *pneumatic grain conveyor* dengan kapasitas 135 ton/jam telah selesai sebagai tahap pertama penelitian perancangan secara teoritik. Penelitian selanjutnya merupakan proses simulasi *conveyor* tersebut berdasarkan spesifikasi dan parameter yang telah ditetapkan. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja conveyor berdasarkan metode numerik *computational fluid Dynamics* yang berguna sebagai bahan perbandingan dengan hasil penelitian perancangan secara teoritik sebelumnya. Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah untuk mengetahui terpenuhinya prinsip perpindahan massa dan tercapainya kapasitas aliran massa berdasarkan metode numerik.

2. Metodologi Simulasi

2.1 Geometri Model

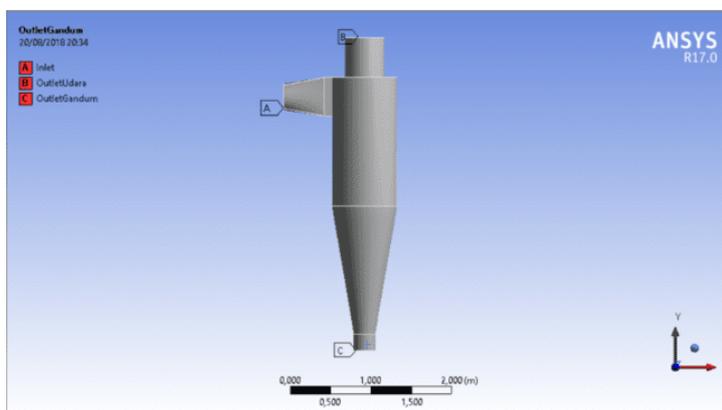
Geometri model *pneumatic grain conveyor* yang disisipkan ke dalam proses simulasi yaitu berbentuk 3D dan dibagi menjadi 3 bagian yaitu *inlet pipe*, *cyclone*, dan *outlet pipe*. Gravitasi bumi menuju ke arah sumbu $-Y$ seperti pada gambar dibawah.

Bagian *Inlet Pipe* : merupakan awal masuknya gandum dan udara dari titik A menuju ke titik B pada Gambar 1. Bagian *inlet* ini merupakan pipa berpenampang lingkaran dengan diameter 14 inch yang terbuat dari material baja paduan ASTM 312 Tp 304L SCH 10S.



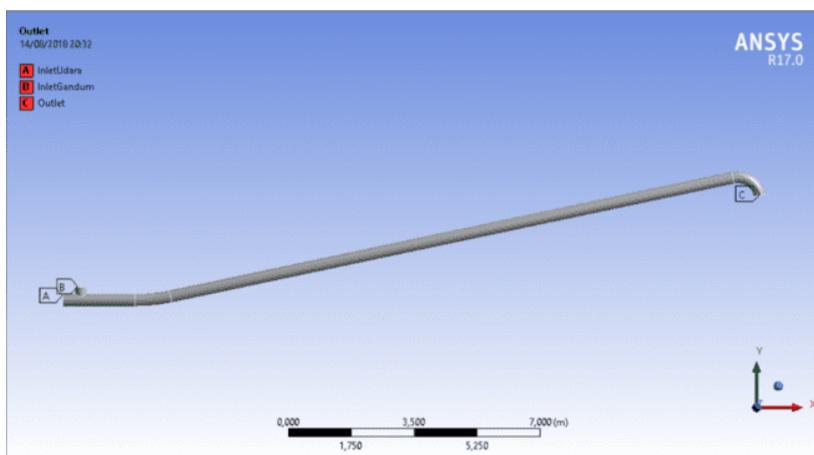
Gambar 1. *Inlet Pipe*

Bagian *cyclone* : merupakan lanjutan dari bagian *inlet pipe* yang diharapkan berfungsi sebagai tempat untuk memisahkan antara udara dan gandum. Gandum dan udara masuk dari titik A pada Gambar 2 kemudian akan berputar dalam *cyclone* karena adanya gaya sentrifugal, sehingga gandum yang memiliki densitas tinggi akan jatuh ke bawah menuju titik C, sedangkan udara akan keluar menuju titik B. *Cyclone* ini terbuat dari material baja paduan SS316L.



Gambar 2. *Cyclone*

Bagian outlet pipe : merupakan lanjutan dari bagian *cyclone*, pipa yang berukuran 14 inch ini lintasan akhir dari alat *pneumatic grain conveyor*. Gandum dari *cyclone* masuk dari titik B pada Gambar 3 dan udara dari *blower* masuk dari titik A sehingga gandum akan terdorong oleh udara, keluar menuju titik C yaitu atmosfer. Material pipa *outlet* ini terbuat dari baja paduan ASTM 312 Tp 304L SCH 10S.



Gambar 3. Outlet Pipe

2.2 Metodologi Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software ansys fluent R17*, metode simulasi ini berdasarkan kasus aliran fluida secara numerik (*CFD*) berupa udara yang mengangkat gandum masuk kedalam *inlet pipe* kemudian dipisahkan didalam *cyclone* lalu keluar menuju *outlet pipe*. Proses ini memiliki beberapa tahap diantaranya *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter Simulasi CFD

Berikut adalah parameter yang digunakan pada simulasi CFD didalam *software ansys fluent* yaitu (1) Desain *pneumatic grain conveyor* (*Inlet pipe*, *Cyclone*, dan *Outlet pipe*), (2) Kondisi aliran steady, (3) Kondisi *Models > Multiphase > Eulerian > 2 Phase (Gas & Solid)*, (4) Kondisi aliran viskos turbulen > k-epsilon, (5) Bilangan Reynold = 1065717,8, (6) Gravitasi bumi = 9.81 m/s², (7) Massa jenis udara = 1,165 kg/m³, (8) Viskositas udara = 1,86 x 10⁻⁵ N.s/m² (9) Massa jenis gandum = 900 kg/m³, (10) Diameter gandum = 0,0031 m, (11) Kecepatan udara = 50.76 m/s, (12) Kecepatan gandum = 0.559 m/s. (13) *Massflow* udara = 5,16 kg/s (14) *Massflow* gandum = 37,5 kg/s.

3.2. Validasi Simulasi

Geometri : dimensi keseluruhan alat *pneumatic grain conveyor* dibuat sesuai dengan data dari hasil perancangan teoritik dengan menggunakan *software CAD* dalam bentuk geometri. Format *CAD* yang dimasukkan kedalam *software fluent* yaitu berbentuk *step* (.step / .stp).

Mesh : Mengubah model geometri yang telah disisipkan menjadi elemen-elemen kecil hingga mendapatkan ketelitian yang ditentukan batas validasinya. Tabel 1 menunjukkan hasil nilai rata-rata *skewness* dan *orthogonal quality* berada pada nilai yang baik dari batas validasinya. *Skewness* dan *orthogonal quality* merupakan nilai pengecekan *mesh* dari pembuatan *mesh* pada tiap bagiannya

Tabel 1. Hasil Pengecekan *Mesh* pada setiap Bagian

Bagian	Nilai <i>Skewness</i>	Nilai <i>Orthogonal Quality</i>	Jenis Elemen
<i>Inlet Pipe</i>	0.13065	0.98408	<i>Hexahedral</i>
<i>Cyclone</i>	0.22782	0.87536	<i>Tetrahedral</i>
<i>Outlet Pipe</i>	0.1909	0.92355	<i>Hexahedral</i>

Setup boundary conditions : Pemasukan data kondisi awal yang digunakan berdasarkan hasil rancangan pada setiap batas dari model geometri. Data dan kondisi yang digunakan pada setiap batas bagiannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penggunaan *Boundary Conditions*

Bagian	Sisi <i>Inlet</i>	Udara Sisi <i>Inlet</i>	Gandum Sisi <i>Inlet</i>	<i>Volume Fraction</i> (u;g)	Sisi <i>Outlet</i>
<i>Inlet Pipe</i>	<i>Velocity Inlet</i>	50.76 m/s	0.559 m/s	(0.8 ; 0.2)	<i>Outflow</i>
<i>Cyclone</i>	<i>Massflow Inlet</i>	4.0287 kg/m ³	8.8725 kg/m ³	(0.8 ; 0.2)	<i>Outflow</i>
<i>Outlet Pipe</i>	<i>Velocity Inlet</i> (u)	50.76 m/s	0 m/s	(1 ; 0)	<i>Outflow</i>
	<i>Massflow Inlet</i> (g)	0 kg/m ³	08.161 kg/m ³	(0 ; 1)	

Proses perhitungan : Kondisi yang digunakan dalam proses perhitungan ini yaitu aliran dalam kondisi *steady*, mengaktifkan gaya gravitasi menuju pusat bumi dengan nilai 9.81 m/s², model aliran menggunakan *multiphase Eulerian granular flow*, dan aliran viskos menggunakan *epsilon*. Berikut adalah Tabel 3 yang menunjukkan hasil iterasi pada setiap bagiannya.

Tabel 3. Iterasi Konvergen

Bagian	Angka Iterasi Konvergen
<i>Inlet Pipe</i>	2785 - 14884
<i>Cyclone</i>	4739
<i>Outlet Pipe</i>	7418

3.3. Analisa *Massflow* Gandum

Berdasarkan data *input* dari hasil perancangan dengan kecepatan awal udara sebesar 50,76 m/s dan kecepatan awal gandum sebesar 0,559 m/s hanya dapat menghasilkan *massflow* gandum rata-rata sebesar 7,4038 kg/s yang bila diubah ke dalam ton/jam adalah sebesar 26,653 ton/jam.

Hal ini dapat diakibatkan karena kurangnya kecepatan awal gandum yang dibutuhkan untuk memindahkan gandum sebesar 37,5 kg/s, serta luas yang ditempuh gandum pun sangat berpengaruh terhadap debit gandum atau *massflow* gandum. Berikut adalah Tabel 4 hasil perbandingan antara hasil *massflow* gandum yang diperoleh dari perhitungan perancangan dan simulasi yaitu simulasi berdasarkan data perancangan.

Tabel 4. Perbandingan *Massflow* Gandum

Bagian	Kecepatan Udara	Kecepatan Gandum	Volume Fraction	Massflow Gandum
<i>Inlet Pipe</i>	50.76 m/s	0.559 m/s	0.85	37.5 kg/s
<i>Cyclone</i>	50.76 m/s	0.559 m/s	0.2	7.4038 kg/s

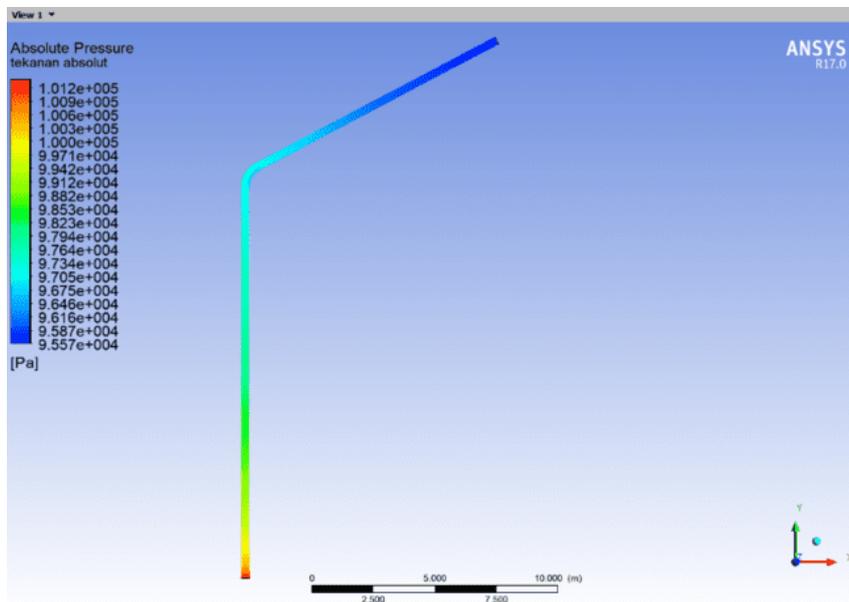
3.4. Analisa Pressure Drop

Pressure drop yang terjadi mulai dari *inlet pipe*, *cyclone*, dan *outlet pipe* berturut-turut adalah sebesar 5630 Pa, 725 Pa, dan 7000 Pa sehingga jika ditotalkan *pressure drop*-nya menjadi 13355 Pa, nilai tersebut adalah *pressure drop* yang dibutuhkan untuk memindahkan gandum sebesar 7,4038 kg/s.

Terdapat perbedaan nilai *pressure drop* dari hasil simulasi dengan hasil perancangan dan perbedaannya-pun cukup jauh, nilai *pressure drop* total hasil perancangan adalah sebesar 36844.3 Pa sedangkan hasil simulasi *pressure drop* totalnya adalah 13355 Pa, perbedaan ini dapat diakibatkan oleh asumsi yang digunakan perancang pada setiap belokan menggunakan konstanta *elbow* 90° yang sebenarnya belokan di setiap pipa tidak semuanya 90°, serta *pressure drop* total yang perancang hitung juga meliputi pipa antara *cyclone* menuju *blower* kemudian menuju ke *outlet pipe*.

3.5. Analisa Tekanan Sistem

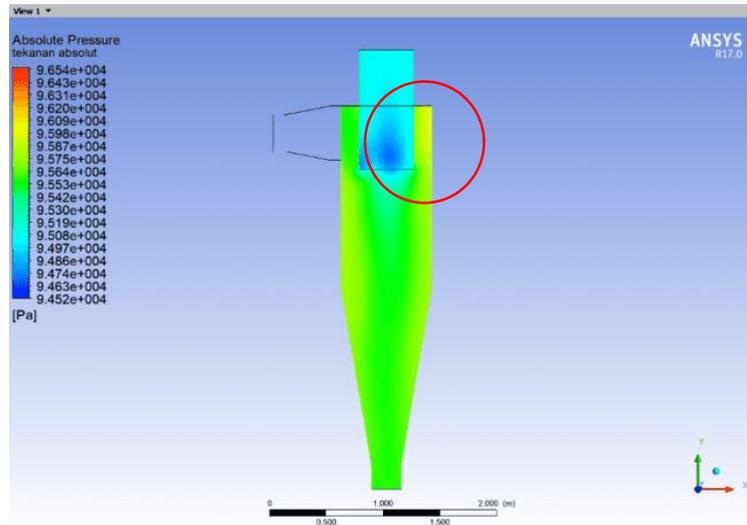
Tekanan yang terjadi pada bagian *inlet pipe* berada dibawah tekanan atmosfer (vakum) sehingga udara dari lingkungan luar akan terhisap masuk ke sisi *inlet* dan mengalir menuju sisi *outlet*, hanya saja saat di belokan seperti pada Gambar 4 terjadi penurunan tekanan di bagian bawah belokan serta peningkatan tekanan di bagian atas belokan. Hal ini dapat menimbulkan aliran udara mengalami *reversed flow* atau aliran balik tetapi karena perbedaan angka tekanannya memang tidak cukup jauh, sehingga aliran balik yang terjadipun tidak akan terlalu besar atau bahkan tidak akan terjadi.



Gambar 4. Tekanan Sistem pada *Inlet Pipe*

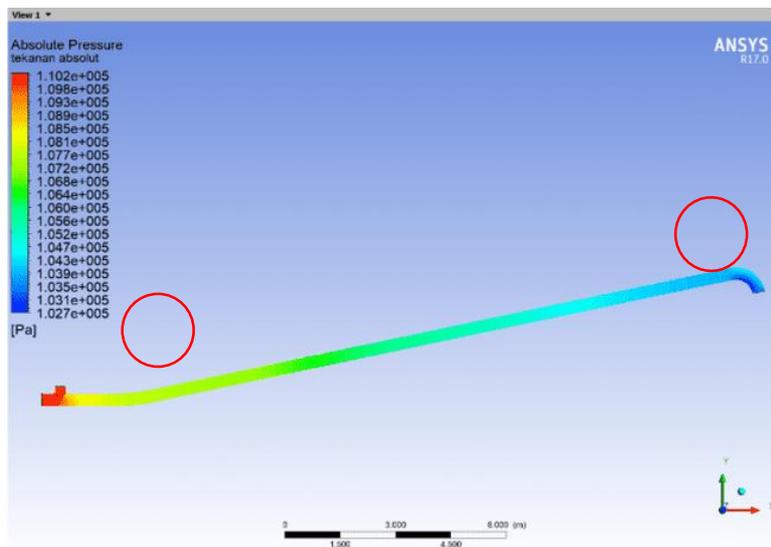
Tekanan yang terjadi pada bagian *cyclone* melanjutkan dari tekanan pada *inlet pipe* sehingga tekanannya lebih rendah lagi dan yang paling vakum berada dibagian atas *cyclone* karena menuju sisi hisap *blower*, distribusi tekanan pada *cyclone* memiliki tekanan tinggi dipinggir serta rendah dibagian tengah karena dimaksudkan agar udara mengalir secara berputar dari pinggir menuju ke tengah *cyclone*, hanya saja dibagian atas *cyclone* seperti pada Gambar 5 terdapat tekanan yang rendah bila dibandingkan dengan tekanan di sekelilingnya yang nantinya dapat mengacaukan

aliran udara yang keluar akan menjadi berbalik pada bagian atas *cyclone*. Aliran balik dibagian atas *cyclone* dapat tidak terjadi karena perbedaan tekanan bagian yang dilingkar merah dengan tekanan di sekelilingnya bernilai rendah.



Gambar 5. Tekanan Sistem pada Cyclone

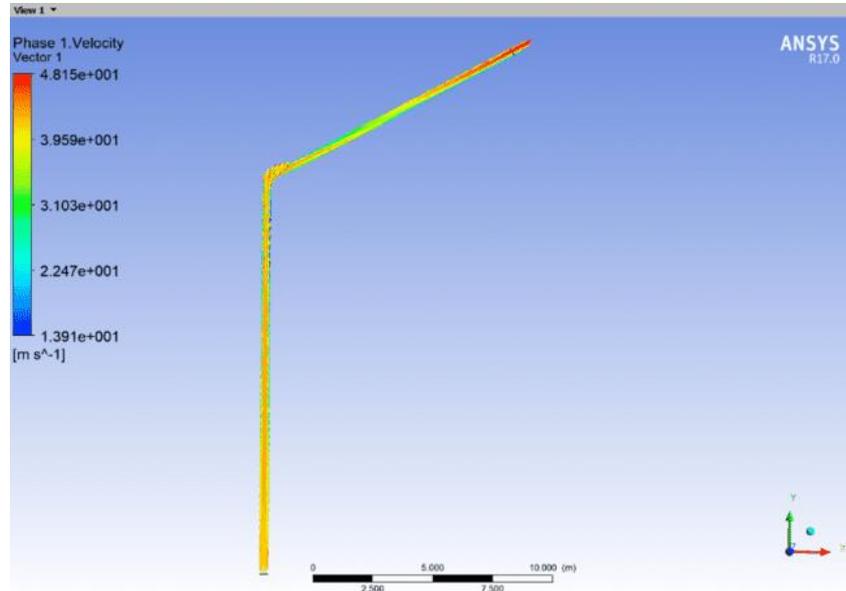
Tekanan yang terjadi pada bagian *outlet pipe* berada diatas tekanan atmosfer karena merupakan lanjutan dari sisi *discharge blower* yang tekanannya tinggi dan akan keluar menuju ke lingkungan atmosfer pada sisi *outlet*-nya sehingga udara akan mengalir dari sisi *inlet* menuju sisi *outlet*, hanya saja saat di bagian sambungan T dan di elbow 90° terdapat penurunan tekanan seperti pada Gambar 6. Hal ini dapat merugikan karena pada sambungan T tersebut udara dapat masuk ke sisi *inlet*-gandum sehingga menghalangi gandum untuk jatuh dan perbedaan tekanan ini dapat menghambat udara yang keluar kesisi *outlet* karena akan muncul *reversed flow* di bagian sambungan dan *elbow* tersebut, untuk mengurangi efek penurunan tekanan maka kemiringan *elbow* harus kurang dari 90°.



Gambar 6. Tekanan Sistem pada Outlet Pipe

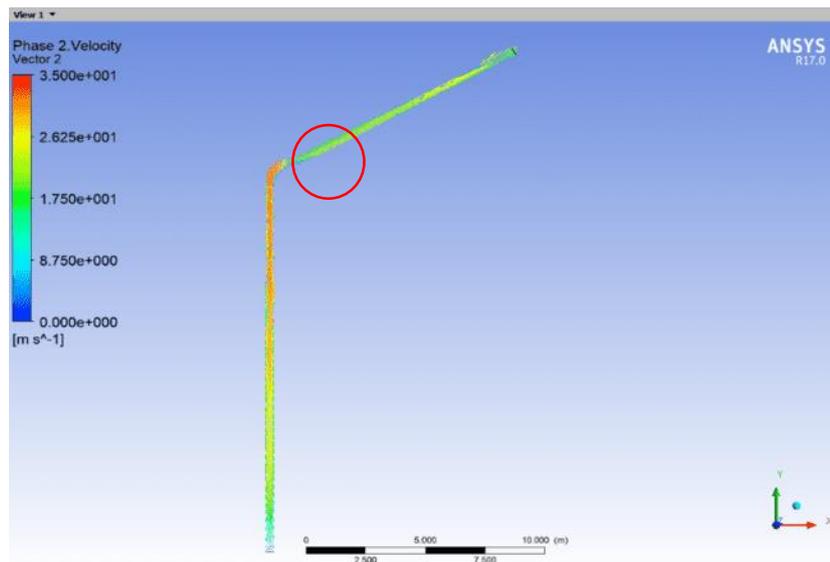
3.6. Analisa Kecepatan Sistem

Udara dapat mengalir dari sisi *inlet* menuju ke sisi *outlet* tetapi kecepatan udara yang terjadi pada bagian *inlet pipe* tidak seragam seperti Gambar 7, di bagian dinding pipa kecepatannya selalu lebih rendah dibandingkan dibagian tengahnya fenomena ini dikarenakan dinding yang dilalui udara dalam keadaan diam, saat di belokan aliran udara tidak berbalik dikarenakan penurunan tekanan yang terjadi bernilai rendah.

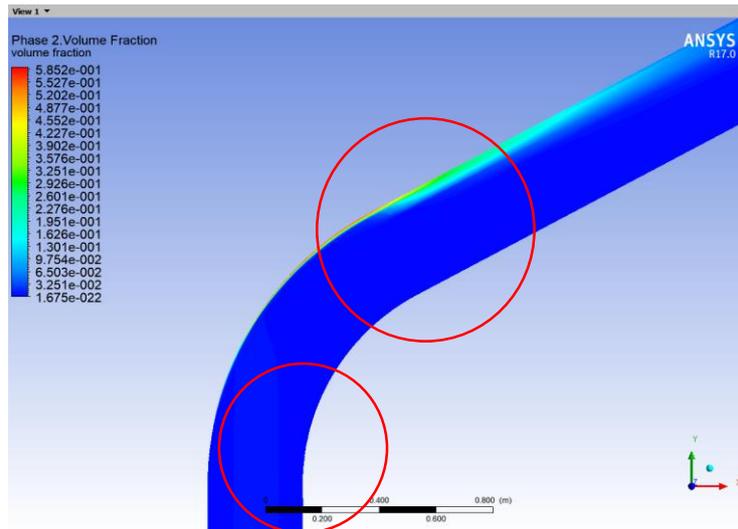


Gambar 7. Kecepatan Udara pada *Inlet Pipe*

Gandum yang masuk ke sisi *inlet* dapat mengalir keluar menuju sisi *outlet* karena adanya gaya dorong dari udara sehingga terjadi peningkatan kecepatan gandum seperti pada Gambar 8, tetapi saat keluar belokan kecepatan gandum menurun. Penurunan kecepatan gandum diakibatkan oleh adanya tumbukan yang terjadi pada belokan pipa, sehingga gandum yang menabrak dinding pipa seketika berkurang kecepatannya. Sebelum terjadinya tumbukan pada belokan pipa, gandum sudah dalam posisi melayang didalam pipa sehingga dapat diartikan bahwa gandum mencapai fasa *dilute* seperti pada Gambar 9 tetapi karena terjadi tumbukan aliran gandum menjadi kacau sehingga tidak melayang kembali.

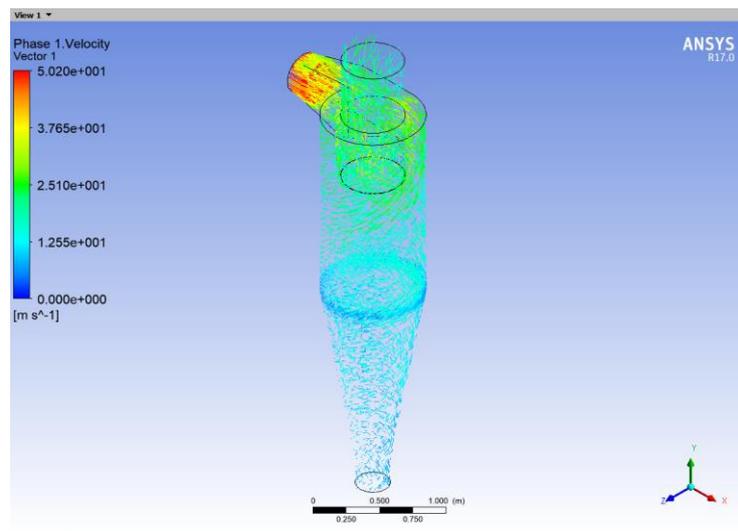


Gambar 8. Kecepatan Gandum pada *Inlet Pipe*



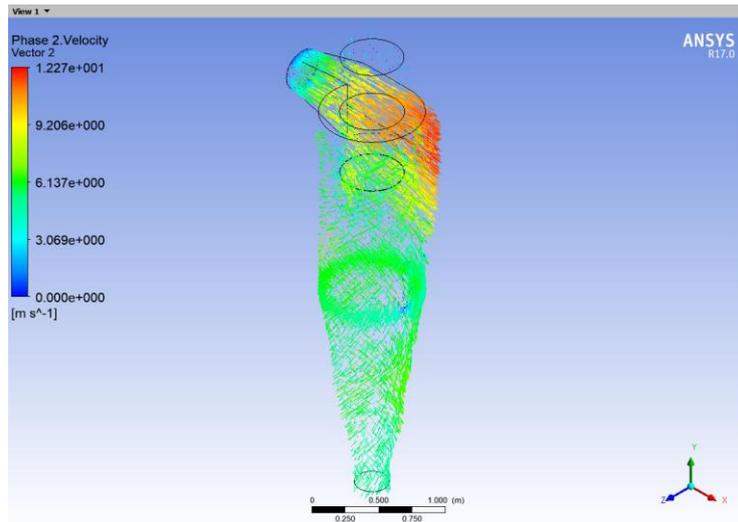
Gambar 9. Volume Fraction pada Inlet Pipe

Udara yang masuk ke bagian *cyclone* dapat berputar searah dengan jarum jam (*clockwise*) serta keluar menuju sisi *outlet*-udara yang tekanannya paling rendah, tetapi kecepatan udara saat memasuki *cyclone* mengalami penurunan karena adanya perbesaran penampang pada sisi *inlet cyclone* seperti pada Gambar 10. Mayoritas dari udara keluar menuju sisi *outlet*-udara yang berada dibagian atas *cyclone* sedangkan udara yang keluar menuju sisi *outlet*-gandum yang berada dibagian bawah *cyclone* hanya sebagian kecil saja.

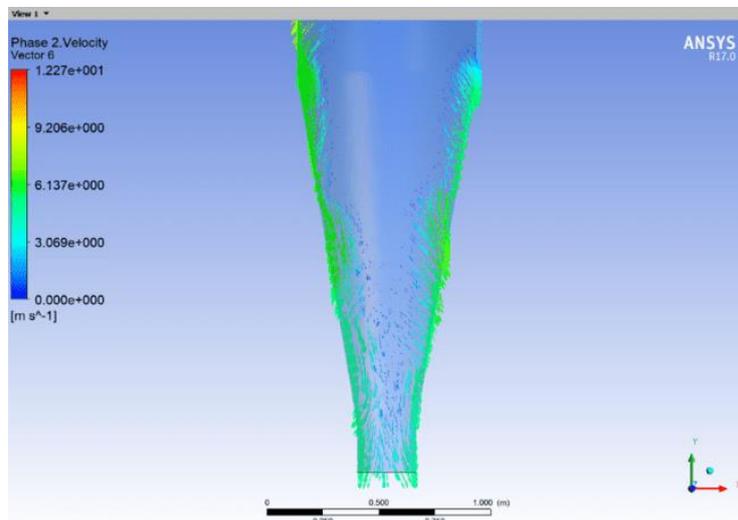


Gambar 10. Kecepatan Udara pada Cyclone

Gandum yang masuk ke dalam *cyclone* terlempar sempurna karena adanya gaya sentrifugal yang terjadi pada *cyclone* sehingga gandum dapat keluar menuju ke sisi *outlet*-gandum yang berada dibagian bawah *cyclone* karena densitasnya tinggi, adapun gandum yang keluar ke sisi *outlet*-udara sangatlah sedikit seperti pada Gambar 11. Saat gandum masuk dan meningkat kecepatannya, gandum mengalami tumbukan ke dinding *cyclone* sehingga kecepatannya menurun. Pada bagian bawah *cyclone* terdapat gandum yang sudah terlempar ke dinding lalu terbawa oleh aliran udara ke bagian tengah *cyclone* seperti pada Gambar 12 tetapi karena kecepatan udara sangat rendah gandum tetap jatuh kebawah dan tidak terbawa ke atas oleh aliran udara.

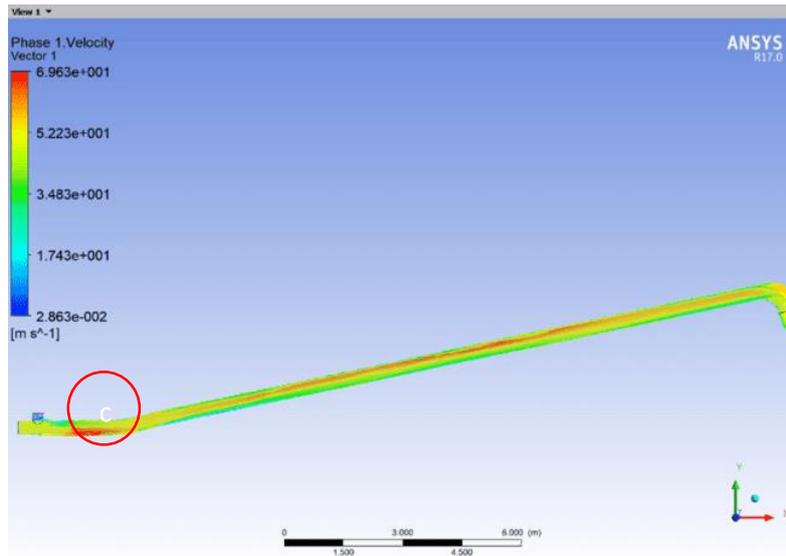


Gambar 11. Kecepatan Gandum pada Cyclone



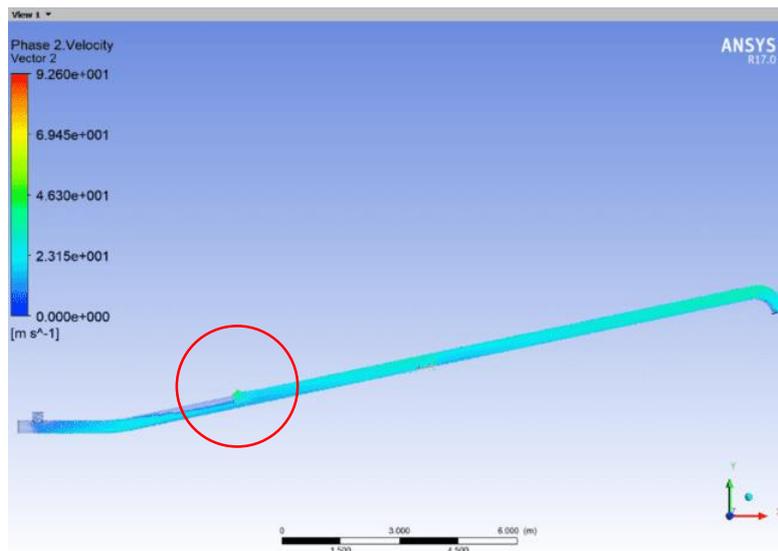
Gambar 12. Aliran Gandum pada Cyclone

Udara dapat mengalir dari sisi *inlet*-udara menuju ke sisi *outlet* tetapi terdapat aliran udara yang masuk ke dalam pipa sisi *inlet*-gandum yang dimana ini dapat mengganggu jatuhnya gandum ke pipa seperti pada Gambar 13. Pada *elbow* 90° tidak terjadi aliran udara yang berbalik karena penurunan tekanan yang terjadi pada bagian *elbow* bernilai rendah. Kecepatan udara tinggi pada bagian tengah pipa dan rendah dibagian dinding pipa ini dikarenakan dinding yang dilalui oleh aliran fluida dalam keadaan diam.



Gambar 13. Kecepatan Udara pada *Outlet Pipe*

Gandum yang jatuh dari sisi *inlet*-gandum dapat mengalir keluar ke sisi *outlet*, karena gandum yang jatuh dapat langsung didorong oleh udara seperti pada Gambar 14. Kecepatan gandum yang terjadi pada *outlet pipe* relatif seragam tetapi tetap ada tumbukan gandum pada saat pipa belok naik sehingga terdapat ruang kosong pada pipa karena gandum tidak berbelok.



Gambar 14. Kecepatan Gandum pada *Outlet Pipe*

4. Kesimpulan

Dengan serangkaian proses simulasi yang telah dilakukan berdasarkan input data dan spesifikasi perancangan teoritik, kapasitas *conveyor* yang dihasilkan berdasarkan metode numerik (CFD) adalah 26,653 ton/jam sementara kapasitas teoritiknya sebesar 135 ton/jam. Berdasarkan hasil dari kontur laju aliran gandum dalam pipa dengan kecepatan udara 50,76 m/s sudah dapat membuat gandum melayang di dalam pipa sehingga mencapai fasa *dilute* serta pemanfaatan gaya sentrifugal pada *cyclone*, hal ini menunjukkan bahwa prinsip perpindahan massa 2 fasa sudah berfungsi dengan baik untuk memisahkan fluida udara dengan butiran gandum.

5. Saran

Tumbukan gandum dan penurunan tekanan sering terjadi pada bagian belokan pipa, oleh karena itu harus ada penyesuaian dimensi pada setiap jalur belokan conveyor

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terimakasih kepada PT. Medina *Engineering*, yang telah mendukung pendanaan penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

- [1] Ansys, Inc. 2009. *Ansys Fluent 12.0 User's Guide*. PathScale Corporation.
- [2] Ansys, Inc. 2016. *Ansys Fluent 17.0 User's Guide*. Southpointe, Canonsburg.
- [3] Renaldi, Gitra. 2018. *Perancangan Sistem Mekanika Pneumatic Grain Conveyor Kapasitas 135 ton/jam*. Sarjana Skripsi, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [4] Klinzing, G.E., Marcus, S, Leung, L.S. 2010. *Pneumatic Conveying of Solids*. New York : Springer, Springer Dordrecht Heidelberg London.
- [5] Suantika, Komang. 2008. Simulasi Alat Uji Dua Fasa (Gas-Solid) Di Dalam Pipa Dengan Menggunakan Perangkat Lunak CFD Fluent. Sarjana Skripsi, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [6] Tuakia, Firman. 2008. Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent. Bandung : Informatika.