

## ANALISIS PEMANFAATAN GAS BUANG PADA MESIN GENERATOR SET MELALUI SISTEM ORGANIC RANKINE CYCLE

Iing Mustain

AKMI Suaka Bahari Cirebon  
e-mail: iing.mustain@gmail.com

### ABSTRACT

*The research aim is to obtain the Waste Heat Recovery (WHR) utilization from ship generator set diesel engine as a heat resource. Utilization of heat source used to heat water as work fluid in the ORC system. The research method has qualitative that to analyze Waste Heat Recovery (WHR) from a ship generator set diesel engine type GFS – 20 No. A737009 with integrated pumping circulation to obtain working fluid in the ORC system for low temperature by T-S diagram. The result from this research was obtained by that the temperature out from evaporator was 90 °C, measured 80 °C in the recuperator, and 30 °C from condenser output. The pinch point temperature was 85 °C and the heat exchangers at the pinch ( $\Delta T$ ) 10 °C. Energy recovered has 40 kW.*

**Keyword:** *Evaporator, Diesel machine, Generator set, ORC, WHR*

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapat gambaran pemanfaatan gas buang dari mesin diesel generator set sebagai sumber panas. Pemanfaatan sumber panas digunakan untuk memanaskan air sebagai fluida kerja yang pada sistem ORC. Metode penelitian ini bersifat kualitatif dengan menganalisis pemanfaatan gas buang dari mesin diesel generator sets kapal Type GFS – 20 No. A737009 yang dihubungkan dengan sistem perpipaan untuk diketahui besar temperatur aliran fluida kerja pada sistem ORC temperatur rendah melalui diagram T-S. Berdasarkan hasil penelitian bahwa diperoleh temperatur luaran dari evaporator mencapai 90 °C, sementara temperatur pada *recuperator* mencapai 80 °C dan 30°C pada temperatur luaran dari kondensor. Besar temperatur *pinch point* pada suhu 85 °C dan *selisih point temperatur aliran panas dan aliran dingin* ( $\Delta T$ ) sebesar 10 °C. Besar energi yang direcovery diperoleh 40 kW.

**Kata Kunci:** *Evaporator, Mesin diesel, Generator sets, ORC, WHR*

## 1. PENDAHULUAN

Gas buang dari mesin diesel yang di-*recovery* untuk menghasilkan energi melalui Unit *Waste Heat Recovery* (WHR) dengan sistem *Organic Rankine Cycle* (ORC). Gas buang dari mesin kapal memiliki temperatur tinggi kemudian dihubungkan ke turbin sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar untuk menghidupkan turbin. Manfaat WHR dapat secara langsung berpengaruh kepada efisiensi terhadap penggunaan bahan bakar dan biaya pengoperasian dan berpengaruh terhadap mengurangi polusi udara, pengurangan penggunaan peralatan dan pengurangan konsumsi energi untuk mesin bantu (Bellolio et al., 2015). Namun, penggunaan ORC memungkinkan diterapkan pada temperatur gas buang mulai dari temperatur rendah (Saleh et al., 2007), medium (Zhang et al., 2016), hingga temperatur tinggi (Crespi et al., 2017). Temperatur fluida kerja dapat diaplikasikan pada kisaran temperatur rendah yaitu 100 °C dan temperatur medium yaitu 350 °C (Saleh et al., 2007).

Maka, dalam pengembangan mesin oleh beberapa perusahaan besar untuk mengikuti regulasi IMO membuat mesin yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar dan ramah lingkungan. Walaupun, telah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan pemanfaatan gas buang dari mesin kapal untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk keperluan turbin, pengisian air ke dalam boiler, dan lainnya. Bahkan sudah dilakukan pabrikasi mesin diesel yang ramah canggih dan ramah lingkungan seperti mesin EEDI seperti mesin EEDI-*Energy Efficiency Design Index* (Larsen et al., 2014). Namun, untuk mesin diesel generator sets kapal belum diterapkan.

Salah satu penggerak utama pada kapal adalah mesin diesel, mesin diesel mengeluarkan panas buang berupa kalor buang sehingga termasuk pada mesin kalor karena mesin dapat menghasilkan energi termal untuk melakukan kerja mekanik. Perubahan energi panas menjadi energi mekanik terjadi pada mesin kalor. Energi kalor dapat diperoleh dari hasil pembakaran, proses fisi bahan bakar nuklir, pembakaran tungku pada boiler, dan proses-proses lainnya.

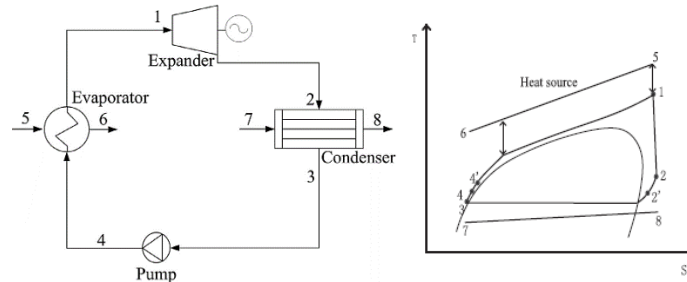
Gas buang panas merupakan energi kalor yang dapat dihasilkan dalam proses pembakaran bahan bakar atau hasil reaksi kimia yang dibuang ke lingkungan. Gas buang hasil pembakaran dari mesin dapat digunakan sebagai sumber energi baru. Pemanfaatan gas buang adalah upaya mengurangi konsumsi bahan bakar sehingga meningkatkan efisiensi dan nilai ekonomis. Strategi tentang bagaimana memanfaatkan energi kalor gas buang ini bergantung pada temperatur dari gas buang dan tekanannya.

Polusi udara oleh gas buang dan bunyi pembakaran motor diesel merupakan gangguan terhadap lingkungan. Komponen-komponen gas buang yang membahayakan itu antara lain adalah asap hitam (jelaga), hidro karbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO) dan NO<sub>2</sub>. NO dan NO<sub>2</sub> biasa dinyatakan dengan NO<sub>x</sub>. Polusi udara dari emisi mesin kapal harus dikurangi berdasarkan ketentuan IMO (Corbett, 2003).

Jika gas panas buang dapat di-*recovery*, maka penggunaan bahan bakar dapat lebih efisien. Selain efisiensi energi juga diharapkan dapat mengurangi efek emisi gas buang pada lingkungan, mengatur temperatur agar tidak terjadi kelebihan panas (*over heating*), dan penggunaan aliran organik pada sumber tenaga dari mesin melalui siklus Rankine (RC). Sehingga dapat menjadi solusi peningkatan penggunaan energi yang ramah lingkungan (Wang et al., 2015). Potensi WHR telah dilakukan dengan menggunakan bioethanol dari mikroorganisme sebagai bahan organik untuk sistem ORC yang menghasilkan efisiensi dan energi luaran masing-masing sebesar 2,28% dan 5,10 Kw (Mat Nawi et al., 2019).

ORC memiliki karakteristik yang sama dengan siklus Rankine mesin bersuhu tinggi. Namun, pada ORC menggunakan bahan organik yang dialirkan berbentuk fluida kerja ke dalam gas buang panas (*waste heat*). ORC telah dikembangkan dalam teknologi sumber

energi geothermal (Heberle et al., 2016), tekstil (Pulat et al., 2009), energi panas matahari (Rayegan & Tao, 2011), dan biomassa (Algieri & Morrone, 2014). Skema sistem ORC dan diagram T-S dapat diaplikasikan pada mesin generator sets kapal ditunjukkan gambar 1. (Guo et al., 2015)



**Gambar 1.** Diagram ORC pada mesin  
(Sumber: Guo et al., 2015)

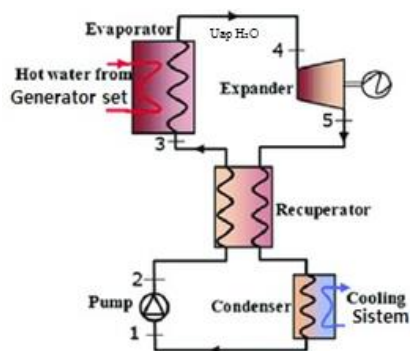
Penentuan *Pinch Point* pada HRSG Dalam mendesain sebuah HRSG digunakan pendekatan metode *pinch point* (Linnhoff, B., Mason, D. R. and Wardle, 1979). *Pinch point* merupakan titik temperatur gas buang yang keluar dari evaporator yang akan dijadikan sebagai batas antara point bawah temperatur panas (*hot temperatur*) dan point atas temperatur dingin (*cold temperatur*), sedangkan perubahan temperatur point ( $\Delta T$ ) adalah selisih antara point temperatur panas dan temperatur dingin ( $T_h - T_c$ ). Data *pinch point* dan perubahan temperatur point ( $\Delta T$ ) diperoleh dengan selisih temperatur atas batas aliran kalor panas dengan temperatur atas aliran kalor dingin.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang pemanfaatan gas buang dari mesin generator sets kapal. Besaran temperatur gas buang yang mengalir dalam sirkulasi fluida Melalui sistem ORC kemudian dianalisis untuk mendapatkan energi yang di-recovery (Sprouse & Depcik, 2013). Besar temperatur yang diperoleh pada sirkulasi tertutup yang selanjutnya dapat menghasilkan besar temperatur dari setiap tahapan pada siklus ORC. Pemanfaatan gas buang dari mesin diesel generator sets kapal yang dihubungkan dengan sistem ORC diharapkan dapat memberikan tambahan kajian untuk beberapa mesin yang belum dibahas untuk mesin generator khususnya di kapal.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif analisis yaitu menganalisis secara termodinamik pemanfaatan panas gas buang dari mesin diesel generator set kapal menggunakan sistem *Organic Rankine Cycle* (ORC) (Safari & Ataei, 2015). Indikator variabel yang diukur dan dianalisis yaitu besar temperatur untuk dianalisis pada diagram T-S. Menentukan capaian *Pinch Point* dan perubahan temperatur pada *pinch point* ( $\Delta T$ ) dan energi panas yang direcovery (Kemp, 2007) mesin diesel genset kapal dengan sistem ORC (Mat Nawi et al., 2019). Penelitian ini menggunakan uap air sebagai fluida kerja. Langkah proses aliran fluida yaitu dengan mengalirkan gas buang dari pipa pembuangan gas mesin diesel dihubungkan evaporator yang berisi air kemudian uap dialirkan ke recuperator dan sistem pendingin. Kemudian dari sistem pendingin secara langsung dihubungkan ke recuperator sebelum masuk kembali ke evaporator. Adapun skema penelitian ini ditunjukkan pada bagan gambar 2.(Bellolio et al., 2015). Untuk menentukan besar energi yang di recovery menggunakan persamaan 1.

$$\Delta H = C_p \cdot (T_2 - T_1) = c_p \cdot \dot{m} \cdot (T_2 - T_1) = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (1)$$



**Gambar 2. Skema sistem ORC**  
(Sumber: Bellolio et al., 2015)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian sebagaimana digambarkan dalam Tabel 1. Mesin generator set kapal digunakan sebagai objek utama dalam penelitian dengan spesifikasi Type GFS – 20 No. A737009.

**Tabel 1.** Spesifikasi mesin untuk objek penelitian

Nama / Parameter alat	Spesifikasi	Keterangan
Diesel Generator Sets	Type GFS – 20	No. A737009
Tegangan Output (V)	400 Volt	AC
Arus Listrik (I)	36.1 Amp	
Frekuensi (f)	50 Hz	1500 r/min
Dimensi (Vol)	2000 x 910 x 1500	mili meter (mm)
Berat (W)	800 KGS	
Tahun Produksi	2007	Buatan Cina

#### 3.2. Analisis Diagram Temperatur versus Entropi (T-S)

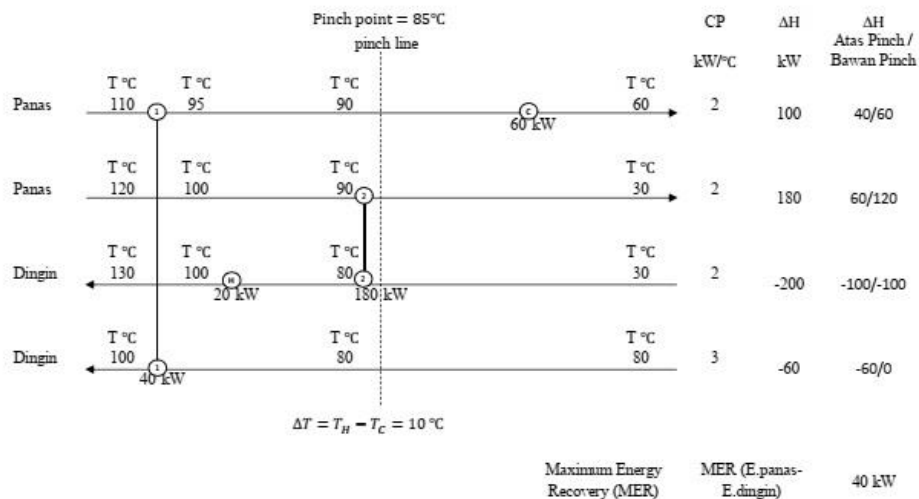
Sumber panas gas buang dari boiler menghasilkan energi termal digunakan untuk memanaskan air pada evaporator dan uap air dialirkan menuju recuperator dan kemudian didinginkan melalui sistem pendingin. Aliran fluida dipompa dari kondensor dialirkan kembali ke recuperator dan diteruskan ke evaporator. Aliran uap air disirkulasi dalam sistem tertutup membentuk aliran siklus tertutup.

Temperatur air dari pemanasan gas buang mencapai 100 °C pada keadaan *steady state*. Air mengalami penguapan pada evaporator temperatur pada evaporator terukur 95 °C dan uap air dipompa keluar dari evaporator menuju recuperator dengan temperatur sebesar 90 °C dan besar temperatur yang terukur pada *recuperator* sebesar 80 °C. temperatur *pich point* pada penelitian ditentukan pada suhu 85 °C dengan selisih batas bawah temperatur panas dan dingin  $\Delta T = 10$  °C ( $\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ). kemudian uap air dialirkan ke sistem pendingin, setelah melewati sistem pendingin menghasilkan suhu 30 °C dan kembali ke *recuperator* dengan temperatur 80°C. Aliran uap air disirkulasi dalam sistem tertutup membentuk aliran siklus tertutup sehingga pada keadaan *steady state* diamati selama waktu 120 menit tidak mengalami perubahan temperatur di masing-masing termometer. Aliran uap air yang masuk ke recuperator kemudian mengalir ke sistem pendingin sehingga temperatur uap air terjadi penurunan. Sebagian uap air berubah menjadi cair yang ditandai dengan munculnya tetesan air di dalam pipa pendingin.

Besar energi diperoleh seperti ditunjukkan pada tabel 2. Masing-masing energi diperoleh menggunakan persamaan 1. Energi kalor yang diperoleh pada masing-masing perubahan temperatur dengan besar massa fluida yang mengalir adalah tetap. Energi pada aliran kalor panas di bawah dan di atas temperatur 90 °C, energi masing-masing sebesar 60 kW dan 40 kW. Energi pada aliran kalor dingin dibawah dan diatas temperatur 80 °C, energi kalor masing-masing sebesar 100 kW dan 100 kW.

**Tabel 2.** Energi kalor yang diperoleh pada masing-masing perubahan temperature

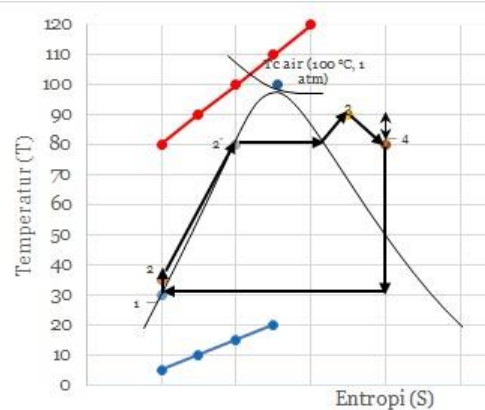
Cp (kW/°C)	T <sub>akhir</sub> (°C)	T <sub>awal</sub> (°C)	E (kW)	Keterangan	ΔH Atas / bawah pinch (kW)	ΔH (kW)
2	90	60	60	Aliran panas dibawah pinch	40/60	100
2	110	90	40	Aliran panas diatas pinch		
2	90	30	120	Aliran panas dibawah pinch	60/120	180
2	120	90	60	Aliran panas diatas pinch		
2	30	80	-100	Aliran panas dibawah pinch	-100/-100	100
2	80	130	-100	Aliran panas diatas		
3	80	80	0	Aliran panas dibawah pinch	-60/0	180
3	80	100	-60	Aliran panas diatas pinch		



**Gambar 3.** Diagram aliran energi

3.3. Analisis termodinamik WHR pada sistem ORC berdasarkan temperatur ekuivalen  
Energi kalor mengalir pada temperatur diatas temperatur pinch pada aliran fluida panas sebesar 60 kW dan dibawah temperatur pinch 40 kW. Sedangkan pada aliran

fluida dingin diatas temperatur pinch dibutuhkan 100 kW dan disuplay 20 kW sehingga menjadi 80 kW dan dibawah temperatur pinch 100 kW dan energi yang di-recovey pada sistem sebesar 40 kW. seperti ditunjukkan diagram pada gambar 3. besar *perubahan temperatur pada pinch point* ( $\Delta T$ ) 10 °C.. Nilai *selisih point temperature* ini berada pada batasan yang direkomendasikan. Nilai *selisih point* berkisar dari 5°C – 12°C (Burlian & Ghafara, 2013). Gambar 4 menunjukkan analisis diagram T-S berdasarkan organic siklus rankine pada temperatur rendah.



**Gambar 4.** Grafik T-S pada sistem ORC

#### 4. KESIMPULAN

Gas buang dari mesin diesel generator set kapal Type GFS – 20 No. A737009 dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi baru. Beberapa besaran temperatur diukur dengan termometer pada aliran fluida kerja berdasarkan sistem rankine cycle. Aliran fluide kerja disirkulasi secara tertutup melalui evaporator ke condenser hingga kembali ke evaporator. Besar *pinch point temperature* diperoleh pada 85 °C sedangkan besar selisih point temperature 10 °C. Berdasarkan hasil penelitian bahwa diperoleh temperatur luaran dari evaporator mencapai 90 °C, sementara temperatur pada *recuperator* mencapai 80 °C. Besar *pinch point* temperatur pada suhu 85 °C dan temperatur *selisih point temperatur atas dan bawah* 10 °C. Besar energi yang direcovery diperoleh 40 kW.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Kemdikbud RI melalui dana hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2020 maka Ucapan terima kasih kepada pemberi Dana hibah dari DRPM DIKTI dengan SK nomor 26/E1/KPT/2020.

#### Daftar Pustaka

- Algieri, A., & Morrone, P. (2014). *Techno-economic analysis of biomass-fired ORC systems for single-family combined heat and power (CHP) applications*. *Energy Procedia*, 45, 1285–1294. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.134>
- Bellolio, S., Lemort, V., & Rigo, P. (2015). *Organic Rankine Cycle Systems for Waste Heat Recovery in Marine Applications*. *SCC 2015, International Conference on Shipping in Changing Climates*.
- Burlian, F., & Ghafara, A. (2013). Perancangan Ulang *Heat Recovery Steam Generator* Dengan Sistem Dual Pressure Melalui Pemanfaatan Gas Buang Sebuah Turbin Gas Berdaya 160 Mw. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1),21–33.

- Corbett, J. J. (2003). New Directions: *Designing ship emissions and impacts research to inform both science and policy*. *Atmospheric Environment*, 37(33), 4719–4721. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.08.003>
- Crespi, F., Gavagnin, G., Sánchez, D., & Martínez, G. S. (2017). *Supercritical carbon dioxide cycles for power generation: A review*. *Applied Energy*, 195, 152–183. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.048>
- Guo, C., Du, X., Yang, L., & Yang, Y. (2015). *Organic Rankine cycle for power recovery of exhaust flue gas*. *Applied Thermal Engineering*, 75, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.080>
- Heberle, F., Schiffelechner, C., & Brüggemann, D. (2016). *Life cycle assessment of Organic Rankine Cycles for geothermal power generation considering low-GWP working fluids*. *Geothermics*, 64, 392–400. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.06.010>
- Hidayat, R. (2017). *Analisa Pengaruh Variasi Pinch Point Dan Approach Point Terhadap Performa Heat Recovery Steam Generator Tipe Dual Pressure*.
- Kemp, I. C. (2007). *Key concepts of pinch analysis*. In *Pinch Analysis and Process Integration* (Second Edi, pp. 15–38). Elsevier's Science & Technology.
- Larsen, U., Sigthorsson, O., & Haglind, F. (2014). *A comparison of advanced heat recovery power cycles in a combined cycle for large ships*. *Energy*, 74(C), 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.096>
- Linnhoff, B., Mason, D. R. and Wardle, I. (1979). *Understanding heat exchanger networks*. *Comp Chem Eng*, 3, 295–302.
- Mat Nawi, Z., Kamarudin, S. K., Sheikh Abdullah, S. R., & Lam, S. S. (2019). *The potential of exhaust waste heat recovery (WHR) from marine diesel engines via organic rankine cycle*. *Energy*, 166, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.064>
- Pulat, E., Etemoglu, A. B., & Can, M. (2009). *Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.002>
- Rayegan, R., & Tao, Y. X. (2011). *A procedure to select working fluids for Solar Organic Rankine Cycles (ORCs)*. *Renewable Energy*, 36(2), 659–670. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.010>
- Safari, F., & Ataei, A. (2015). *Thermodynamic Performance Analysis of Different Organic Rankine Cycles to Generate Power from Renewable Energy Resources*. *4th International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation*, 1(2), 31–38. [http://www.researchgate.net/publication/271530870\\_Thermodynamic\\_Performance\\_Analysis\\_of\\_Different\\_Organic\\_Rankine\\_Cycles\\_to\\_Generate\\_Power\\_from\\_Renewable\\_Energy\\_Resources](http://www.researchgate.net/publication/271530870_Thermodynamic_Performance_Analysis_of_Different_Organic_Rankine_Cycles_to_Generate_Power_from_Renewable_Energy_Resources)
- Saleh, B., Koglbauer, G., Wendland, M., & Fischer, J. (2007). *Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles*. *Energy*, 32(7), 1210–1221. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.07.001>

- Sprouse, C., & Depcik, C. (2013). *Organic rankine cycles with dry fluids for small engine exhaust waste heat recovery*. *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 2(1), 96–104. <https://doi.org/10.4271/2013-01-0878>
- Wang, H., Xu, J., Yang, X., Miao, Z., & Yu, C. (2015). *Organic Rankine cycle saves energy and reduces gas emissions for cement production*. *Energy*, 86, 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.112>
- Zhang, X., Wu, L., Wang, X., & Ju, G. (2016). *Comparative study of waste heat steam SRC, ORC and S-ORC power generation systems in medium-low temperature*. *Applied Thermal Engineering*, 106, 1427–1439. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.108>