

KAJIAN NUMERIK PENGARUH GEOMETRI *PIG LAUNCHER* PADA PROSES *PIG LAUNCHING* DI PROYEK JAKARTA TANK TERMINAL (PHASE 2A1)

Ahmad Wildan Hakim^{1*}, Emie Santoso², Burniadi Moballa³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: wildan.hakim@student.ppn.ac.id^{1*}

Abstract - The current design of the cleaning tool used for oil pipe pipes is largely based on the results of experimental information. So there are still questions regarding the behavior of this tool during the launch of the Pig. This study aims to model the pig launching process using the CFD method and then analyze the influence of the pig launcher geometry on the process of translating the pig from the barrel into the reducer and get the force received by the pig on each variation, thus obtaining the most optimal pig launcher geometry. Foam pig and pig launcher are modeled using the Salome Platform and then imported into StarCCM+ software for grid independence, setup simulation, solution simulation and simulation parameter analysis. In the results of the simulation there is a color difference that indicates the big velocity in the pig launcher, the difference in each variation shows the angle of eccentric reducer also affects the velocity profile so that it affects pig translation behavior in the pig Launcher. The geometry of pig launcher eccentric reducer 5° is the most optimal geometry among the three variations based on the average of each parameter is the smallest translation in the mean y-axis and Z-7.32 e-05 m and 6.72 e-03 m, the average force largest directional axis x 3.332 N, the largest velocity average of the x-axis direction is 0.3425 m/s, and the smallest pig orientation is 0.2682°.

Keyword: Pigging, Pig Launcher, Pig Launching, Eccentric Reducer dan Overset Mesh

Nomenclature:

Re : Reynolds Number

ρ : Density (kg/m³)

v : Velocity (m/s)

D : Inside Diameter (m)

μ : Dynamic Viscosity (kg/m.s)

V : Volume (m³)

I : Turbulence Intensity

l : Turbulence Length Scale (m)

k : Turbulence Kinetic Energy (J/kg)

ω : Turbulence Omega (s)

1. PENDAHULUAN

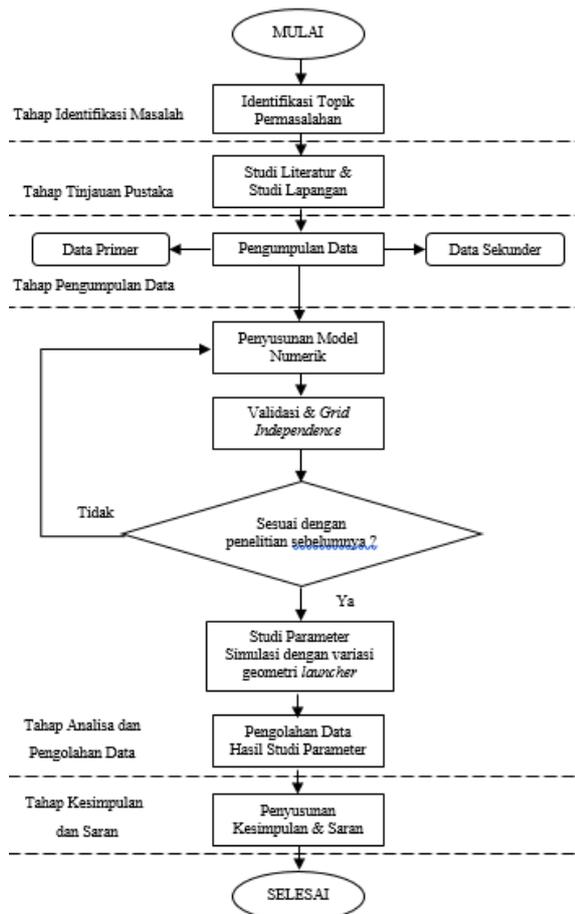
PT Jakarta Tank Terminal Phase 2A Project adalah sebuah proyek pengembangan dan perluasan distribusi bahan bakar yang mengalirkan fluida Mogas, Fame/biodiesel dan Ethanol. Dalam pendistribusiannya tentunya menggunakan sistem perpipaan yang kompleks. Ketika sistem perpipaan menyalurkan fluida, maka keandalan sistem pengaliran fluida harus terjamin. Hambatan dan losses yang terjadi dalam pipa penyalur harus dihindari, supaya fluida bisa mengalir dengan lancar. Agar dapat mencapai tujuan, maka harus secara rutin dilakukan pembersihan pada bagian dalam pipa. Penelitian tentang pigging telah dilakukan oleh berbagai ahli. Nguyen [4] telah melakukannya dalam bentuk simulasi, pada rangkaian sistem perpipaan

gas. Selanjutnya Minami bersama Shoham [3], Hoi [2] dan Saeidbakhsh [5] sudah melakukan pemodelan dalam bidang tiga dimensi untuk dinamika pig. Saat ini desain alat pembersih yang digunakan untuk pipa penyalur minyak sebagian besar berdasarkan dari hasil informasi eksperimen. Perusahaan besar dan pusat penelitian, merancang alat yang tepat untuk operasi mereka, tetapi masih ada pertanyaan yang berkenaan dengan perilaku alat ini di saat proses peluncuran pig. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan dalam CFD memungkinkan untuk menganalisa fenomena kompleks dalam banyak aplikasi di industri, dan berpartisipasi dalam peningkatan teknologi.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan proses pigging menggunakan metode CFD pada saat translasi pig dari barrel ke reducer pada pig launcher. Serta perhitungan besar gaya yang diberikan terhadap pig pada setiap variasi geometri pig launcher ditinjau dari sisi fluid-solid interaction. Fokus penelitian ini untuk mendapatkan geometri launcher dan sudut eccentric reducer yang paling optimal pada pig launcher.

2. METODOLOGI

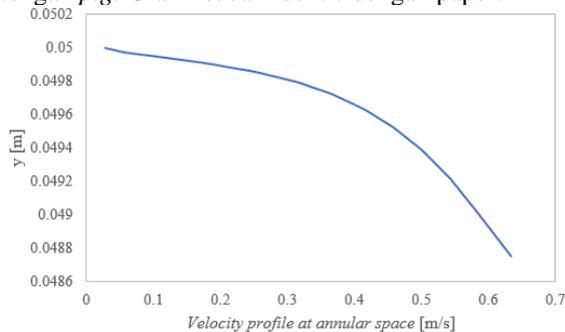
2.1. Diagram Alir



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

2.2. Validasi

Penelitian ini memerlukan validator untuk menentukan setup yang sesuai dengan case yang serupa. Validator pada penelitian ini menggunakan jurnal yang berjudul “CFD Analys Of Phenomena Attribute To Pigging Run In A Pipeline” oleh Manuel A. Borregales[1]. Pada tugas akhir ini penulis melakukan validasi result terbaik dari jurnal dengan melalui 4 tahap, yaitu *model*, *mesh*, *setup*, dan *result*. Berikut adalah hasil validasi grafik dari simulasi yang diambil pada $t = 3,5$ s dan pada titik y 0.4875 dari tengah *pig*. Grafik sudah identic dengan paper.

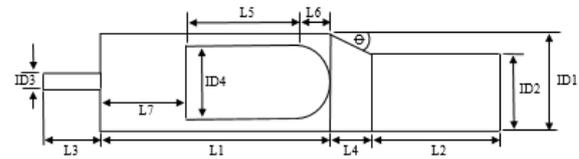


Gambar 1. Hasil Validasi grafik kecepatan pada foam pig

2.3. Variasi

A. Pemodelan Foam Pig dan Pig Launcher Ecc. Reducer 25°, 16°, 5°

Pemodelan dilakukan menggunakan *software platform* Salome 8.3 dengan data dimensi pada table 1. *Pig launcher* dimodelkan *solid*, sedangkan *pig* dimodelkan seperti tabung *solid* yang di dalamnya terdapat rongga berbentuk geometri *foam pig*, kemudian akan diletakkan didalam *barrel*. Tabung *solid* tersebut digunakan sebagai *overset* saat disimulasikan.



Gambar 2. Detail ilustrasi pig launcher dan foam pig

Tabel 1. Geometri Validasi Paper

Parameter	Nilai	Simbol
Inside Diameter Nominal Bore Section	1	ID2
Panjang Nominal Bore Section	1.652362	L2
Inside Diameter Barrel	1.255105	ID1
Panjang Barrel	2.959455	L1
Inside Diameter Kicker Line	0.211206	ID3
Panjang Kicker Line	0.739863	L3
Panjang Ecc. Reducer 25°	0.547499	L4
Panjang Ecc. Reducer 16°	0.877971	L4
Panjang Ecc. Reducer 5°	2.915063	L4
Sudut Eccentric Reducer	25°, 16°, 5°	Θ

Tabel 2. Data model geometri Foam Pig

Parameter	Nilai	Simbol
Diameter	1	ID4
Panjang body	1.441896	L5
Panjang head pig	0.5	L6
Jarak peletakan pig	1.017559	L7

B. Grid Independence

Pada tahap ini akan ditentukan bentuk dan *setting mesh* yang sesuai dengan *pig* dan *pig launcher* supaya tidak terjadi error saat simulasi dijalankan, pada penelitian ini menggunakan *automated mesh* pada *software* StarCCM+14 untuk *pig* dan *pig launcher*.

Tabel 3. Jumlah mesh

Mesh	cells	faces	vertices
PL ecc. reducer 25°	526203	1559440	541097
PL ecc. reducer 16°	556359	1648621	571802
PL ecc. reducer 5°	747094	2215617	768620

C. Setup Simulasi

Pada tahap selanjutnya akan ditentukan setup yang sesuai dengan proses *pigging* sebenarnya. Setup dan simulasi menggunakan metode CFD dimana setting dapat dilakukan di region dan DFBI. Berikut adalah beberapa perhitungan yang perlu dilakukan :

1. *Body mass* yaitu rasio antara massa *pig* dibagi dengan massa nitrogen seukuran *pig* tersebut.

$$\text{Massa nitrogen} = V \text{ pig} \times \rho \text{ nitrogen} \quad (1)$$

$$\text{Massa pig} = V \text{ pig} \times \rho \text{ pig} \quad (2)$$

$$\text{Body mass} = \frac{\text{Massa pig}}{\text{Massa nitrogen}} \quad (3)$$

2. Reynolds Number dari *Nominal Bore Section* (pipa)

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (4)$$

3. Turbulence intensity

$$I = 0.16 \times (Re)^{-\frac{1}{8}} \quad (5)$$

4. Turbulence length scale

$$l = 0.07 \times L \quad (6)$$

5. Turbulent Kinetic Energy

$$k = \frac{3}{2} (U \times I)^2 \quad (7)$$

6. Turbulence Omega

$$\omega = \frac{k^{\frac{1}{2}}}{C_{\mu}^{\frac{1}{4}} \times l} \quad (8)$$

7. U inlet (kecepatan di inlet)

$$U_{inlet} = \frac{U_{pipa} \times A_{pipa}}{A_{inlet}} \quad (9)$$

D. Solution Simulasi

Pada *setting boundaries* dan *solvers* dilakukan beberapa penganturan dan penentuan *solver* agar simulasi sesuai yang diharapkan. Berikut pengaturan tersebut:

1. Boudaries

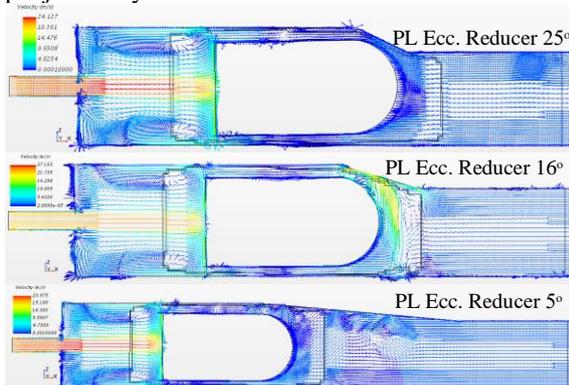
Pada region *pig launcher* yaitu *InletPL* (*type* kecepatan inlet), *OutletPL* (*type* pressure outlet), dan *WallPL* (*type* wall) sedangkan pada region *pig* yaitu *innerwall* (*type* wall) dan *oversetPatch* (*type* overset mesh).

2. Solvers

Pada penelitian ini *solver* yang dipakai yaitu *implicit unsteady*, *6-DOF solver*, *6-DOF motion*, *load balancing*, *Partitioning*, *wall distance*, *segregated flow*, *K-Omega turbulence*, dan *K-Omega turbulence viscosity*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

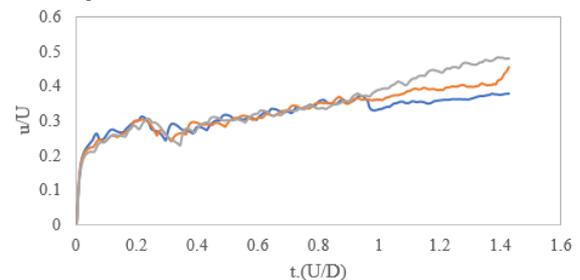
Setelah simulasi dijalankan menggunakan metode CFD, hasil yang didapatkan berupa profil vector kecepatan dan *report*, dimana *report* berisi nilai yang kemudian akan dijadikan sebuah grafik gaya (arah sumbu x, dan y), grafik translasi (arah sumbu x, y dan z), grafik orientasi (arah sumbu x, y dan z), dan grafik kecepatan arah sumbu (x, y dan z). Grafik diambil dari waktu 0-1.428 detik dan dengan rentang waktu 0.001 detik. Berikut adalah grafik tersebut dan penjelasannya.



Gambar 3. Hasil profil vector kecepatan dari simulasi pigging

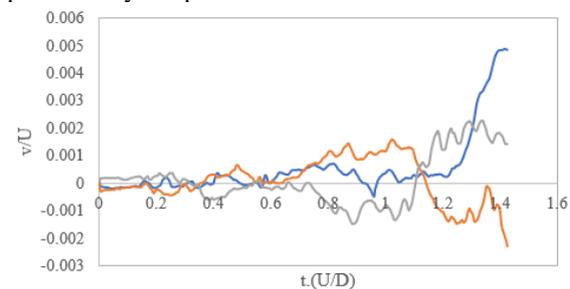
Terlihat pada gambar 3 terdapat perbedaan warna yang menunjukkan besar kecepatan di dalam *pig*

launcher, warna merah dan jingga di *inlet* menunjukkan bahwa ada kecepatan yang tinggi yakni gas nitrogen yang mendorong *foam pig* supaya dapat meluncur. Kecepatan selain memiliki besaran juga memiliki arah atau disebut vector, terdapat panah kecil yang merepresentasikan arah kecepatan. Dengan ini dapat diketahui saat fluida di tembakkan mengarah tepat membentur belakang *pig*, kemudian mengarah ke dinding barrel dan terjadi seperti pusaran. Ada beberapa panah mengarah kekanan dan kekiri, seperti di sekeliling badan *pig*. Disekitar *reducer* juga terdapat panah yang tidak beraturan arahnya, bisa dipastikan bahwa disitu terjadi pusaran-pusaran aliran akibat kecepatan yang menabrak *eccentric reducer*. Sudah terbukti bahwa sudut *eccentric reducer* mempengaruhi proses pigging dilihat dari hasil grafik maupun gambar yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan. Pada penelitian ini juga ingin diketahui bagaimana profil kecepatan di setiap variasi sehingga dibuat grafik kecepatan terhadap waktu. Berdasarkan kesepakatan para ilmuwan simbol kecepatan pada arah sumbu dibedakan menjadi tiga yaitu pada sumbu x = u, sumbu y = v, dan sumbu z = w.



Gambar 3. Grafik kecepatan pada pig arah sumbu x

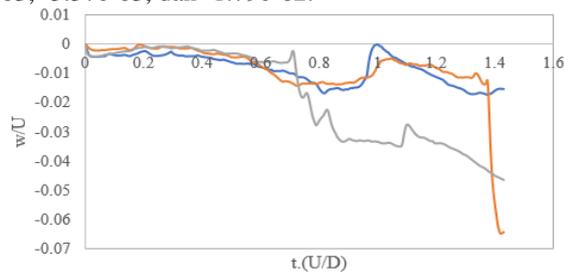
Terlihat bahwa kecepatan arah sumbu x terus meningkat seiring waktu berjalan dan beberapa kali mengalami fluktuatif penurunan yang relatif kecil. Pada saat *pig* mendekati *reducer* mulai terlihat perbedaan yaitu pada waktu 0.98 detik.



Gambar 4. Grafik kecepatan pada pig arah sumbu y

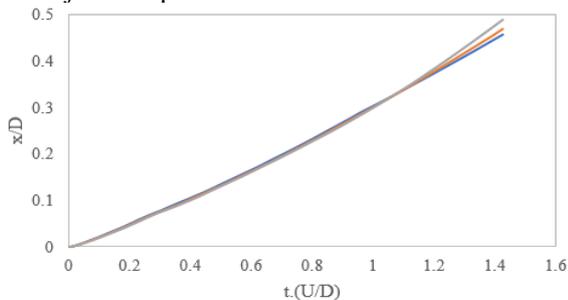
Berbeda dengan grafik kecepatan arah x yang nilainya cukup tinggi, pada grafik kecepatan arah y dan arah z terlihat nilai sangat kecil pada waktu 1.428 detik variasi PL 25°, PL 16°, PL 5° yaitu dengan rata-rata 4.95e-04, 8.35e-05, dan 1.03e-04. Sedangkan

pada grafik kecepatan arah z dengan rata-rata $-8.42e-03$, $-5.57e-03$, dan $-1.79e-02$.



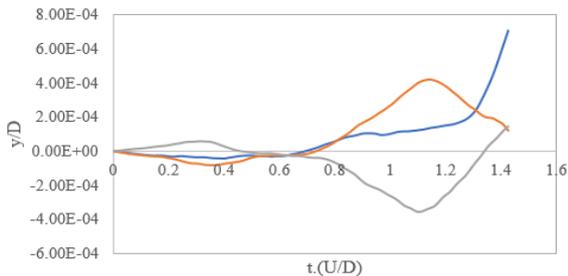
— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 5. Grafik kecepatan pada pig arah sumbu z

Selain besar kecepatan yang didapatkan, kita juga dapat mengetahui posisi pig terhadap waktu melalui simulasi ini. Posisi pig diketahui berdasarkan koordinat pusat massa (*center of mass*) pig itu sendiri. Seperti pada gambar 6 terlihat grafik terus naik pada masing-masing variasi, hal itu menunjukkan bahwa pig terus bergerak kedepan (+x). Hasil yang didapatkan yaitu pergerakan pig pada pig launcher 5° lebih jauh daripada variasi 25° dan 16°.



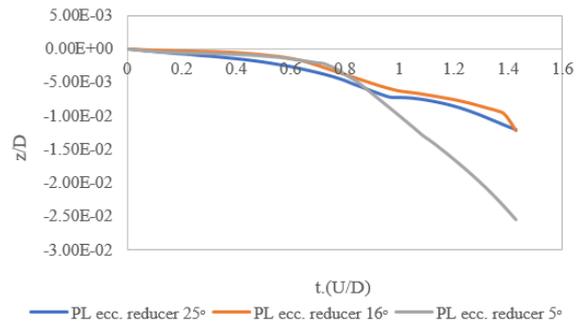
— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 6. Grafik translasi pada pig arah sumbu x

Pada gambar 7 grafik terus fluktuatif naik dan turun menunjukkan bahwa pig bergerak kekanan (+y) dan kiri (-y). Hasil yang didapatkan yaitu pergerakan pig pada pig launcher 25° cenderung bergerak kekanan dengan rata-rata translasi $7.06e-05$. Pergerakan terjauh kekanan dari variasi PL 25° sejauh $7.05e-04$ saat 1.428 detik.



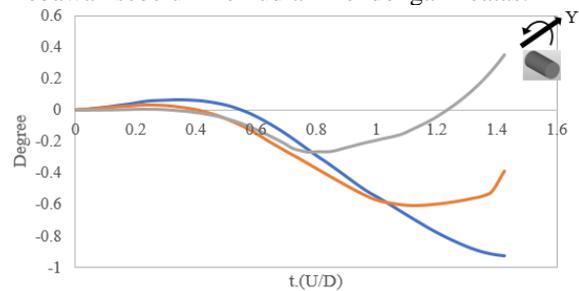
— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 7. Grafik translasi pada pig arah sumbu y

Pada gambar 8 terlihat grafik terus menurun pada masing-masing variasi, hal itu menunjukkan bahwa pig terus bergerak kebawah (-z). Hasil yang didapatkan yaitu pergerakan pig pada pig launcher 5° lebih jauh daripada variasi 25° dan 16°.



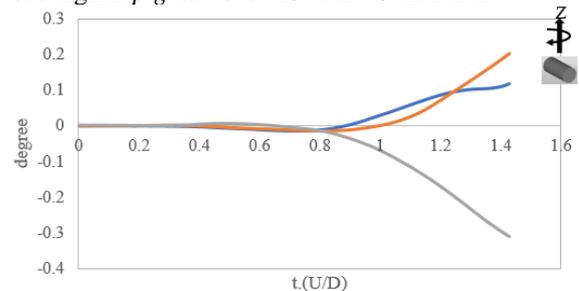
— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 8. Grafik translasi pada pig arah sumbu z

Dengan grafik *Orentation* dapat diketahui berapa derajat sudut kemiringan dengan titik pusat pig itu sendiri. Pada gambar 9 menunjukkan pig mengalami sedikit kemiringan beberapa derajat pada acuan sumbu y, artinya pig tersebut sedikit menunduk kebawah sebelum kemudian mendongak keatas.

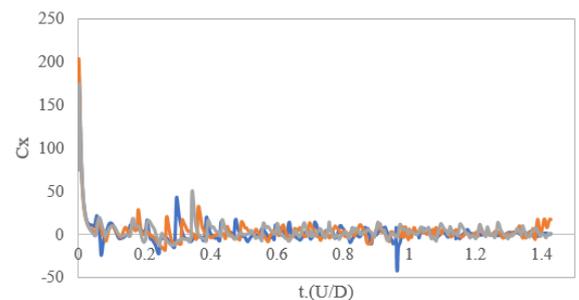


— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 9. Grafik orientasi pada pig arah sumbu y

Pada gambar 10 menunjukkan pig mengalami sedikit kemiringan beberapa derajat pada acuan sumbu z, artinya pig tersebut berbelok kearah kanan atau kiri. Pig launcher sudut 5° cenderung berbelok kekiri, sedangkan pig launcher 25° dan 16° kekanan.

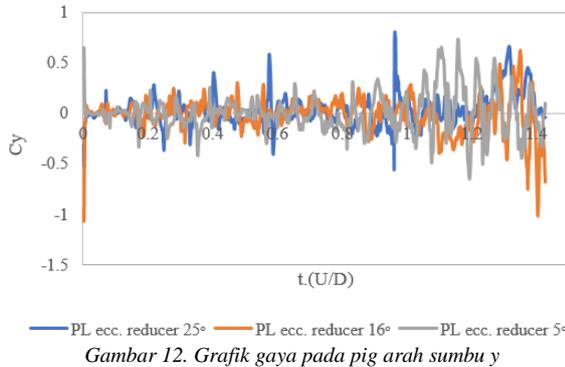


— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 10. Grafik orientasi pada pig arah sumbu z



— PL ecc. reducer 25° — PL ecc. reducer 16° — PL ecc. reducer 5°
 Gambar 11. Grafik gaya pada pig arah sumbu x

Pada grafik diatas merupakan nilai gaya (sumbu y grafik) dengan waktu (sumbu x grafik). Gaya yang dialami oleh dinding *pig* akibat dari hasil total *force pressure* dan *force viscous* masing-masing sumbu, semisal *force pressure* arah sumbu x akan dijumlahkan dengan *force viscous* arah sumbu x dan begitu juga dengan *force* di sumbu y.



Gambar 12. Grafik gaya pada *pig* arah sumbu y

Pada kedua grafik gaya terlihat fluktuasi naik dan turun yang berbeda pada masing-masing variasi. Nilai minus menunjukkan *pig* terdorong kebelakang (-x) dan kekiri (-y) sedangkan nilai plus menunjukkan *pig* terdorong kedepan (+x) dan kekanan (+y).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, dapat menjadi kesimpulan sebagai berikut

1. Hasil simulasi terlihat perbedaan warna yang menunjukkan besar kecepatan dan arah aliran di dalam *pig launcher*, perbedaan hasil yang besar pada setiap variasi menunjukkan geometri *pig launcher* variasi sudut *eccentric reducer* juga mempengaruhi sehingga berdampak pada laju *pig* di dalam *pig launcher*.
2. Didapatkan nilai translasi *pig* tertinggi bergerak kearah sumbu x yaitu pergerakan *pig* pada *pig launcher* 5° lebih jauh daripada variasi 25° dan 16°, dengan translasi rata-rata 0,212 m, 0,211 m, dan 0,213 m. Nilai translasi tertinggi bergerak kearah sumbu y yaitu pada *pig launcher* 25° cenderung bergerak kekanan daripada variasi 16° dan 5°, dengan dengan rata-rata translasi 7.06e-05 m, 9.37e-05 m, dan -7.32e-05 m. Nilai translasi tertinggi bergerak kearah sumbu z yaitu pada *pig launcher* 5° cenderung bergerak kebawah daripada variasi 16° dan 5°, dengan rata-rata -4.55e-03 m, -3.66e-03 m, dan -6.72e-03 m. Pergerakan *pig* diikuti kemiringan sudut dikarenakan saat tranlasi terjadi turbulensi. Nilai kemiringan sudut pada sumbu acuan z pada variasi PL 25° dan PL 16° cenderung berbelok kekanan, sedangkan PL 5° cenderung berbelok kekiri. Sedangkan pada sumbu acuan z *pig* tersebut awalnya cenderung menunduk kebawah sebelum kemudian mendongak keatas.
3. Gaya yang diterima oleh *pig* berbeda pada setiap variasi. Didapatkan nilai gaya tertinggi pada arah sumbu x artinya gaya yang mendorong *pig*

kedepan. Pada variasi *pig launcher eccentric reducer* 25°, 16° dan 5° menunjukkan nilai gaya rata-rata sebesar 2,637 N, 3,164 N dan 3,332 N. Gaya rata-rata yang terjadi naik dengan naiknya sudut. Sedangkan gaya arah sumbu y semakin besar seiring bertambahnya waktu. Otomatis dengan adanya gaya yang besar maka akan membuat kecepatan *pig* bertambah dan didapatkan nilai kecepatan tertinggi terjadi searah sumbu x pada variasi *pig launcher eccentric reducer* 25°, 16° dan 5° menunjukkan nilai dengan rata-rata 0.3207 m/s, 0.3286 m/s, dan 0.3425 m/s. Sedangkan pada arah sumbu y dan z kecepatan relative tidak terpengaruh dengan adanya perbedaan variasi sudut.

4. Geometri *pig launcher eccentric reducer* 5° adalah geometri yang paling optimal diantara ketiga variasi berdasarkan rata-rata dari setiap parameter yaitu rata-rata translasi terkecil kearah sumbu y dan z yaitu -7.32e-05 m dan 6.72e-03 m, rata-rata gaya terbesar arah sumbu x 3,332 N, rata-rata kecepatan terbesar arah sumbu x 0.3425 m/s, dan *pig* orientasi terkecil yaitu -0,2682°.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan doa, dukungan moril serta materil, dan segalanya bagi penulis.
2. Ibu Ir. Emie Santoso, M.T. dan Bapak Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
3. PT. Tripatra Engineers And Constuctors yang telah memberi kesempatan untuk On The Job Training di sana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Borregales, A M. Asuje, and Ruben E.(2014). CFD Analysis Of Phenomena Attributed To Pigging Run In A Pipeline. IMECE,14: p.3-10
- [2] Hoi, Che Yeung (2002). Modeling of Pig Assisted Production Methods. J. Energy Resour. Technol., March 2002, Volume 124, Issue 1, 8.
- [3] Minami, Kazuiooshi and Shoham, Ovadia (1993) Pigging Dynamics in two-phase flow pipelines : Experiments and modeling, in 68th Annual Technical Conference and exhibition of the SPE, Houston Texas, 3-6 October 1993.
- [4] Nguyen T.T., Kim S.B., Yoo H.R., Rho Y.W. (2001) Modeling and simulation for pig flow control in natural gas pipeline, KSME Int. J. 15, 8, 1165-1173.
- [5] Saeidbakhsh, M. Rafeeyan and S. Ziaei-Rad, M. (2009). Dynamic Analysis of Small Pigs in Space Pipelines, Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 64 (2009), No. 2, pp. 155-164.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)