

PERANCANGAN INSTALASI *THERMAL OIL* PADA SISTEM *ORGANIC RANKINE CYCLE* (ORC)

Sabda Mochammad¹, Rudi Hermawan¹, I Gede Eka Lesmana¹, Eko Prasetyo¹, D.L Zariatini^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. *Organic Rankine Cycle* atau Siklus Rankine Organik yang biasa disebut ORC merupakan modifikasi siklus rankine dengan fluida kerja dari bahan organik (*refrigerant*). ORC dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dari sumber panas seperti pirolisis. Pada perancangannya sumber panas dari pirolisis tidak bisa langsung untuk memanaskan fluida kerja dari sistem ORC, oleh karena itulah pada penelitian ini dirancang suatu sistem untuk melindungi fluida kerja dari penguraian dengan cara menyimpan panas dari gas buang, dengan cara ini sistem ORC dapat dioperasikan secara stabil. Pada penelitian ini dilakukan perancangan instalasi siklus *thermal oil* untuk sistem ORC dengan metodologi yang digunakan yaitu perhitungan teoritis untuk mendapatkan nilai *Head loss*, *Friction loss*, dan *Pressure drop* pada instalasi *thermal oil* pada sistem ORC. Dari hasil perancangan instalasi *thermal oil* didapatkan nilai faktor gesekan yang sebesar 0,043 dan jenis aliran fluida nya berjenis laminar. Kemudian Nilai *Head loss* terbesar yang terjadi pada sistem adalah sebesar 0,906 m dengan panjang pipa sepanjang 2 m. Pada nilai *Pressure drop* terbesar terjadi pada sistem adalah sebesar 7,433 kPa dengan sambungan pipa no 8 dengan panjang pipa sepanjang 2 m. begitu pula dengan nilai *Friction loss*, nilai *friction loss* terbesar terjadi pada sistem adalah sebesar 0,733 m dengan panjang pipa sepanjang 2 m.

Kata kunci— *Organic rankine cycle, Pirolisis, Thermal oil, Pressure Drop*

PENDAHULUAN

Menurut Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota D.K.I Jakarta (2018), Timbunan sampah kota Jakarta selatan tahun 2018 dengan jumlah penduduk 22.208.172 jiwa yaitu 79,52 Ton/hari. Berdasarkan data tersebut, sampah yang dihasilkan bukan dalam jumlah yang sedikit. Sampah tersebut seharusnya dapat ditangani dengan baik dan benar. Sampah merupakan salah satu penyakit. Secara langsung sampah adalah tempat bersarangnya bakteri, parasit, dan pathogen dan Secara tidak langsung sampah merupakan awal mula penyakit.

Pemusnahan Sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), kurang efektif dan sangat beresiko khususnya untuk lingkungan. Pengolahan sampah plastik dengan pembakaran bukan metode yang aman bagi lingkungan. Pengolahan sampah plastik dengan pembakaran bukan metode yang aman bagi lingkungan karena munculnya pulutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO, Nox, dan Sox) dan beberapa partikulat pencemar lainnya. Sehingga diperlukan cara lain untuk pengolahan sampah plastik, beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cari berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup menjanjikan untuk dikembangkan [1].

Salah satu penelitiannya yaitu mengkonversi sampah menjadi minyak, Penelitian dalam mengubah limbah plastik menjadi minyak telah dibuktikan oleh Stephen J. Miller bersama dengan rekan-rekannya (2005) dalam publikasi penelitiannya pada jurnal *American Chemical Society*. Pada penelitian tersebut, Miller memanaskan plastik *polyethylene* menggunakan metode pirolisis. Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi sekitar 800°C - 1000°C . metode ini ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO_2 dan H_2O . Ketika dipanaskan, gas dan *polyethylene* juga membentuk suatu senyawa hidrokarbon cair mulai dari C_1 hingga C_4 [2].

Pirolisis adalah teknik pembakaran sampah (limbah plastik) tanpa O_2 dan dilakukan pada suhu tinggi yaitu antara 800°C sampai 1000°C . Teknik ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Teknologi pirolisis ini dapat dikatakan sebagai metode yang ramah lingkungan

sebab produk akhirnya menghasilkan CO_2 dan H_2O , yang merupakan gas non toksik. Proses pirolisis menghasilkan senyawa-senyawa hidro-karbon cair mulai dari C_1 hingga C_4 dan senyawa rantai panjang seperti *parafin* dan *olefin* [2].

Pirolisis merupakan metode dalam mengkonversi limbah plastik. Teknologi pirolisis adalah proses degradasi termal tanpa adanya oksigen. Cara kerjanya adalah dengan memasukkan limbah plastik ke dalam reaktor pada suhu tertentu sehingga terjadi proses reaksi pemecahan senyawa hidrokarbon molekul besar pada temperatur tinggi menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, dan produk yang dihasilkan berupa gas dan minyak pirolisis [1].

Produk pirolisis yang berupa gas/uap panas yang dihasilkan oleh pirolisis ini bisa dimanfaatkan kembali dengan inovasi teknologi yang disebut dengan *Organic Rankine Cycle* (ORC). Siklus rankine organik merupakan sebuah siklus termodinamika yang termasuk dalam metode pemanfaatan energi yang dapat diperbaharui, yaitu dengan memanfaatkan sebuah energi panas yang berupa gas/uap menjadi energi kerja. Teknologi siklus rankine organik memiliki cara kerja yang sama dengan sebuah sistem siklus konversi energi uap konvensional. Namun, siklus rankine organik memiliki perbedaan di dalam penggunaan fluida kerjanya yaitu refrigerant hidrokarbon. Singkatnya dengan *Organic rankine cycle* (ORC) yang merupakan modifikasi dari siklus rankine dengan menggunakan refrigerant sebagai fluida kerja untuk menghasilkan energi listrik [3].

Pada penelitian yang dilakukan terkait ORC telah dilakukan oleh Universitas Ibnu Khaldun dan Institut Pertanian Bogor, yang dimana telah merancang sistem pembangkit ORC. Sumber panas yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan panas yang berasal dari intensitas radiasi sinar matahari dengan menggunakan kolektor surya (*solar collector*) [4].

Organic Rankine Cycle atau sistem rankine organik adalah sebuah modifikasi dari sistem rankine sederhana. Pada sistem rankine sederhana ini menggunakan air bertekanan dan bertemperatur tinggi sebagai fluida kerjanya. Pada sistem ini titik didihnya lebih rendah sehingga air kurang tepat untuk digunakan sebagai fluida kerjanya. Oleh karena itu fluida kerja yang digunakan seperti *hydrocarbon*, *fluorocarbon*, dan *silicon oil* yang mempunyai titik didih rendah digunakan sebagai fluida kerjanya sebagai pengganti air [5].

Selain perbedaan dalam penggunaan fluida kerja, perbedaan siklus rankine sederhana dengan ORC adalah terletak pada alat penambah panasnya. Pada siklus rankine sederhana menggunakan boiler/ketel uap sebagai tempat penambah panasnya sedangkan pada ORC menggunakan evaporator sebagai tempat penyerapan panas. Sehingga pada siklus rankine organik ini kita tidak menggunakan tempat atau alat untuk proses pembakaran sehingga tidak akan terbentuk emisi gas buang penyebab polusi udara akibat dari proses pembakaran [3].

ORC yang di tenagai oleh thermal oli biasanya digunakan sebagai media perpindahan panas dan memiliki kinerja yang lebih baik dan stabil dibandingkan dengan ORC yang digerakkan langsung oleh sumber panas [6]. *Thermal oil* dapat digunakan dalam pembangkit siklus rankine organik untuk melindungi fluida kerja dari dekomposisi dengan mengumpulkan dan menyimpan panas dari sumber panas dan menjaga suhu dibawah rentang yang dirancang dan dikendalikan, dengan cara ini sistem ORC dapat dioperasikan secara stabil [7].

TINJAUAN PUSTAKA DAN METODE

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Head Loss

Kerugian energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam sistem perpipaan disebut sebagai kerugian head (*Head loss*). *Head loss* dapat terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida yang mengalir dengan suatu dinding pipa. Pada umumnya kerugian ini dipengaruhi oleh panjang pipa. Untuk dapat menghitung *head loss*, perlu diketahui lebih awal jenis aliran fluida yang

mengalir. Jenis aliran tersebut dapat diketahui melalui *Reynolds number*. *Head loss* dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari dua persamaan Darcy Weisbach berikut:

$$H_l = f \frac{l_p \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad (1)$$

Dimana :

H_l = head loss mayor (m)

f = faktor gesekan (diperoleh dari diagram Moody)

D = diameter pipa (m)

l_p = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.1.2 Friction loss

Friction loss pada pipa disebabkan oleh gesekan antar fluida di dalam permukaan pipa dan *fitting*. Sehingga menimbulkan gaya gesek. Gaya inilah yang menyebabkan hambatan pada tekanan pompa. Besarnya *friction loss* bergantung dari jenis material pipa yang digunakan, diameter pipa dan panjang pipa [8]. Dengan menggunakan pendekatan metode Hazen William maka persamaan untuk menentukan besarnya *friction loss* adalah sebagai berikut:

$$H_F = \left(\frac{3.35 \times 10^6 \cdot Q}{D^{2.63-C}} \right)^{1.852} \times l_p \quad (2)$$

Dimana:

H_F = Friction loss m/100 m

D = Diameter pipa (mm)

C = Konstanta Hazen William

Q = Debit aliran (m^3/s)

2.1.3 Pressure Drop

Bila fluida mengalir melalui suatu pipa dan tekanan fluida diukur pada dua tempat sepanjang pipa, akan dijumpai kenyataan bahwa tekanan berkurang dalam arah aliran. Penurunan tekanan ini disebabkan karena gesekan fluida pada dinding pipa [9]. Penurunan tekanan sepanjang pipa dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta p = \frac{v^2 \cdot f \cdot l_p \cdot \rho}{2D} \quad (3)$$

Dimana:

Δp = Penurunan tekanan ($\frac{kg}{s^2 \cdot m}$)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa ($\frac{m}{s}$)

f = faktor gesekan

l_p = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

2.1.4 Kapasitas Panas

Kapasitas Panas dipengaruhi oleh laju aliran massa, panas spesifik fluida dan perbedaan temperatur [10]. Pada Komponen *thermal oil* parameter temperatur, panas spesifik fluida dan laju aliran massa sudah diketahui sehingga besarnya kapasitas panas dapat didapatkan. Dengan mengasumsikan tidak ada perubahan laju aliran dalam sistem maka didapatkan nilai dari kapasitas panas dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_h \quad (4)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran massa ($\frac{kg}{s}$)

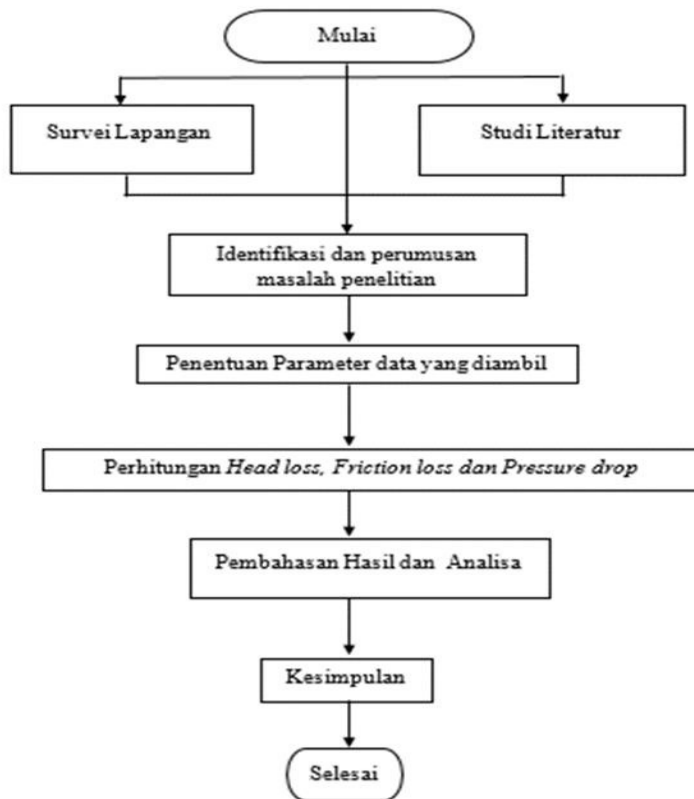
C_p = Panas spesifik ($\frac{kJ}{kg \cdot K}$)

Q = Kapasitas panas ($\frac{kJ}{s}$)

ΔT_h = Perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin (K)

1.2 Metode

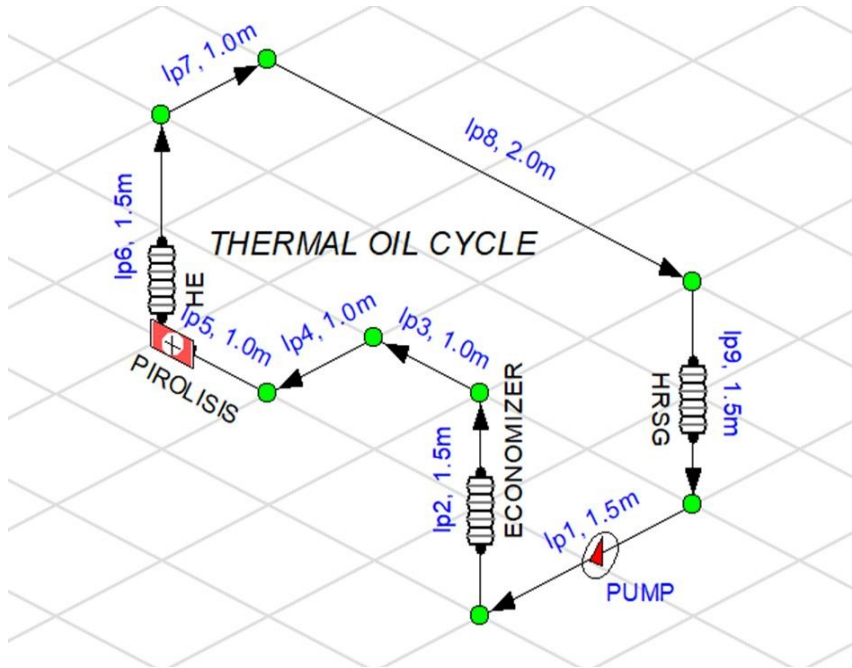
a. Diagram alir penelitian



Gambar 1 Diagram alir penelitian

b. Proses Penelitian

Pada penelitian ini proses penelitian dimulai dengan studi literatur dan survei lapangan, studi literatur yang dilakukan adalah membuat identifikasi dari beberapa literatur yang berhubungan dengan penelitian, sedangkan survei lapangan adalah pengamatan secara langsung dilapangan. Yaitu melihat secara langsung alat *Organic Rankine Cycle* di beberapa kampus yang sudah melakukan penelitian atau perancangan terhadap alat ORC. Setelah itu dilanjut dengan penentuan parameter untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dan pembahasan hasil analisa. Tahap terakhir diambil kesimpulan dari proses penelitian ini.



Gambar 2 Skema instalasi *Thermal oil*

HASIL

3.1 Data Perhitungan

Pembuatan pembangkit listrik berdasarkan Organic Rankine Cycle yang dirancang untuk menghasilkan listrik sebesar 1500 Watt. Dalam pembuatannya dibutuhkan perancangan instalasi untuk sistem ORC ini yang menggunakan sumber panas dari hasil pembakaran uap panas dari tungku pirolisis, dengan menggunakan fluida *Thermal oil* dan fluida kerja R-134a.

Tabel 1. Parameter yang ditetapkan

Komponen	Parameter	
	T_i (°C)	T_o (°C)
Economizer	90	100
Pirolisis-HE	100	120
HRSG	120	90
$D_{\text{pipa pompa}}$	15 mm	
$Q_{\text{tungku pirolisis}}$	11,3 kW	

3.2 Kapasitas Panas pada komponen *thermal oil cycle*

Kapasitas panas dipengaruhi oleh laju aliran massa, panas spesifik fluida dan perbedaan temperatur. Pada Komponen *thermal oil* parameter temperatur, panas spesifik fluida dan laju aliran massa sudah diketahui sehingga besarnya kapasitas panas dapat didapatkan.

Tabel 2. Data perhitungan *Head loss*, *Friction loss* dan *Pressure drop*

Nama Komponen	c_p	\dot{m}	Q
Economizer	$2,19 \text{ kJ/kg.K}$	$0,25 \text{ kg/s}$	$5,475 \text{ kW}$
Heat Exchanger	$2,26 \text{ kJ/kg.K}$	$0,25 \text{ kg/s}$	$11,31 \text{ kW}$
HRSR	$2,24 \text{ kJ/kg.K}$	$0,25 \text{ kg/s}$	$16,8 \text{ kW}$

3.3 Perhitungan Teoritis

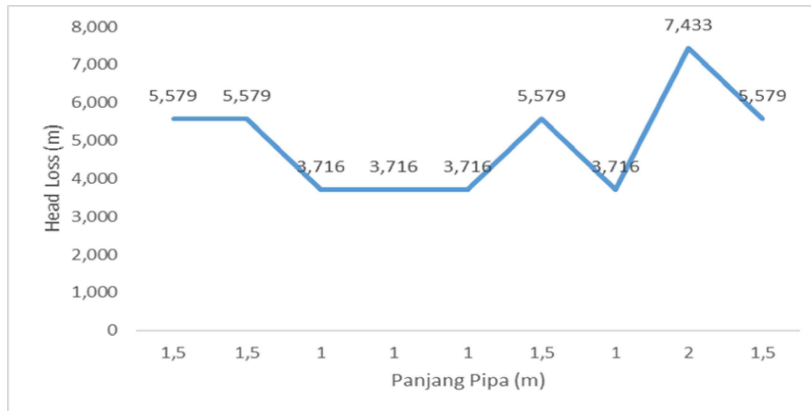
Pada perancangan instalasi *Thermal oil* ini, dilakukan perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan nilai *Head loss*, *Pressure drop*, dan *Friction loss* pada sistem. Dengan parameter yang telah ditetapkan sesuai dengan tabel 1. maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Data perhitungan *Head loss*, *Friction loss* dan *Pressure drop*

Nama pipa dan notasi	Panjang pipa (m)	<i>Head loss</i> (m)	<i>Friction loss</i> (m)	<i>Pressure Drop</i> (kPa)
l_{p1}	1,5	0,679	0,549	5,576
l_{p2}	1,5	0,679	0,549	5,576
l_{p3}	1	0,453	0,365	3,716
l_{p4}	1	0,453	0,365	3,716
l_{p5}	1	0,453	0,365	3,716
l_{p6}	1,5	0,679	0,549	5,576
l_{p7}	1	0,453	0,365	3,716
l_{p8}	2	0,906	0,733	7,433
l_{p9}	1,5	0,679	0,549	5,579

3.1 Analisa Hasil pembahasan

- a. Perbandingan panjang pipa dengan *Head loss*

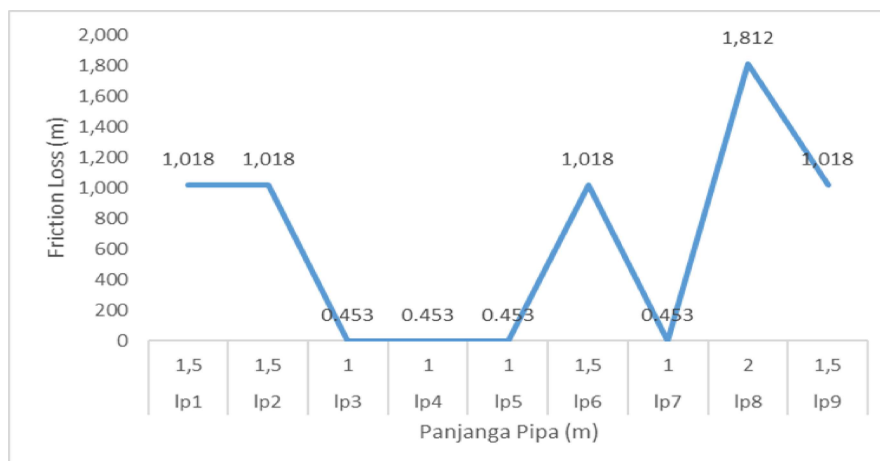


Gambar 3 Grafik perbandingan panjang pipa dengan *head loss*

Daftar Pustaka Grafik diatas merupakan grafik hubungan panjang pipa dengan kerugian head (*Head loss*). Dapat dilihat bahwa tren dari diagram cenderung naik turun dipengaruhi oleh panjang pipa. Nilai dari *Head loss* meningkat seiring bertambah panjangnya pipa. Nilai head loss tertinggi rata-rata berada pada panjang pipa sepanjang 2 m dengan nilai *Head loss* sebesar 0,906 m dan nilai head loss terendah rata-rata berada pada panjang pipa sepanjang 1 m dengan nilai *head loss* sebesar 0,453 m. Berdasarkan pembahasan grafik sebelumnya kita bisa menyimpulkan bahwa penyebab dari naiknya *Head loss* disebabkan oleh panjang pipa, kecepatan aliran fluida dan faktor gesekan yang dapat dicari dengan diagram moody.

Pada gambar 3 terlihat bahwa besarnya *head loss* tidak berubah pada panjang pipa yang sama. Pada pipa $l_{p3}, l_{p4}, l_{p5},$ dan l_{p7} dengan panjang pipa sepanjang 1 m besarnya head loss adalah 0,453 m. Pada pipa l_{p1}, l_{p2}, l_{p6} dan l_{p9} dengan panjang pipa 1,5 m besarnya head loss adalah sebesar 0,679 m. Dan pada pipa l_{p8} dengan panjang pipa sepanjang 2 m besarnya head loss adalah sebesar 0,906 m. Pada gambar grafik diatas terlihat bahwa semakin panjang pipa, *head loss* nya semakin besar. Hal ini telah sesuai dengan teori dimana besarnya head loss sebanding dengan panjang pipa.

- b. Perbandingan Panjang pipa dengan *Friction loss*



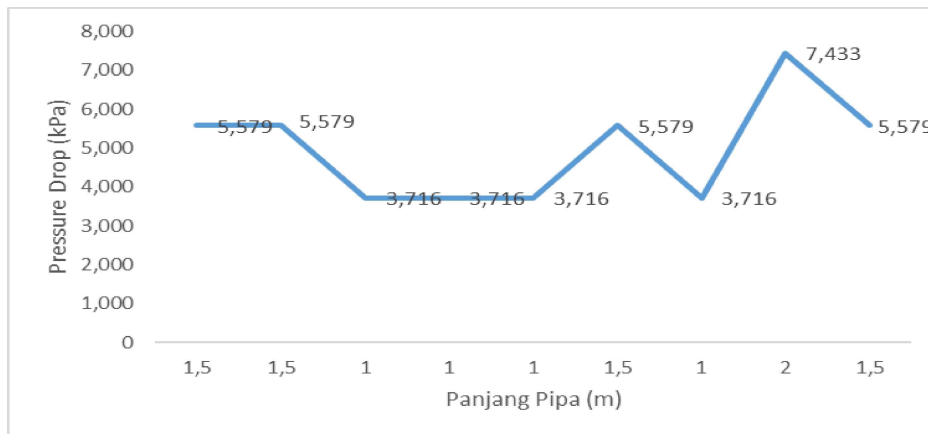
Gambar 4 Grafik perbandingan panjang pipa dengan *Friction loss*

Pada Grafik diatas merupakan grafik hubungan panjang pipa dengan *Friction loss*. Dapat dilihat bahwa diagram mempunyai tren cenderung naik turun dipengaruhi oleh panjang pipa, debit aliran dan jenis material pipa yang digunakan akan berpengaruh kepada nilai konstanta Hazen William.

Pada gambar grafik diatas nilai dari *friction loss* meningkat seiring bertambah panjangnya pipa. Nilai *Friction loss* tertinggi rata-rata berada pada panjang pipa sepanjang 2 m dengan nilai *Friction loss* sebesar 0,733 m dan nilai terendah rata-rata berada ketika panjang pipa sepanjang 1 m dengan nilai *friction loss* sebesar 0,365 m.

Pada gambar 4 terlihat bahwa besarnya nilai *friction loss* tidak berubah pada panjang pipa yang memiliki panjang yang sama. Pada pipa $l_{p3}, l_{p4}, l_{p5},$ dan l_{p7} dengan panjang pipa sepanjang 1 m besarnya *friction loss* sebesar 0,365 m. Pada pipa l_{p1}, l_{p2}, l_{p6} dan l_{p9} dengan panjang pipa 1,5 m besarnya nilai *friction loss* adalah 0,549 m. Dan pada pada pipa l_{p8} dengan panjang pipa sepanjang 2 m besarnya adalah 0,733 m. Hal ini telah sesuai dengan teori dimana besarnya head loss sebanding dengan panjang pipa.

c. Perbandingan Panjang pipa dengan *Pressure drop*



Gambar 4 Grafik perbandingan panjang pipa dengan *Pressur drop*

Pada grafik diatas merupakan gambar grafik hubungan panjang pipa dengan *pressure drop*. Dapat dilihat pada grafik cenderung naik dan turun. Pada grafik terlihat dengan semakin panjang pipa maka semakin meningkat pula *pressure drop* nya. Penurunan tekanan ini pula dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida, faktor gesekan dan kerapatas atau densitas. Terlihat pada gambar grafik diatas penurunan tekanan paling tinggi rata-rata berada pada saat panjang pipa sepanjang 2 m dengan penurunan tekanan sebesar 7,433 kPa dan penurunan tekanan terendah terjadi pada saat panjang pipa sepanjang 1 m.

Pada grafik gambar 4.4 terlihat terlihat bahwa besarnya nilai *pressure drop* tidak berubah pada panjang pipa yang memiliki panjang yang sama. Pada pipa $l_{p3}, l_{p4}, l_{p5},$ dan l_{p7} dengan panjang pipa sepanjang 1 m nilai *pressure drop* yaitu 3,716 kPa. Pada pipa l_{p1}, l_{p2}, l_{p6} dan l_{p9} dengan panjang pipa 1,5 m besarnya nilai *pressure drop* sebesar 5,579 m. Dan untuk Dan pada pada pipa l_{p8} dengan panjang pipa sepanjang 2 m besarnya adalah 7,433 kPa. Hal ini telah sesuai dengan teori dimana besarnya *pressure drop* sebanding dengan panjang pipa.

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa perhitungan perancangan instalasi *thermal oil* pada sistem ORC dapat di ambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Nilai *Head loss* terendah yang terjadi pada sistem adalah sebesar 0,453 m dengan panjang pipa sepanjang 1 m. Pada nilai *Pressure drop* terendah terjadi pada sistem adalah sebesar 3,716 kPa dengan panjang pipa sepanjang 1 m. begitu pula dengan nilai *Friction loss*, nilai *friction loss* terendah terjadi pada sistem adalah sebesar 0,365 m dengan panjang pipa sepanjang 1 m.
2. Nilai *Head loss* terbesar yang terjadi pada sistem adalah sebesar 0,906 m dengan panjang pipa sepanjang 2 m. Pada nilai *Pressure drop* terbesar terjadi pada sistem adalah sebesar 7,433 kPa dengan

panjang pipa sepanjang 2 m. begitu pula dengan nilai *Friction loss*, nilai *friction loss* terbesar terjadi pada sistem adalah sebesar 0,733 m dengan panjang pipa sepanjang 2 m.

3. Berdasarkan perhitungan teoritis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, semakin panjang pipa yang digunakan maka cenderung semakin tinggi pula nilai *Head loss*, *Friction loss* dan *Pressure drop*. Hal ini terjadi karena beberapa faktor yang mempengaruhi seperti, diameter pipa, kecepatan laju aliran fluida dan faktor gesekan.
4. Kapasitas Panas yang dirancang pada komponene economizer, Heat Exchanger dan HRSG adalah sebesar 5,475 kW, 11,31 kW dan 16,8 kW

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada Bapak Ir.Rudi Hermawan MM.,MT selaku pembimbing penulis. Tidak lupa pula dukungan dari kedua orang tua penulis secara moril,materil dan doa yang diberikan, serta dukungan dari teman-teman seperjuangan penulis di jurusan teknik mesin universitas pancasila

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. P. and M. Ali, "Pengolahan sampah plastik menjadi minyak menggunakan proses pirolisis," *J. Ilm. Tek. Lingkungan.*, vol. 4, no. 1, pp. 44–53, 2012.
- [2] R. Ermawati, "konversi limbah plastik sebagai sumber energi alternatif," *Konversi limbah Plast. sebagai sumber energi Altern.*, vol. 5, 2011.
- [3] D. F. K. R-, "Studi Variasi Flowrate Refrigerant Pada Sistem Organic Rankine Cycle Dengan Fluida Kerja R-123," vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2013.
- [4] Y. S. Gaos, M. Juarsa, E. Marzuki, and M. Yulianto, "Pemilihan Fluida Kerja pada Pengembangan Organic Rankine Cycle Selection Working Fluids in the Organic Rankine Cycle Development," *Proceeding Thermofluid*, pp. 7–11, 2013.
- [5] C. Anggradiar, "Studi Eksperimen Pengaruh Pembebanan Generator Pada Performa Sistem Organic Rankine Cycle," vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2012.
- [6] G. Shu *et al.*, "Experimental investigation on thermal OS/ORC (Oil Storage/Organic Rankine Cycle) system for waste heat recovery from diesel engine," *Energy*, vol. 107, no. 51676113, pp. 693–706, 2016.
- [7] L. Luo, Y. Wang, H. Chen, X. Zhang, and T. Roskilly, "ORC units driven by engine waste heat - A simulation study," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 1022–1027, 2017.
- [8] P. Dan, P. Pompa, P. Instalasi, P. Air, and G. Kapasitas, "Perhitungan dan pemilihan pompa," no. November, 2013.
- [9] L. Nurcholis, "Aliran fluida pada jaringan pipa," *1693 - 3451 Vol. 7 Juni 2008*, vol. 7, no. 1, 2008.
- [10] J. P. Holman, "Heat Transfer (10th Edition)," *McGraw-Hill Co.*, 2010.