

ANALISIS PERFORMA *FLASH TANK* BRINE GEOTHERMAL MENGGUNAKAN SIMULASI CFD

Syafiq Akmal Muzakki^{1*}, Khasani², Fauzun³

¹ Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^{2,3} Departemen Teknik Mesin & Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*syafiqakmal99@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu masalah utama dimasa ini. Seiring dengan meningkatnya penduduk, akan meningkat juga kebutuhan konsumsi masyarakat serta limbah yang dihasilkan. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sampah yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2021 sebanyak 28,58 juta ton/tahun, sedangkan sampah plastik menyumbang 17,77% dari total sampah, dan hanya 8,5% dari total sampah plastik yang berhasil diolah. Metode pengolahan sampah menggunakan metode pirolisis dapat mengubah limbah plastik menjadi polimer yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Untuk meningkatkan penggunaan metode pirolisis, limbah kalor brine hasil buangan pembangkit PLTP dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalor dalam alat pirolisis. Brine buangan akan diinjeksikan kedalam sumur setelah melalui sistem *flashing* yang akan mengubah brine menjadi uap sebagai sumber energi reaktor pirolisis. Dalam penelitian, dilakukan perhitungan desain *flash tank* untuk menghasilkan uap panas untuk proses pirolisis, kemudian dilakukan simulasi CFD serta memvariasikan kondisi operasi sistem untuk menganalisis performa sistem. Adapun variasi berupa laju aliran massa serta kondisi tekanan operasi. Dari hasil analisis didapatkan peta performa separator yang dapat menghasilkan rentang operasi yang beragam dan dapat memaksimalkan kebutuhan sistem alat pirolisis. *Flash tank* diharapkan dapat digunakan untuk memanfaatkan brine panas dalam sistem pirolisis untuk mengurangi jumlah limbah plastik dengan mengubahnya menjadi bahan bakar alternatif.

Kata kunci : desain, bejana tekan, tanki flash, simulasi numerik, geothermal, performa

ABSTRACT

Waste is one of the main problems nowadays. As the population increases, people's consumption needs and the waste produced will also increase. According to data from the Indonesian Ministry of Environment and Forestry, the waste produced in Indonesia in 2021 was 28.58 million tons/year, while plastic waste contributed 17.77% of the total waste, and only 8.5% from the total plastic waste was recycled. The pyrolysis method is recycling method which can convert plastic waste into polymers and can be used as a fuel. To increase the use of the pyrolysis method, waste brine heat generated from Geothermal plants can be used as a heat source in pyrolysis system. The waste brine will be injected into the well after going through a flashing system which will convert the hot brine into steam as an energy source for the pyrolysis reactor. In this research, flash tank design calculations were carried out to produce hot steam for the pyrolysis process, then CFD simulations were carried out at flash tank and varying system operating conditions to analyze system performance. The simulation will be carried out with various mass flow rate value and various operating pressure conditions. From the results of the analysis, a separator performance map can be obtained which can produce a variety of operating ranges and can maximize the needs of the pyrolysis equipment system. The purpose is the flash tanks can be used to utilize hot brine in pyrolysis systems to reduce the amount of plastic waste by converting it into alternative fuel.

Keywords : design, pressure vessel, flash tank, numeric simulation, geothermal, performance

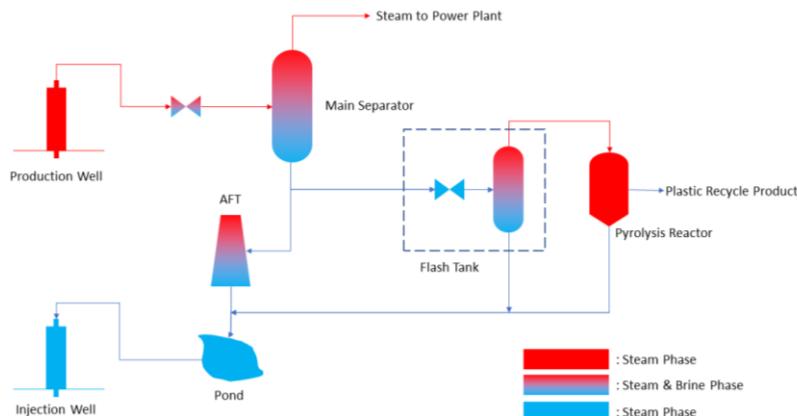
PENDAHULUAN

Jumlah industri di Indonesia selalu meningkat seiring dengan berjalananya waktu. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) dalam rentang tahun 2009 hingga 2019, terjadi peningkatan pelaku industri dari 24.468 menjadi 30.072 di seluruh Indonesia. Peningkatan ini akan meningkatnya permintaan pasar meningkat juga konsumsi barang yang digunakan oleh masyarakat sehingga meningkatkan limbah yang dihasilkan. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sampah yang dihasilkan oleh penduduk Indonesia pada tahun 2021 sebanyak 28,58 juta ton/tahun, dan 17,77% atau 5,07 juta ton/tahun merupakan sampah plastik yang membutuhkan waktu untuk terurai hingga 600 tahun, sedangkan sampah yang berhasil diolah sebanyak 2,42 ton/tahun atau 8,5% dari total sampah plastik yang dihasilkan masyarakat Indonesia. Kendala yang dihadapi dalam proses pengolahan sampah plastik adalah proses yang dibutuhkan untuk mengolah plastik cukup sulit dan memakan waktu lama, selain itu sulitnya mencari material alternatif yang memiliki karakteristik serta fungsi yang sama membuat penggunaan plastik masih masif digunakan (Hidayat, dkk., 2019).

Salah satu metode daur ulang sampah organik maupun anorganik yaitu menggunakan metode pirolisis. Pirolisis atau thermolysis merupakan proses dekomposisi kimia dan thermal yang memecah molekul menjadi lebih kecil berupa polimer. Jenis polimer atau campuran polimer yang digunakan sebagai bahan olahan serta kondisi operasi yang beragam dapat menghasilkan produk berupa bahan bakar, petrokimia dan monomer yang dapat kita manfaatkan kembali (Buekens, 2006). Jika dimanfaatkan dengan benar, metode pirolisis ini sangat tepat untuk mengurangi limbah plastik yang ada serta dapat menjadi sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil.

Salah satu cara meningkatkan penggunaan alat pirolisis adalah dengan memanfaatkan limbah pembangkit PLTP. Sistem PLTP memanfaatkan aliran dua fasa dari dalam sumur sebagai energi penggerak turbine listrik. Brine aliran dua fasa yang mengalir akan diinjeksi lagi didalam sumur injeksi, padahal brine tersebut memiliki kalor serta tekanan yang relatif tinggi dan dapat dimanfaatkan kembali. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis untuk mengolah brine menjadi uap yang dapat dimanfaatkan kembali, terutama sebagai kalor pemanas alat pirolisis.

Konsep desain yang akan dirancang akan mengubah brine menjadi aliran dua fasa dengan menurunkan tekanan dan akan terjadi flashing. Lalu kedua aliran tersebut dipisahkan didalam separator. Uap hasil pemisahan tersebut akan dialirkan menuju alat pirolisis, sedangkan brine akan diinjeksikan kembali kedalam sumur. Dengan memanfaatkan kalor buangan PLTP, diharapkan proses pirolisis dapat dimaksimalkan tanpa perlu adanya input energi lain. Adapun kerangka sistem dapat dilihat pada **Gambar 1**.



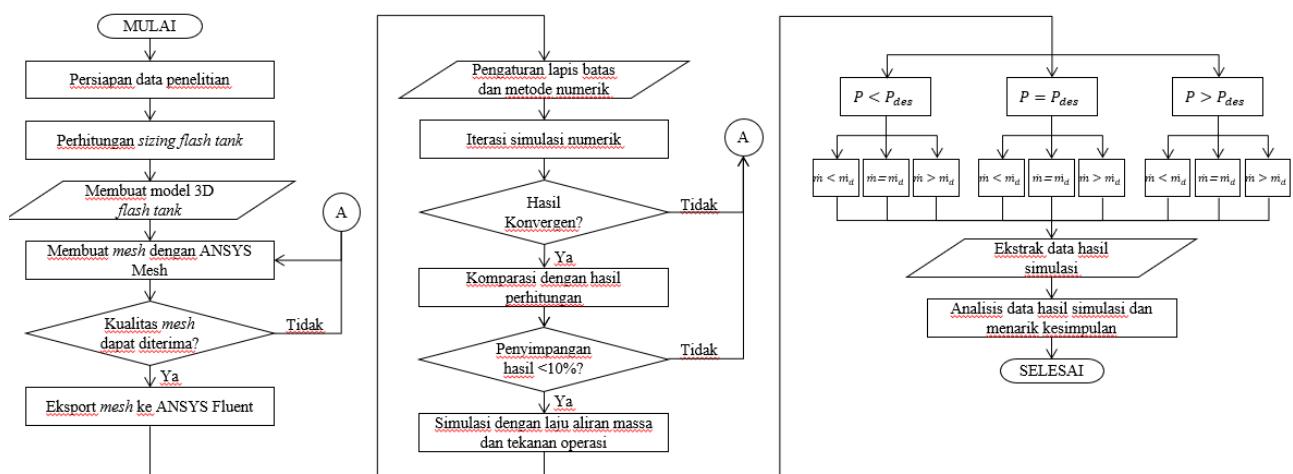
Gambar 1 Skema inovasi sistem flash tank dan alat pirolisis dalam jaringan uap PTLP

Adapun dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dengan melakukan pendekatan secara analitik lalu dilanjutkan dengan metode analisis numerik terhadap performa dan kinerja flash tank.

Dalam analisis yang dilakukan, akan dihitung performa flash tank serta melakukan variasi pada kondisi operasi. Terutama pada laju aliran massa serta tekanan operasinya. Diharapkan dari penelitian ini akan diketahui peta performa serta pengaruh perubahan laju aliran massa serta tekanan terhadap efisiensi flash tank. Selain itu, dengan menggunakan ANSYS dapat dianalisis pola aliran maupun distribusi properti aliran seperti tekanan serta kecepatan didalam flash tank.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, akan dilakukan seperti alur diagram seperti yang digambarkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Selain itu, untuk menunjang penelitian akan digunakan komputer yang memiliki spesifikasi serta menggunakan perangkat lunak sebagai berikut.

Perangkat Keras	Spesifikasi
Processor	Intel i7
Operating System	Windows 10, 64
RAM	DDR4 16 GB
VGA Card	Nvidia Geforce 1050
Storage	SSD 1TB

No	Perangkat Lunak	Kegunaan
1	<i>ANSYS Design Modeler</i>	Membuat model 3D desain <i>flash tank</i> hasil perhitungan
2	<i>ANSYS Meshing</i>	Alat bantu membuat diskret volume terhadap model 3D, kemudian mengatur lapis batas yang akan digunakan dalam simulasi
3	<i>ANSYS Fluent</i>	Perangkat lunak untuk membantu melakukan perhitungan numerik terhadap model yang ada
4	<i>ANSYS CFD Post</i>	Mengolah data hasil perhitungan numerik
5	<i>Microsoft Excel</i>	Alat bantu untuk melakukan perhitungan desain <i>flash tank</i> serta membantu mengolah data numerik hasil simulasi

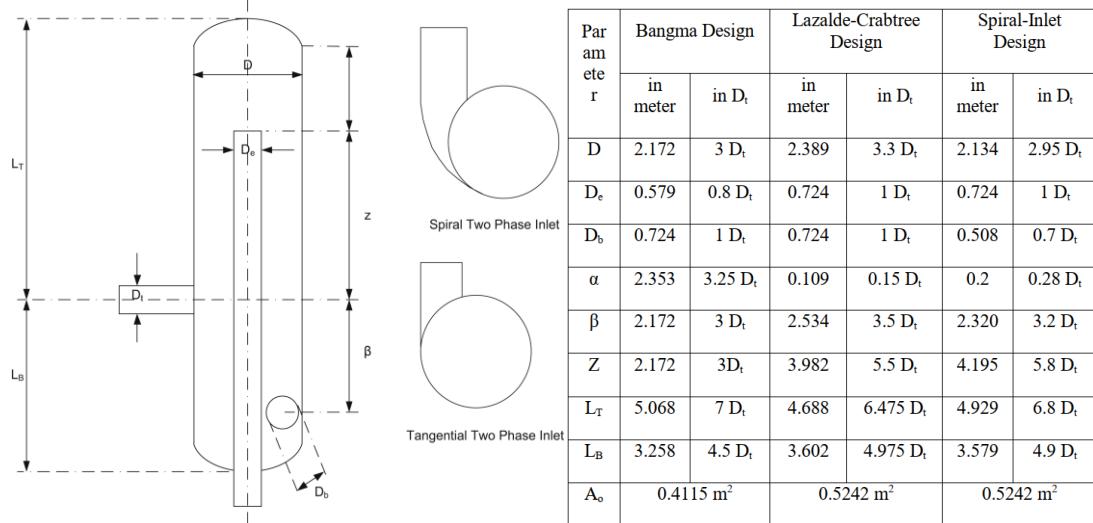
Gambar 3 Perangkat Keras (kiri) dan Perangkat Lunak (kanan) yang digunakan dalam penelitian

Sebelum dilakukan penelitian, adapun data input yang akan digunakan mengambil dari data sumur salah satu PLTP di Jawa Tengah dengan data sebagai berikut.

Tabel 1 Data input penelitian

Properti	Nilai	Satuan
Tekanan	10	Bar
Laju Massa	3,5	kg/s
Temperatur	179,9	°C
Entalpi	762,9	kJ/kg
Entropi	2,139	kJ/kg.K
NPS	4	inch

Setelah didapatkan data input penelitian, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan analitik berdasarkan sumber referensi yang ada. Dalam perhitungan, akan ditentukan besarnya ukuran flash tank dari data aliran masuk sistem. Lalu perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan perhitungan empiris. Dari ukuran serta data yang telah ada, akan dilakukan simulasi numerik untuk memodelkan kondisi didalam tanki sehingga dapat dilakukan analisis.



Gambar 4 Acuan sizing flash tank (Zarrouk & Purnanto, 2014)

Untuk mendapatkan diameter nominal inlet, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$v_t = K' \left[\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right]^{0,5} \#(1)$$

$$A_{pipe} = \frac{Q_{vs}}{v_t} \#(2)$$

$$D_t = \left[\frac{4A_{pipe}}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \#(3)$$

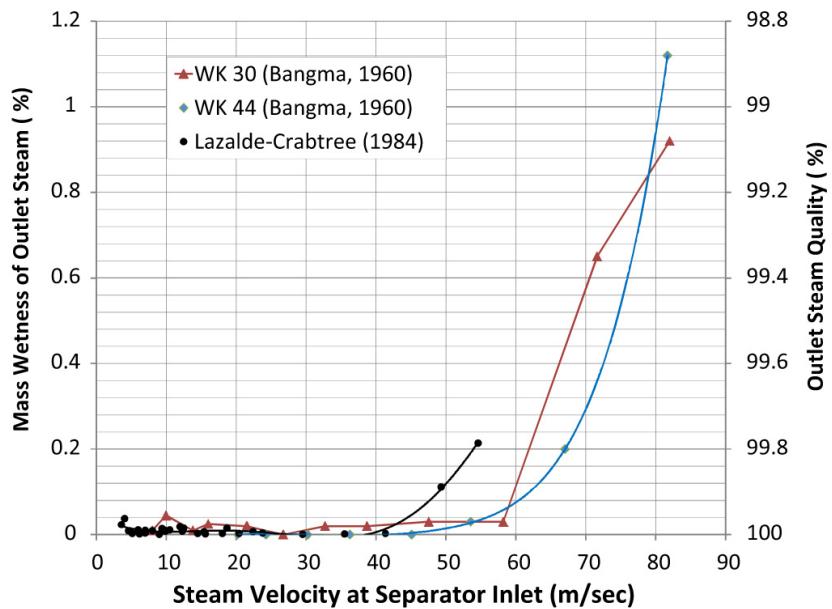
Sedangkan untuk mendapatkan efisiensi flash tank dari perhitungan analitik dapat digunakan persamaan berikut.

$$\eta_s = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_s + \dot{m}_b} \times 100 \text{ atau } \eta_s = \frac{\dot{m}_w - \dot{m}_b}{\dot{m}_w} \#(4)$$

$$\eta_{eff} = \eta_m \times \eta_A \#(5)$$

$$\eta_m = 1 - \exp \left[-2(\psi' C)^{\frac{1}{2n+2}} \right] \text{ dan } \eta_A = 10^j \#(6)$$

Adapun simulasi numerik dilakukan setelah melalui beberapa tahapan. Pertama adalah melakukan komparasi simulasi. Komparasi dilakukan dengan menggunakan data dari jurnal referensi lalu dilakukan simulasi menyesuaikan pengaturan yang ada, diharapkan hasil menunjukkan kesamaan sehingga pengaturan simulasi dapat digunakan pada penelitian ini. Selanjutnya adalah melakukan mesh independency test. Test ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah dan kualitas mesh terhadap hasil simulasi. Jika simulasi memiliki hasil yang dapat diterima, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada hasil desain yang telah dilakukan.

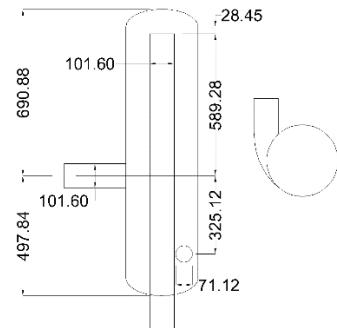


Gambar 5 Performa separator untuk acuan komparasi simulasi (Lazalde-Crabtree, 1984)

HASIL DAN PEMBAHASAN

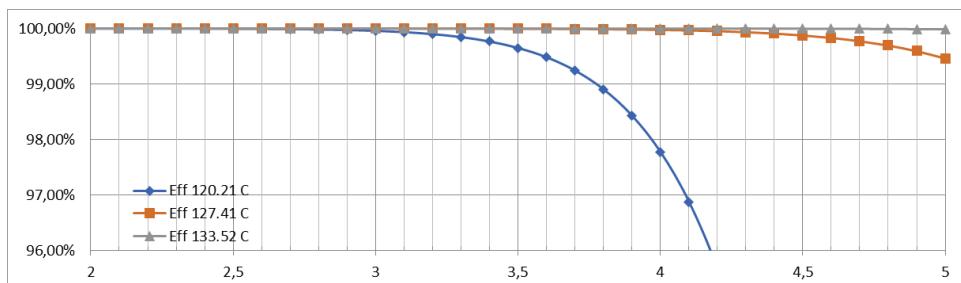
Penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan analitik untuk mendapatkan ukuran dari flash tank lalu dilakukan perhitungan melalui pendekatan empiris untuk mendapatkan nilai efisiensi tanki. Setelah dilakukan perhitungan terhadap aliran fluida, didapatkan sizing ukuran flash tank dengan ukuran nozzle sebesar 4" atau 25,4 mm. Dari ukuran nominal nozzle inlet tersebut, bisa didapatkan ukuran umum dari flash tank berdasarkan acuan pada Gambar 4.

Spiral-Inlet Design		
Parameter	Korelasi terhadap (D_t)	Nilai (mm)
D	$2,95 D_t$	299,72
D_e	$1 D_t$	101,6
D_b	$0,7 D_t$	71,12
α	$0,28 D_t$	28,448
β	$3,2 D_t$	325,12
Z	$5,8 D_t$	589,28
L_T	$6,8 D_t$	690,88
L_B	$4,9 D_t$	497,84



Gambar 6 Hasil sizing flash tank

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan analitik terhadap performa flash tank hasil sizing pada kondisi desain, lalu dilakukan perhitungan ulang dengan cara yang sama dengan mengubah parameter operasi. Parameter yang diubah berupa laju aliran massa serta kondisi tekanan operasi. Laju aliran massa desain pada sistem ini memiliki nilai $3,5 \text{ kg/s}$, sedangkan laju aliran massa divariasikan pada massa 3 kg/s dan 4 kg/s . Untuk tekanan operasi desain memiliki nilai 250 kPa ($127,41^\circ\text{C}$), sedangkan tekanan operasi variasi memiliki nilai 200 kPa ($120,21^\circ\text{C}$) dan 300 kPa ($133,52^\circ\text{C}$). Kemudian kedua variasi tersebut dikombinasikan satu sama lain sehingga menghasilkan 9 hasil penelitian. Dengan menggunakan persamaan 5 hingga 6 bisa didapatkan hasil kurva efisiensi seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Kurva Efisiensi variabel penelitian hasil perhitungan analitik

Lalu dilakukan simulasi numerik untuk melihat pola aliran didalam flash tank. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan komparasi hasil simulasi untuk memastikan metode simulasi sudah sesuai dengan kondisi aktual. Setelah itu, dilakukan perhitungan mesh independency test. Pada tahap ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari jumlah mesh dan kualitas mesh terhadap hasil simulasi, sehingga dapat ditentukan jumlah mesh yang paling efektif untuk dilakukan simulasi.

Parameter	Nilai	Jumlah Elemen	Orthogonal quality	Hasil Simulasi
Orthogonal Quality	± 0.95	46323	0,96601	89,28%
Skewness	$\pm 0,05$	78285	0,97378	94,66%
Tipe Mesh	Uniform	103181	0,9773	94,25%
Ukuran Elemen	$\pm \text{mm}$	140861	0,96978	96,35%
Jumlah Elemen	300000 – 900000	195751	0,98266	98,79%
		240940	0,98391	98,59%
		303332	0,98587	98,74%

Gambar 8 Konfigurasi mesh (kiri) dan hasil mesh independency test (kanan)

Adapun dalam simulasi desain, akan digunakan data penelitian hasil perhitungan analitik yang telah dilakukan sebelumnya. Termasuk untuk data simulasi pada kondisi kerja lainnya.

Kondisi Fluida	Fasa	Value	Unit
Massa Jenis	phase-vapor	1,39	kg/m^3
	phase-brine	937,2	
Viskositas	phase-vapor	0,0000146	kg/ms
	phase-brine	0,00222	
Tekanan	phase-vapor	250	kPa
	phase-brine		
Suhu	phase-vapor	127,41	$^{\circ}\text{C}$
	phase-brine		

Gambar 9 Parameter Fluida

Selain itu, dalam melakukan pendekatan menggunakan simulasi numerik, pengaturan yang sesuai sangat penting dalam mempengaruhi hasil penelitian. Dalam penelitian ini, pengaturan dijabarkan pada Gambar 11 dan Gambar 11. Adapun dalam simulasi ini akan menggunakan model aliran $k - \epsilon$ seperti pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada kasus yang sama dan dapat memberikan hasil yang memuaskan.

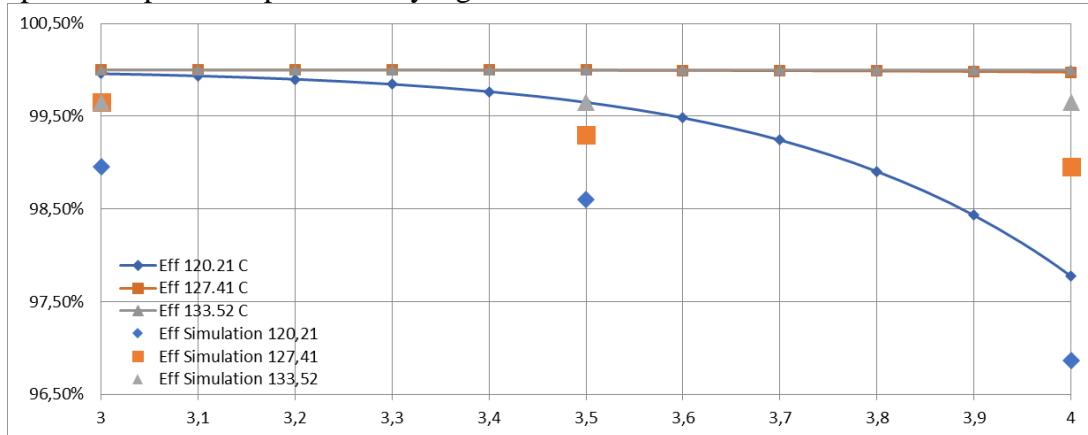
Nama Boundary	Tipe Boundary	Fasa	Value	Unit
inlet	Massflow-inlet	phase-vapor	3,135	m/s
		phase-brine	0,365	
		pressure	250000	Pa
steamoutlet	pressure-outlet	phase-vapor	248000	Pa
		phase-brine		
steamoutlet	pressure-outlet	phase-vapor	248000	Pa
		phase-brine		

Gambar 10 Pengaturan Syarat Batas

Model	
<i>Multiphase</i>	<i>Mixture</i>
<i>Energi</i>	<i>On</i>
<i>Viscous</i>	<i>Realizable k-e, Enhanced Wall Treatment</i>
<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	
<i>Scheme</i>	<i>SIMPLE</i>
<i>Spatial distribution</i>	
<i>Gradient</i>	<i>Least Squares Cell Based</i>
<i>Pressure</i>	<i>Body Force Weight</i>
<i>Volume Fraction</i>	<i>Compressive</i>
<i>Momentum</i>	<i>First Order Upwind</i>
<i>Turbulent Kinetic Energi</i>	<i>First Order Upwind</i>
<i>Turbulent Dissipation Rate</i>	<i>First Order Upwind</i>

Gambar 11 Pengaturan atau Setup ANSYS Fluent

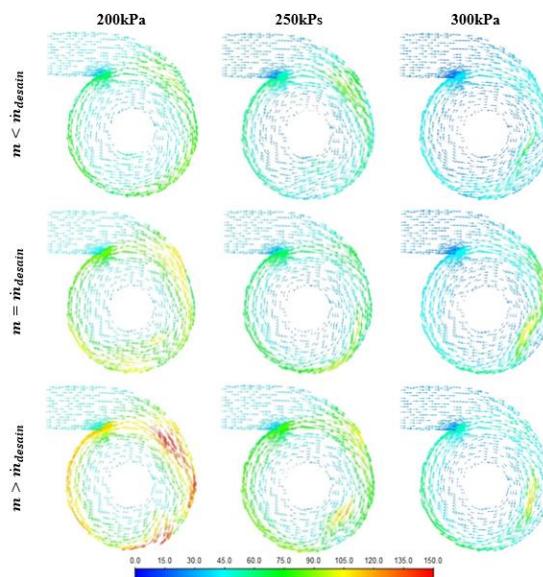
Sama seperti yang telah dilakukan sebelumnya, simulasi dilakukan dengan menggunakan data desain lalu divariasikan terhadap laju aliran massa serta kondisi operasinya. Adapun efisiensi didapatkan dari perhitungan jumlah partikel yang dapat lolos. Dengan membandingkan dengan hasil perhitungan analitik, dapat dilihat efisiensi hasil simulasi memiliki tren pergerakan yang menyerupai meskipun terdapat deviasi yang relatif besar.



Gambar 12 Kurva Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Perhitungan Analitik

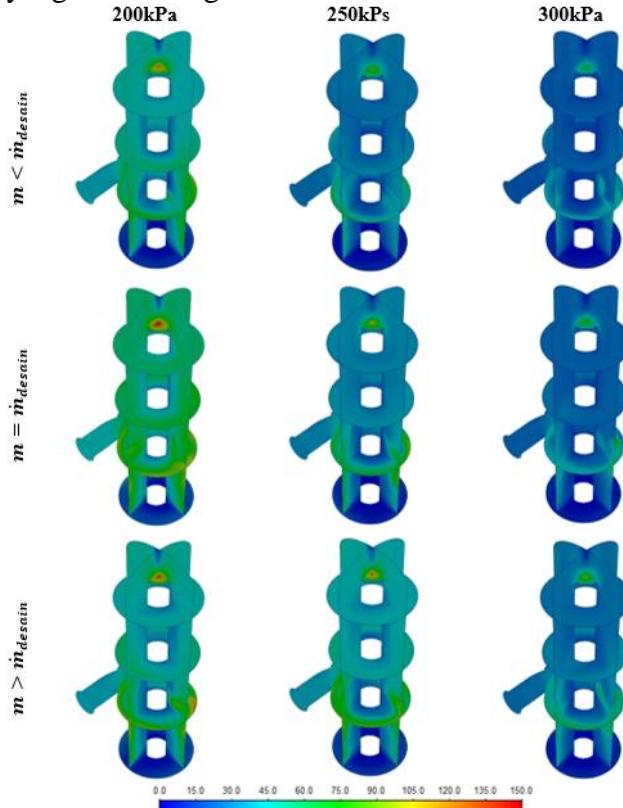
Selanjutnya dilakukan analisis terhadap vektor kecepatan aliran setelah melalui saluran inlet. Pada penampang melintang, dapat dilihat di titik ujung pertemuan dari saluran inlet dengan dinding tanki memiliki pola aliran yang beragam antara masing-masing hasil simulasi. Pada lokasi tersebut ditunjukkan adanya hambatan/blockage akibat perputaran aliran didalam tanki. Terutama pada kondisi operasi yang memiliki laju aliran massa brine yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada kondisi tekanan 300 kPa laju aliran massa rendah. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran masuk yang terlalu rendah sehingga terhambat alirannya ketika bertumbukan dengan aliran yang lebih cepat pada arah yang berbeda. Sedangkan pada kondisi tekanan 200 kPa dengan laju aliran massa lebih besar dapat memaksa aliran masuk untuk berbaur dengan aliran yang sudah ada. Sehingga tidak terjadi blockage aliran.

Selain itu dari hasil analisis vektor ditunjukkan dua pola penyempitan ketika melalui titik tangensial nozzle inlet. Pola pertama ditunjukkan pada tekanan 300 kPa, dimana penyempitan terjadi sangat signifikan. Hal ini diakibatkan dari aliran yang memiliki densitas rendah dan kecepatan masuk yang rendah tidak bisa melawan aliran yang memiliki kecepatan lebih besar. Sedangkan pada tekanan 200 kPa dapat dilihat penyempitan yang terjadi tidak terlalu kecil, karena pada kondisi ini aliran memiliki massa jenis yang lebih berat serta memiliki kecepatan masuk relatif tinggi sehingga dapat melawan balik aliran didalam tanki. Kedua pola tersebut berdampak pada pola aliran setelah terjadinya penggabungan dua aliran. Dimana laju aliran rendah cenderung memiliki arah pola aliran yang seragam jika dibandingkan laju aliran massa tinggi.



Gambar 13 Vektor Kecepatan Aliran (m/s)

Selain vektor, dapat dilihat pula distribusi kecepatan dikeseluruhan flash tank. Dari hasil distribusi vektor, ditunjukkan bahwa kecepatan aliran secara umum menyesuaikan besarnya laju aliran massa. Laju aliran massa rendah akan menghasilkan kecepatan rata-rata yang rendah juga, sedangkan laju aliran massa tinggi dapat menghasilkan kecepatan rata-rata yang tinggi juga. Lalu berdasarkan kurva efisiensi hasil simulasi yang telah disebutkan sebelumnya, performa separator berbanding terbalik dengan besarnya kecepatan aliran masuk. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan kurva pada Gambar 5, dimana efisiensi dari separator dipengaruhi dengan kecepatan aliran masuk dan memiliki nilai yang berbanding terbalik.



Gambar 14 Distribusi Kecepatan Flash Tank (m/s)

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari perhitungan yang telah dilakukan setelah mendapatkan kondisi aliran serta penentuan ukuran nozzle, didapatkan flash tank yang memiliki saluran inlet masuk sebesar 4" atau 101,6 mm (D_t), diameter vessel sebesar 299,72 mm (D), diameter saluran outlet steam sebesar 101,6 mm (D_e), diameter saluran outlet brine sebesar 71,12 mm (D_b), jarak antara elliptical head dengan extended pipe sebesar 28,45 mm (α), jarak antara saluran masuk dua fasa dan saluran outlet brine sebesar 325,12 mm (β), jarak antara saluran masuk dua fasa dan extended pipe sebesar 589,28 mm (Z), panjang antara saluran masuk dua fasa dan top head sebesar 690,88 mm (L_T) dan terakhir adalah panjang saluran masuk dua fasa dan bottom head sebesar 497,84 mm (L_B).
2. Peta performa juga didapatkan pada berbagai macam variasi kondisi operasi. Sehingga alat dapat digunakan pada berbagai macam kondisi operasi menyesuaikan kondisi operasi. Jika semakin tinggi tekanan operasi dibandingkan dengan tekanan flashing desain, maka semakin besar rentang operasi dari separator dan efisiensi relatif stabil pada beberapa laju aliran massa. Akan tetapi, membutuhkan laju aliran massa yang lebih banyak untuk menghasilkan uap yang sama dengan desain. Mengingat rasio flashing yang dimiliki lebih rendah. Begitu pula pada kondisi sebaliknya Sedangkan saat tekanan operasi lebih rendah dari tekanan flashing desain, maka rentang operasi akan semakin kecil dengan efisiensi yang cenderung turun secara drastis. Namun dapat menghasilkan uap yang lebih banyak dengan laju aliran yang rendah karena memiliki fraksi uap yang lebih besar. Sehingga, dengan mengetahui pengaruh dari variasi kondisi operasi pada flash tank dapat memberikan keleluasaan dalam pengoperasian alat ini.
3. Selain itu, pola aliran sangat dipengaruhi secara signifikan terhadap variasi yang digunakan. Terutama ketika fluida masuk melalui inlet tangensial. Pola aliran sangat dipengaruhi oleh massa jenis pada tekanan flashing tersebut dan fraksi massa dari aliran. Hal ini akan mengakibatkan perbedaan kecepatan aliran serta mempengaruhi vortex aliran didalam flash tank. Dimana semakin besar kecepatan aliran efisiensi akan menurun, karena akan mempengaruhi proses pemisahan aliran didalam separator.

Untuk kedepannya, diharapkan dapat dilakukan penelitian secara eksperimen untuk membandingkan hasil penelitian terhadap performa aktual. Serta dapat dilakukan justifikasi apakah penelitian dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari atau tidak, terutama untuk mengolah limbah menggunakan alat piroliksi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini saya persembahkan kepada Almarhum Muhammad Wahyudi sebagai ayah penulis serta Ibu Atik Lailatul, Mas Nazal, Adik Firda, Farah dan Rafa yang telah mensupport penulis selama ini. Serta keluarga besar Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada yang telah berperan besar pada diri penulis. Selain itu penulis ingin berterima kasih pada teman-teman yang selalu mendukung dan mendorong penulis hingga bisa sampai ditahap ini.

DAFTAR NOTASI

- A_{pipe} : area melintang pipa (m^2)
 C : non dimensional koefisien
 D_e : diameter outlet uap (m)
 D_t : diameter pipa (m)

K'	:	Koefisien Kecepatan
\dot{m}_b	:	laju aliran massa brine carryover (kg/s)
\dot{m}_s	:	laju aliran massa uap (kg/s)
\dot{m}_w	:	laju aliran massa air (kg/s)
n	:	koefisien vortek aliran
Q_{VS}	:	debit aliran uap (m^3/s)
v_t	:	kecepatan terminal (m/s)
η_s	:	efisiensi separator/ <i>flash tank</i>
η_m	:	efisiensi sentrifugal
η_{eff}	:	efisiensi efektif teoritis separator
η_A	:	efisiensi entrainment
ρ_l	:	massa jenis liquid (kg/m^3)
ρ_g	:	massa jenis gas (kg/m^3)
ψ'	:	Parameter tumbukan inersia sentrifugal

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS, 2017, ANSYS Fluent Users Guide, SAS IP, Pennsylvania.
- Badan Pusat Statistik (bps.go.id) <https://www.bps.go.id/indicator/9/732/1/jumlah-industri-pengolahan-besar-dan-sedang-jawa-dan-luar-jawa.html>
- Bangma, P., 1960. Separation of Geothermal Bores: The Development and Performance of the 30 in. Diameter Bottom Outlet Cyclone Separator. Ministry of Works, New Zealand, Report P.W. 8/13, Wairakei, August.
- Buekens, Alfons. (2006). Introduction to Feedstock Recycling of Plastics. 10.1002/0470021543.ch1.
- Hidayat, Yosi & Kiranamahsa, Saskia & Zamal, Muchammad. (2019). A study of plastic waste management effectiveness in Indonesia industries. AIMS Energy. 7. 350-370. 10.3934/energy.2019.3.350.
- Hoffmann, A.C., Stein, L.E., 2007. Gas Cyclones and Swirl Tubes; Principles, Design and Operation, second ed. Springer, New York.
- Lazalde-Crabtree, H., 1984. Design approach of steam-water separators and steam dryers for geothermal applications. Geotherm. Resour. Counc. Bull., 11–20.
- Purnanto, M. H., Zarrouk, S. J., & Cater, J. E. (2013). CFD modelling of two-phase flow inside geothermal steam-water separators. IPENZ Transactions, 40, 1–10. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.366967552564856>
- Versteeg, H. K., dan Malalasekera, W., 1995, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, 2nd edition, Pearson Education Limited, Glasglow.
- Zarrouk, S. J., & Purnanto, M. H. (2014). Geothermal steam-water separators: design overview. Geothermics, 53, 236-254.