

Karakteristik Kecepatan Check Valve Tipe Ball Pompa Perpindahan Positif Controlled Volume dengan Simulasi CFD

Yunanto Handy Nugroho¹, Muhammad Agung Bramantya²
yunantohandynugroho@mail.ugm.ac.id¹, bramantya@ugm.ac.id²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri,
Universitas Gadjah Mada

Alamat: Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa
Yogyakarta 55281

Korespondensi penulis: yunantohandynugroho@mail.ugm.ac.id

Abstract. *In order to achieve production targets for fuel and petrochemical products to support national energy security, reliable equipment is needed to support the operation of petroleum processing refineries. Main equipment such as injection pumps must be able to adapt to the expected operational conditions. Check valve is one of the supporting components of injection pump reliability. Research was conducted to determine the velocity characteristics of two ball type check valve designs using Computational Fluid Dynamics (CFD) numerical simulations. In this research, three variations of pump stroke length were simulated, namely 25%, 50% and 100% with three variations of solid particle size, namely 200, 250 and 300 microns. The fluid that passes through the check valve is a solid-liquid mixture of catalyst and particles. The analysis carried out is by comparing the velocity values as well as the flow patterns produced for each variations used. The simulation results show that of all the variations tested, the model with a stroke length of 100% produces the maximum velocity. In addition, the size of solid particles is inversely proportional to fluid velocity and flow. From the results of this research, it was also found that model 2 has more potential for backflow towards suction, and also model 2 has more potential for clogging because particles that should flow stop inside the check valve.*

Keywords – catalyst injection pump, ball type check valve, computational fluid dynamics (CFD), characterization

PENDAHULUAN

Pompa perpindahan positif banyak digunakan dalam industri petroleum, chemical, dan gas untuk memindahkan fluida dengan berbagai viskositas, tekanan dan temperatur. Salah satu jenis pompa perpindahan positif adalah *diaphragm controlled volume pumps*. Pompa perpindahan positif-*controlled volume* didesain untuk menyediakan laju aliran fluida konstan, yang dipertahankan terhadap perubahan tekanan maupun viskositas. Pompa ini banyak digunakan dalam aplikasi metering dan dosing dimana kontrol aliran fluida yang akurat sangat kritical. Sebagai contoh meliputi sistem chemical injection, lubrication systems dan fueling systems. Check valve merupakan salah satu bagian penting dalam mendukung kinerja sebuah pompa perpindahan positif-*controlled volume*. Check valve adalah valve satu arah yang menjaga fluida mengalir dalam satu arah dan mencegah fluida mengalir ke arah berlawanan. Check valve pada pompa perpindahan positif-*controlled volume* digunakan untuk mengontrol aliran fluida dan mencegah aliran balik. Kegagalan pada check valve akan menyebabkan kegagalan pada sistem pompa perpindahan positif-

controlled volume. Kegagalan pada check valve yang sering terjadi antara lain kerusakan part, improper seating, part kendur, restricted motion/flow, dan macet (McElhaney, 2000).

Pada penelitian ini, akan dibuat karakterisasi aliran antara dua desain check valve tipe ball yang telah ada. Check valve tersebut terpasang pada dua pompa perpindahan positif-*controlled volume* dengan servis sebagai pompa injeksi katalis untuk kebutuhan reaksi pada reaktor. Check valve tersebut terpasang pada pompa dengan model instalasi manifold (terpasang pada tubing atau perpipaan pompa). Karakterisasi aliran melewati check valve dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan CFD. Pemodelan dan simulasi numerik tentang aliran fluida yang melalui check valve menggunakan CFD telah banyak diterapkan sebelumnya untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi manusia.

A.S Tabrizi, dkk (2014) memprediksi performa ball valve secara numerik menggunakan unstructured code CFD dengan dasar metode finite volume. Ball valve dalam bentuk rotary valve dengan diameter pipa 38 mm, diameter ball 50.8 mm. Simulasi menggunakan model turbulen SST $k-\omega$ dan metode solver yang dipilih adalah velocity pressure coupling, SIMPLE, dan Gauss-Seidel. Tabrizi melakukan prediksi kavitasasi dengan indeks kavitasasi C_{cs} , dimana diperoleh hasil kavitasasi terjadi di area recirculation. F F Wen, dkk (2018) melakukan simulasi CFD prototype ball valve baik pada kondisi steady maupun transient, untuk mengetahui karakteristik hydraulic selama proses penutupan valve. Model turbulent yang digunakan adalah $k-\omega$ SST, dan fluida water dimodelkan sebagai compressible fluid untuk dapat menghitung adanya fenomena water hammer. Hasil simulasi menunjukkan selama proses penutupan ball valve, tekanan sebelum valve mula-mula meningkat kemudian menurun. Selama proses penutupan valve, juga terjadi adanya transformasi energi dan juga proses disipasi energi.

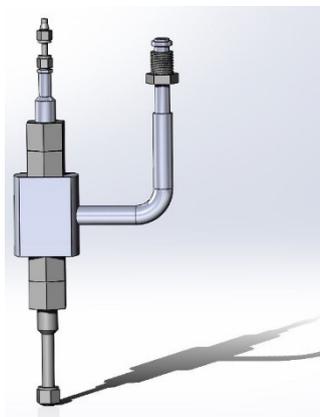
Narcis-Daniel Petrea, dkk (2022) membandingkan hasil perhitungan teoritis dengan hasil simulasi CFD ball valve meliputi flow, velocity dan drag force ball valve pada dua variasi seat valve yaitu conical dan spherical seat valve dengan lima variasi valve opening height (x). Hasil simulasi menunjukkan ball check valve dengan spherical seat memperlihatkan flow dynamics yang lebih baik jika dibandingkan dengan tipe conical seat. Ball check valve dengan spherical seat menunjukkan distribusi tekanan fluida yang lebih uniform di dalam valve. Sebaliknya, conical seat menunjukkan adanya tekanan lokal yang besar, sehingga berpotensi menyebabkan fatigue.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membawa inovasi desain check valve yang paling optimum, khususnya pada pompa yang digunakan dalam proses transfer injeksi katalis. Manfaat lainnya dari penelitian ini adalah diharapkan dapat berkontribusi lebih dalam penanganan permasalahan clogging check valve, khususnya dalam proses transfer fluida solid-liquid dalam line transfer dengan ukuran kecil.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan *software* ANSYS Fluent versi 2020 R2. Model check valve pada penelitian ini terdiri dari body valve, ball valve, seat valve, cartridge, dan thread. Pada penelitian ini terdapat dua model check valve yang digunakan, yaitu model 1 check valve mengadopsi dari model ball valve Nikkiso Metering Pump type 3M2HC-H0.8-20D1PSP, sedangkan model 2 merupakan model modifikasi dan fabrikasi yang dibuat oleh peneliti dan tim.

Perancangan model 1 check valve menggunakan bahan dasar material berupa stainless steel tipe 316 pada body valve (liquid end) karena memiliki karakteristik ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh korosi, benturan, dan suhu ekstrim. Dalam proses transfer fluida solid liquid, stainless steel tipe 316 memiliki ketahanan terhadap erosi dan korosi yang relatif lebih baik. Material ball valve menggunakan stainless steel tipe 440C dengan diameter 9.5 mm. Material ball seat dan cartridge juga menggunakan stainless steel tipe 316. Check valve model 2 juga menggunakan bahan dasar material berupa stainless steel tipe 316 pada body valve. Material ball valve menggunakan stainless steel 316 dengan diameter 11 mm. Material ball seat dan cartridge juga menggunakan stainless steel tipe 316. Model check valve yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan melalui Gambar 1 dan Gambar 2.

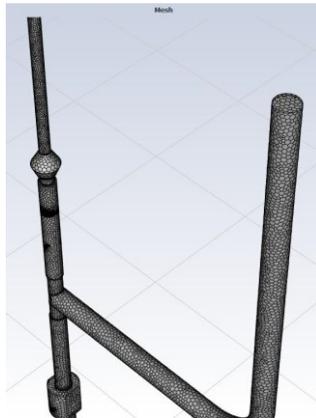


Gambar 1. Drawing Domain Solid Check Valve Model 1



Gambar 2. Drawing Domain Solid Check Valve Model 2

Setelah model berhasil diinput, langkah selanjutnya adalah membuat domain fluida pada *software* ANSYS Fluent. Domain fluida yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 di bawah ini. Proses meshing pada *software* ANSYS Fluent dilakukan dengan metode automatic dan dipilih mesh dengan bentuk polyhexcore seperti ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini :

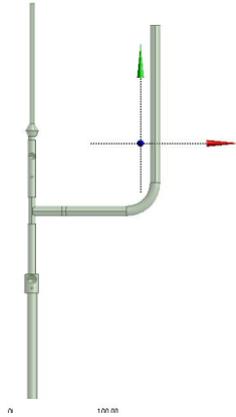


Gambar 3. Meshing

Pada simulasi ini untuk menganalisa aliran, aliran fluida diasumsikan incompressible menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ realizable dengan residu perhitungan yang diatur pada angka 10^{-3} . Model realizable $k-\epsilon$ merupakan pengembangan yang relatif baru dan berbeda dengan model standard $k-\epsilon$. Aljaz Janic (2020) juga menggunakan model turbulensi $k-\epsilon$ realizable saat mensimulasikan partikel pada channel flow dan juga pada mixer tank untuk memprediksi aliran yang mengandung partikel dengan Lagrangian Particle Tracking. Menurut Janic, model turbulensi $k-\epsilon$ realizable mempunyai formulasi baru untuk *turbulent viscosity* dan juga persamaan transpor baru untuk *dissipation rate* ϵ .

Setelah semua kondisi batas dimasukkan, dilakukan komputasi dengan total iterasi

sebanyak 1.000 iterasi. Data yang diperoleh kemudian diolah di dalam CFD Post. Pada CFD Post dapat diketahui distribusi kecepatan, kontur tekanan, vektor kecepatan hingga perhitungan kecepatan dan tekanan yang secara otomatis dilakukan oleh ANSYS Fluent.



Gambar 4. Domain fluida check valve model 1



Gambar 5. Domain fluida check valve model 2

Tahap solving dilakukan dengan menggunakan software ANSYS Fluent yang meliputi berbagai pengaturan atau setup, meliputi penentuan general model, penentuan turbulent model, penentuan jenis fluida kerja, penentuan *cell zone condition*, penentuan *boundary condition*, dan pemilihan metode *solver*. Berbagai pengaturan setup pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Setup Simulasi

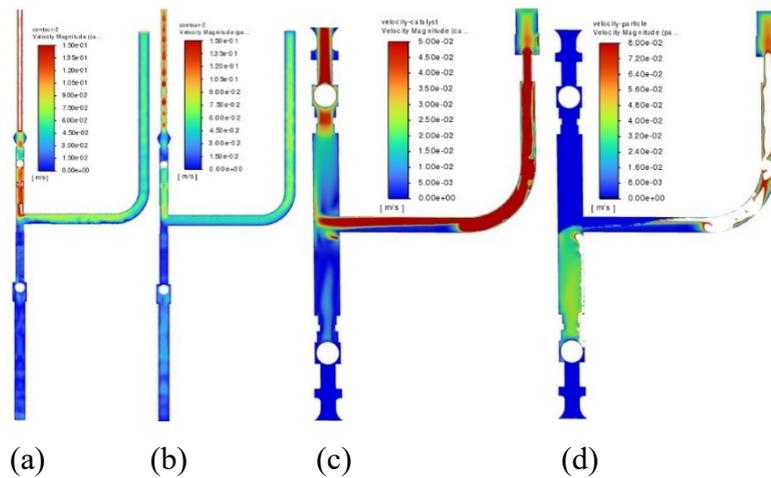
	Setup
Fluida	Catalyst-Partikel
Multiphase	Eulerian
Model Turbulen	k- ϵ realizable
Near-Wall Treatment	Standard Wall Functions
Viskositas	0,0004 kg/ms
Mass Flow Inlet	0,001261361 kg/s 0,006306806 kg/s 0,016577889 kg/s
Tekanan inlet	19613 Pa
Gravitasi	9.81 m/s ²
Time	Steady
General model	Pressure Based
Solution method	PRESTO
Densitas	648.7 kg/m ³
Element Mesh	510686

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan profil kecepatan dilakukan pada keseluruhan geometri check valve. Model turbulen yang dipilih yaitu k-epsilon realizable. Simulasi dilakukan berdasarkan hasil grid independency yang telah dilakukan sebelumnya untuk menentukan jumlah node yang digunakan, simulasi dilakukan pada check valve model 1 dan model 2. Pada simulasi yang dilakukan variasi yang digunakan adalah ukuran ball valve, model check valve dan ukuran solid partikel. Ukuran ball valve pada check valve model 1 adalah 9.5 mm diameter, sedangkan pada model 2 adalah 11 mm diameter. Model check valve yang digunakan adalah model check valve dari Nikkisso Pump dan model check valve fabrikasi. Sedangkan ukuran solid partikel yang divariasikan yaitu sebesar 200 micron, 250 micron dan 300 micron.

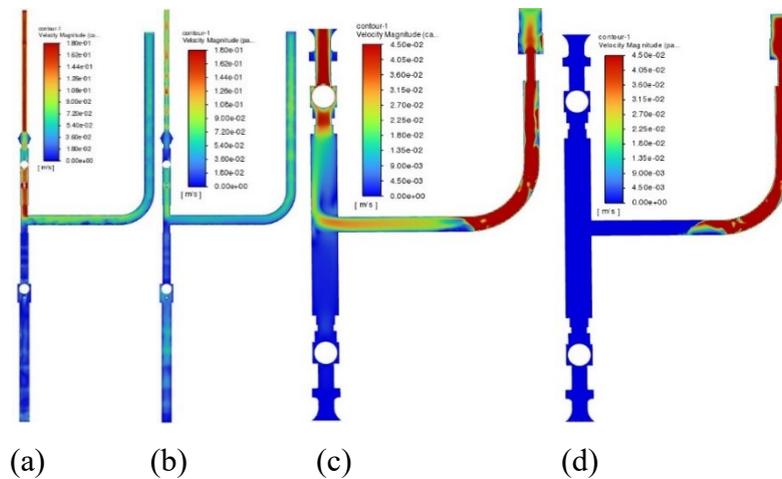
Gambar 4 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 25 % dan solid partikel 200 mikron. Pada kondisi ini, model 1 memperoleh kecepatan maksimum sebesar 0,0610 m/s, sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 0,1415 m/s.

KARAKTERISTIK KECEPATAN CHECK VALVE TIPE BALL POMPA PERPINDAHAN POSITIF CONTROLLED VOLUME DENGAN SIMULASI CFD



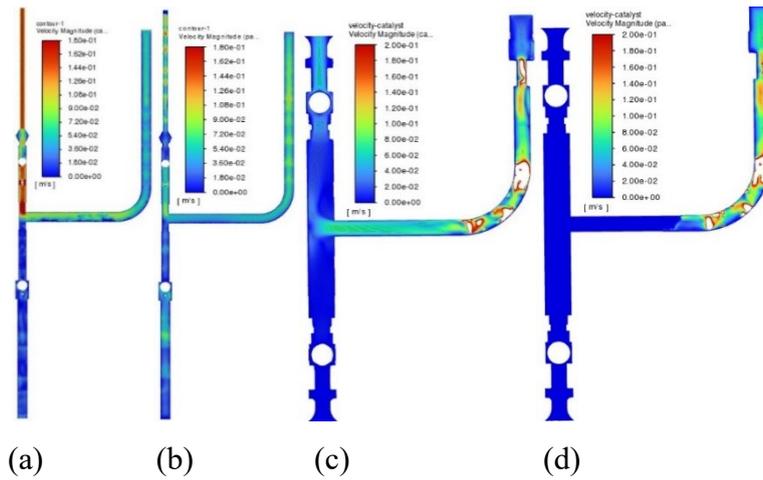
Gambar 4. Kontur kecepatan pada stroke length 25 % dengan solid partikel 200 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

Gambar 5 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 25 % dan solid partikel 250 mikron. Pada kondisi ini, model 1 memperoleh kecepatan maksimum sebesar 0,0607 m/s, sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 0,1313 m/s.



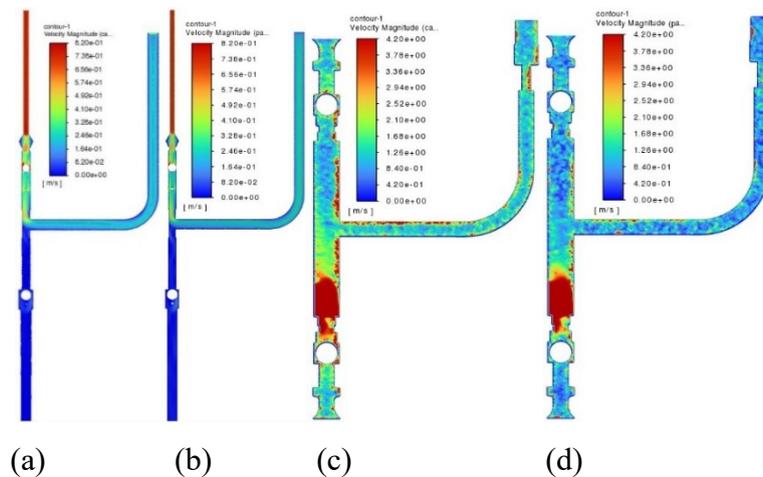
Gambar 5. Kontur kecepatan pada stroke length 25 % dengan solid partikel 250 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

Gambar 6 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 25 % dan solid partikel 300 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 0,0564 m/s, sedangkan model 2 sebesar 0,1272 m/s.



Gambar 6. Kontur kecepatan pada stroke length 25 % dengan solid partikel 300 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

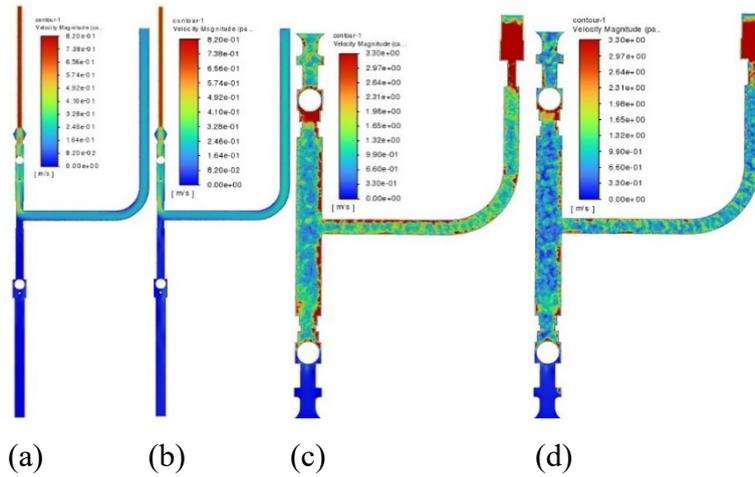
Gambar 7 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 50 % dan solid partikel 200 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 3,9749 m/s, sedangkan model 2 sebesar 0,8078 m/s.



Gambar 7. Kontur kecepatan pada stroke length 50 % dengan solid partikel 200 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

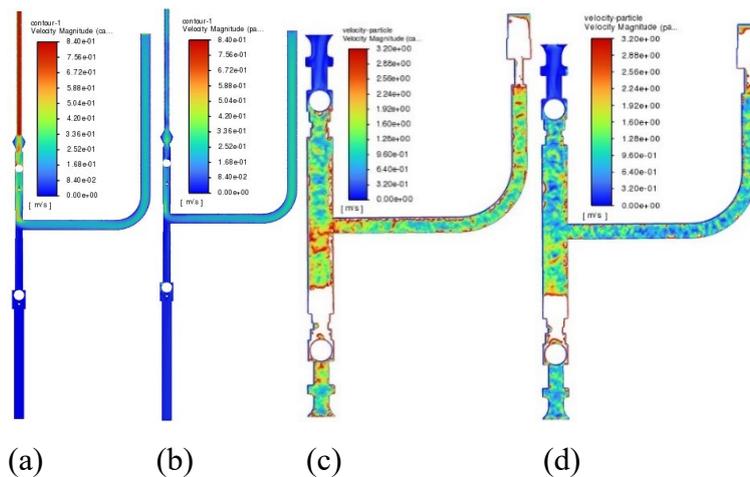
Gambar 8 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 50 % dan solid partikel 250 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 2,4542 m/s, sedangkan model 2 sebesar 0,8069 m/s.

KARAKTERISTIK KECEPATAN CHECK VALVE TIPE BALL POMPA PERPINDAHAN POSITIF CONTROLLED VOLUME DENGAN SIMULASI CFD



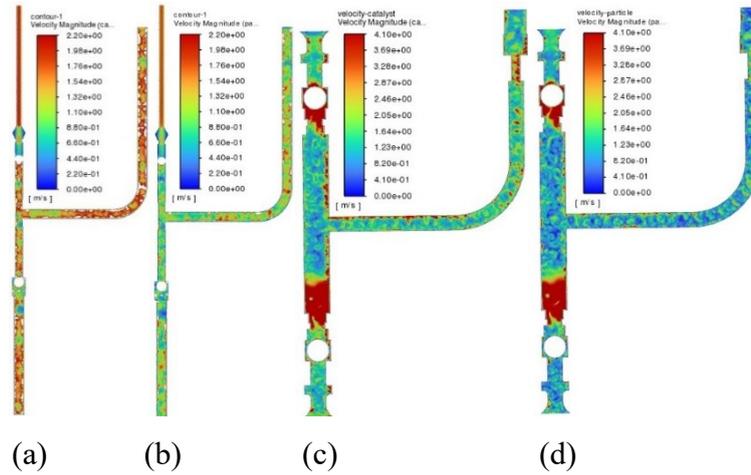
Gambar 8. Kontur kecepatan pada stroke length 50 % dengan solid partikel 250 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

Gambar 9 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 50 % dan solid partikel 300 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 1,8999 m/s, sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 0,8049 m/s.



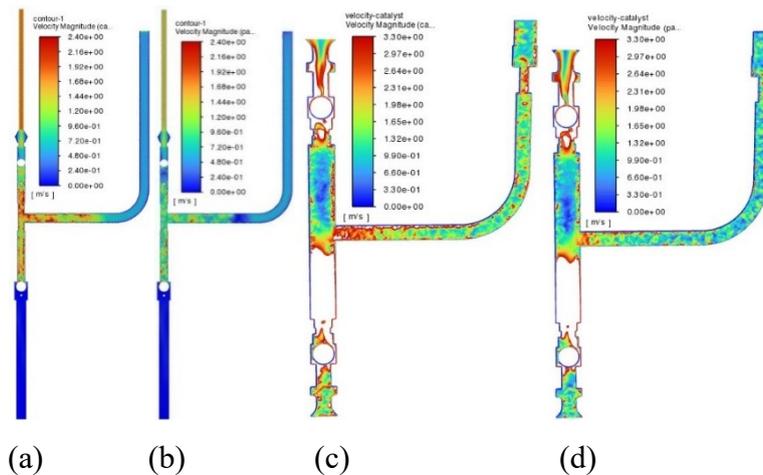
Gambar 9. Kontur kecepatan pada stroke length 50 % dengan solid partikel 300 mikron (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

Gambar 10 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 100 % dan solid partikel 200 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 4,0870 m/s, sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 1,8007 m/s.



Gambar 10. Kontur kecepatan pada stroke length 100 % dengan solid partikel 200 mikron
 (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

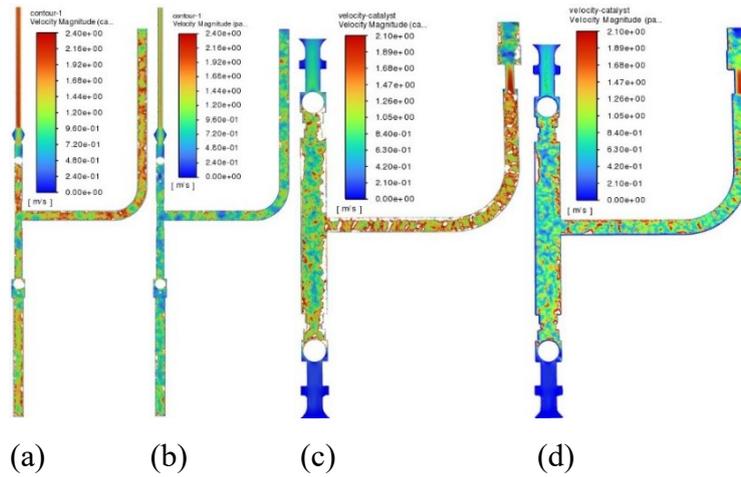
Gambar 11 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 100 % dan solid partikel 250 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 3,2397 m/s, sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 1,5987 m/s.



Gambar 11. Kontur kecepatan pada stroke length 100 % dengan solid partikel 250 mikron
 (a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

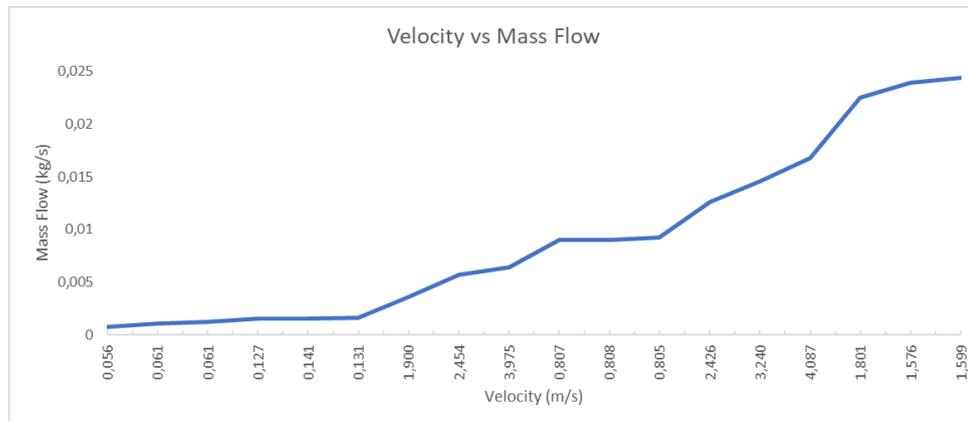
Gambar 12 menunjukkan kontur kecepatan pada kondisi stroke length 100 % dan solid partikel 300 mikron. Pada kondisi ini kecepatan maksimum model 1 sebesar 2,4259 m/s. sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh pada model 2 sebesar 1,5765 m/s.

KARAKTERISTIK KECEPATAN CHECK VALVE TIPE BALL POMPA PERPINDAHAN POSITIF CONTROLLED VOLUME DENGAN SIMULASI CFD



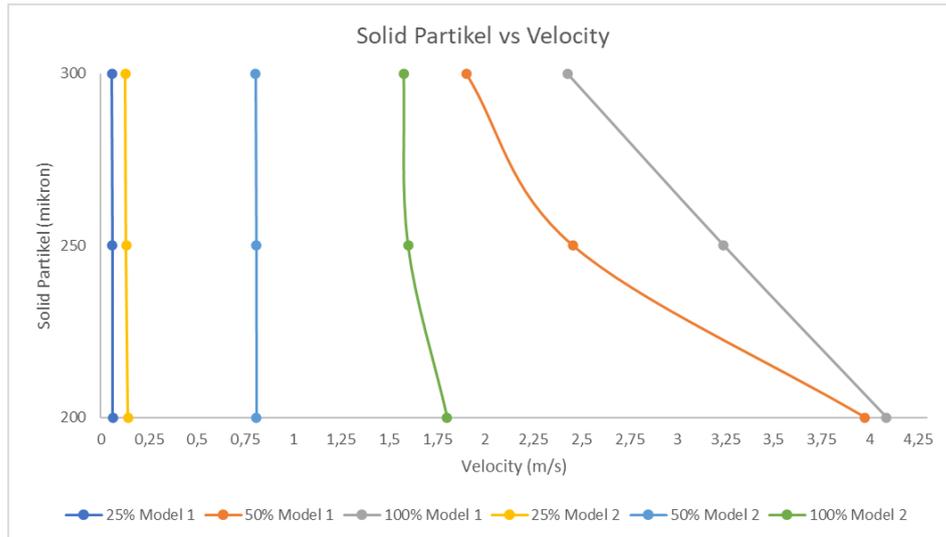
Gambar 12. Kontur kecepatan pada stroke length 100 % dengan solid partikel 300 mikron
(a) katalis model 1 (b) partikel model 1 (c) katalis model 2 (b) partikel model 2

Gambar 13 menampilkan hubungan antara mass flow terhadap kecepatan fluida yang diperoleh dari hasil simulasi check valve pada model 1 dan juga model 2. Dari grafik dapat terlihat hubungan antara velocity dengan mass flow fluida adalah berbanding lurus. Semakin besar kecepatan fluida, maka mass flow semakin meningkat.



Gambar 13. Grafik Hubungan Velocity terhadap Mass Flow

Gambar 14 memperlihatkan grafik hubungan ukuran solid partikel terhadap kecepatan fluida hasil simulasi pada model 1 dan model 2. Dari grafik terlihat bahwa ukuran solid partikel berbanding terbalik dengan kecepatan fluida. Semakin besar ukuran solid partikel, maka kecepatan fluida akan menurun. Begitu juga sebaliknya. Hubungan tersebut berlaku sama untuk semua variasi hasil simulasi.



Gambar 14. Grafik Hubungan Solid Partikel terhadap Velocity

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi numerik pada check valve model 1 dan model 2 ditemukan bahwa kecepatan maksimal pada setiap variasi simulasi terjadi pada stroke length 100%. Nilai kecepatan maksimal pada setiap variasi simulasi terjadi pada ukuran solid partikel 200 mikron. Nilai kecepatan berbanding terbalik dengan ukuran solid partikel. Semakin besar ukuran solid partikel, maka nilai kecepatan akan menurun. Sementara ukuran diameter check valve berbanding terbalik dengan kecepatan fluida. Pada model 1 yang memiliki ukuran diameter penampang check valve lebih kecil, rata-rata nilai kecepatan dalam semua variasi penelitian lebih besar. Pada model 2 nampak lebih berpotensi terjadi *clogging* akibat partikel yang kehilangan kecepatan dan tertinggal di dalam check valve. Model 2 juga lebih berpotensi terjadi fenomena aliran balik (*backflow*) ke arah suction, dan juga pada model 2 sering terjadi *flow separation* dan *void*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak lepas dari kerjasama, bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan jurnal ini, khususnya kepada dosen pembimbing, staf dan rekan-rekan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada yang sudah memberikan bantuan selama proses penelitian maupun penyusunan jurnal ini.

REFERENSI

- Janic, A. (2020). CFD Simulation of Particles in Pipe Flow and Mixing Tank [Linkoping University]. www.liu.se
- Mcelhaney, K. L. (2000). An analysis of check valve performance characteristics based on valve design. In *Nuclear Engineering and Design* (Vol. 197). www.elsevier.com/locate/nucengdes.
- Petrea, N. D., Iordache, R. C., & Bujoreanu, C. (2022). Analysis of Ball Check Valves with Conical and Spherical Seat Designs from Common-Rail Pumps. *Machines*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/machines10100959>.
- Tabrizi, A. S., Asadi, M., Xie, G., Lorenzini, G., & Biserni, C. (2014). Computational fluid-dynamics-based analysis of a ball valve performance in the presence of cavitation. *Journal of Engineering Thermophysics*, 23(1), 27–38. <https://doi.org/10.1134/S1810232814010044>.
- Wen, F. F., Cheng, Y. G., & Meng, W. W. (2018). Dynamic hydraulic characteristics of a prototype ball valve during closing process analysed by 3D CFD method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 163(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/163/1/012115>