

ANALISA KINERJA CNG COOLER PADA SISTEM CNG PLANT

Seno Darmanto¹⁾, Muhammad Fahrudin²⁾

¹⁾Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

²⁾Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Jl. Hayam Wuruk No. 4, Kampus Undip Pleburan, Semarang, Indonesia 50241

Email: senodarmanto@gmail.com

ABSTRACT

CNG Cooler is a heat exchanger in CNG Plant System which has function to reduce CNG temperature. CNG (Compressed Natural Gas) is natural gas which compressed by gas compressor from normal pressure up to certain high pressure. CNG Plant is gas storage and supply facility for PLTGU when it work at peak load hours. CNG Cooler reduce temperature of CNG which out from gas compressor before saved in storage utility which purpose to avoid over heating in the next process, increase durability of the next process utility, and make gas storage utility design easy.

Keywords: CNG; CNG Cooler; CNG Plant; heat exchanger; temperature

PENDAHULUAN

Gas bumi merupakan sumber daya alam dengan cadangan terbesar ketiga di dunia setelah batu bara dan minyak bumi [1]. Gas alam pada awalnya tidak dikonsumsi sebagai sumber energi karena kesulitan dalam hal transportasi sehingga selalu dibakar ketika diproduksi bersamaan dengan minyak bumi.

Pemanfaatan gas alam di Indonesia tidak hanya untuk transportasi dan rumah tangga, tetapi untuk industri juga. Gas alam di Indonesia memiliki peranan yang cukup dominan setelah peran minyak sebagai sumber energi utama mulai dikurangi. Apalagi dengan komitmen yang diberikan pemerintah dalam *Clean Development Mechanism* pada *Kyoto Protocol*, gas alam mulai dipilih karena tingkat polusi yang lebih rendah.

Selain minyak bumi, Indonesia memiliki cadangan gas alam yang cukup besar, yaitu sebesar 170 TSCF dan produksi per tahun mencapai 2,87 TSCF. Dengan komposisi tersebut Indonesia memiliki *reserve to production*(R/P) mencapai 59 tahun. Gas alam juga memiliki harga yang stabil karena jauh dari muatan politis, tidak seperti minyak bumi. Produk dari gas alam yang digunakan adalah *Liquid Petroleum Gas* (LPG), *Compressed Natural Gas* (CNG), *Liquid Natural Gas* (LNG) dan *Coal Bed Methane* (CBM) yang merupakan sumber non konvensional yang sedang dikembangkan di Indonesia.

Compressed Natural Gas (CNG) merupakan gas alam yang dikompresi tanpa melalui proses penyulingan dan disimpan dalam tabung logam. CNG relatif lebih murah karena tanpa melalui proses penyulingan dan lebih ramah lingkungan. LPG dan LNG merupakan gas alam hasil penyulingan dan pemisahan dari minyak bumi. Gas butana dan propana akan menjadi LPG dan metana akan menjadi LNG [1].

PT. Perta Daya Gas yang merupakan perusahaan *joint venture* yang dibentuk dan didirikan

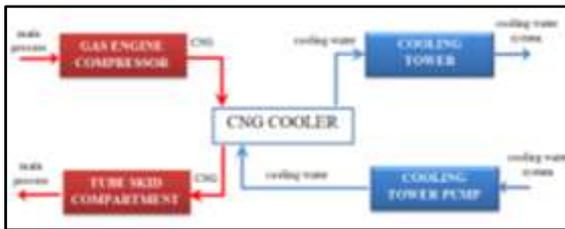
oleh PT. Pertamina Gas (Pertagas) dan PT. Indonesia Power (IP) untuk mewujudkan fasilitas *Compressed Natural Gas* (CNG) *Plant* Tambak Lorok dengan skema *Built, Operate & Own* (BOO) [2]. *CNG Plant* Tambak Lorok adalah fasilitas kompresi dan penyimpanan gas alam dalam bentuk CNG untuk memenuhi kebutuhan primer Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Tambak Lorok pada saat beban puncak. *CNG Plant* Tambak Lorok merupakan bagian dari penugasan PT. Perusahaan Listrik Negara atau PLN (Persero) kepada PT. Indonesia Power dalam rangka menghapus pemakaian Bahan Bakar Minyak (BBM) di pembangkit listrik. Pada sistem *CNG Plant* Tambak Lorok terdapat *CNG Cooler*. *CNG Cooler* berfungsi menurunkan temperatur CNG yang keluar dari *Gas Engine Compressor* sebelum disimpan di *Tube Skid Compartment*.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa kinerja *CNG Cooler* E-100 pada Sistem *CNG Plant*. Batasan dari penelitian ini adalah melakukan perhitungan parameter kinerja *CNG Cooler* yaitu laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas *CNG Cooler* kemudian menganalisa kinerja *CNG Cooler* berdasarkan grafik laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas *CNG Cooler*.

METODE PENELITIAN

Cara Kerja *CNG Cooler*

CNG Cooler E-100 merupakan alat penukar kalor tipe *shell and tube*. Di dalam *CNG Cooler* terdapat dua fluida, yaitu air pendingin (*cooling water*) yang mengalir pada sisi shell dan CNG yang mengalir pada sisi tube [3,4]. Aliran air pendingin melalui *Water Cooling System* sedangkan CNG melalui *Main Process*. Air pendingin dari *Cooling Tower Pump* masuk ke *CNG Cooler* kemudian keluar menuju *Cooling Tower*. Sedangkan CNG dari *Gas Engine Compressor* masuk ke *CNG Cooler* kemudian keluar menuju *Tube Skid Compartment*. Gambar 1 menunjukkan skema cara kerja *CNG Cooler*.



Gambar 1. Skema cara kerja CNG Cooler

CNG Cooler bekerja untuk menurunkan temperatur CNG [5]. CNG yang keluar dari *Gas Engine Compressor* memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi. Selanjutnya, CNG masuk ke CNG Cooler untuk proses penurunan temperatur. Didalam CNG Cooler terjadi pertukaran kalor antara CNG yang mengalir pada sisi *tube* dengan air pendingin yang mengalir pada sisi *shell*. Selanjutnya CNG masuk menuju *Tube Skid Compartment* untuk disimpan.

Spesifikasi CNG Cooler

CNG Cooler yang digunakan pada sistem CNG Plant Tambak Lorok adalah *Heat Exchanger* tipe *Shell and Tube* dengan aliran *multi pass*. CNG Cooler mempunyai 1 *shell* dan *tube* tipe U (*one shell pass two tube*). Pada sisi *shell* berisi air pendingin (*cooling water*) sebagai fluida dingin dan pada sisi *tube* mengalir CNG sebagai fluida panas. Spesifikasi CNG Cooler tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi CNG Cooler [6]

<i>Unit Name</i>	CNG Cooler
<i>Tag Number</i>	E-100
<i>Type</i>	Shell and Tube Heat Exchanger
<i>Heat Duty</i>	0,2224 MW
<i>Shell</i>	
<i>Design Pressure</i>	7 barg
<i>Design Temperature</i>	45 °C
<i>Operating Pressure</i>	3 barg
<i>Operating Temp. (in / out)</i>	30 °C / 39 °C
<i>Fluid</i>	Cooling Water
<i>Shell dimension</i>	431,801 mm (ID)
<i>Shell TEMA Type</i>	CEU
<i>Tube</i>	
<i>Design Pressure</i>	263 barg
<i>Design Temperature</i>	65 °C
<i>Operating Pressure</i>	249 barg
<i>Operating Temp. (in / out)</i>	48 °C / 35 °C
<i>Fluid</i>	CNG
<i>Tube dimension</i>	19,050 mm (OD) x 5000 mm (L)
<i>Tube type</i>	Plain U tube
<i>Tube count</i>	2 tube pass x 91 tube count

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap alat memiliki kinerja yang berbeda-beda. Dari kinerja inilah dapat ditentukan kelayakan

alat saat digunakan. Kinerja CNG Cooler dapat ditentukan menggunakan parameter-parameter yang digunakan pada *Shell and Tube Heat Exchanger*. Dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas.

Perhitungan menggunakan data operasi CNG Cooler E-100 tanggal 1 Maret 2020 sampai dengan 31 Maret 2020 serta data-data pendukung dari *Control Room*, *Manual Book*, dan beberapa referensi terkait. Sebagai sampel perhitungan, digunakan data operasi CNG Cooler E-100 tanggal 9 Maret 2020 jam 10.00 WIB. Data operasi CNG Cooler E-100 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data operasi CNG Cooler E-100 dalam satuan SI [6]

$T_{c \text{ in}}$ (°C)	$T_{c \text{ out}}$ (°C)	$T_{h \text{ in}}$ (°C)	$T_{h \text{ out}}$ (°C)	$P_{h \text{ out}}$ (barg)
20	28	52	32	248
\dot{m}_c (kg/s)	\dot{m}_h (kg/s)	V_c (m/s)	V_h (m/s)	A_s (m ²)
10,6730	5,4212	0,35	2,05	54,872

Berdasarkan hasil perhitungan data yang telah dilakukan, maka diperoleh data laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas CNG Cooler pada Bulan Maret 2020 yang dapat digunakan sebagai parameter analisa kinerja CNG Cooler melalui perbandingan antara data rata-rata satu hari dengan data rata-rata data hari lainnya.

Kinerja CNG Cooler dapat dinilai dari besarnya laju perpindahan kalor [7,8]. Semakin besar laju perpindahan kalor, maka semakin baik kinerja CNG Cooler.



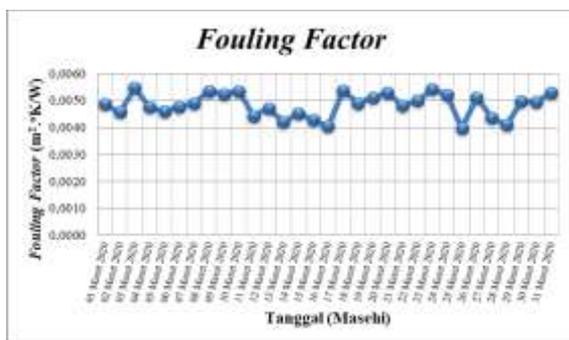
Gambar 2. Laju perpindahan kalor CNG Cooler

Gambar 2 menunjukkan laju perpindahan kalor (\dot{Q}) CNG Cooler pada 1 Maret 2020 sampai dengan 31 Maret 2020. Berdasarkan grafik tersebut, nilai \dot{Q} mengalami fluktuasi dengan nilai terendah 119724,44 W dan tertinggi 305944 W. Nilai \dot{Q} terendah terjadi pada 3 Maret 2020, sedangkan tertinggi terjadi pada 4 Maret 2020. Rata-rata \dot{Q} sebesar 203298,19 W, lebih kecil dari spesifikasi beban kalor CNG Cooler yaitu 222400 W.

Berdasarkan kondisi tersebut, nilai rata-rata \dot{Q} per hari lebih kecil dari spesifikasi beban kalor, sehingga perlu peningkatan laju perpindahan kalor untuk meningkatkan kinerja CNG Cooler.

Besarnya laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh laju aliran massa, kalor spesifik fluida, selisih temperatur inlet dan outlet [8,9]. Data operasi laju aliran massa memakai data dari spesifikasi, sehingga konstan. Kalor spesifik fluida berasal dari tabel properti termodinamika dan besarnya tergantung temperatur. Nilai selisih temperatur berubah-ubah dan selisih temperatur yang semakin besar membuat laju perpindahan kalor semakin besar. Jika memperhatikan proses fluida, maka menurunkan temperatur inlet fluida *shell* melalui *Cooling Water System* adalah rekomendasi cara untuk meningkatkan laju perpindahan kalor. Dengan demikian, cara untuk meningkatkan kinerja CNG Cooler yaitu menurunkan temperatur inlet air pendingin.

Kinerja CNG Cooler dapat dinilai dari besarnya *fouling factor* [10]. Semakin kecil *fouling factor*, maka semakin baik kinerja CNG Cooler. Seiring bertambahnya waktu penggunaan CNG Cooler terus mengalami pengotoran, sehingga perlu mengurangi peningkatan nilai *fouling factor* untuk memperpanjang usia pakai CNG Cooler.



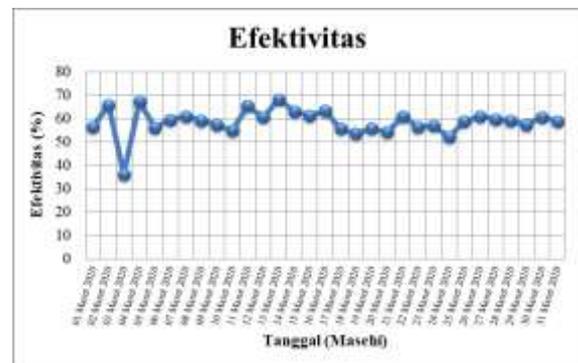
Gambar 3. *Fouling factor* CNG Cooler

Gambar 3 menunjukkan grafik *Fouling Factor* (R_f) CNG Cooler pada 1 Maret 2020 sampai dengan 31 Maret 2020. Berdasarkan grafik tersebut, nilai R_f mengalami fluktuasi dengan nilai terendah 0,0040 $m^2 \cdot K/W$ dan tertinggi 0,0055 $m^2 \cdot K/W$. Nilai R_f terendah terjadi pada 16 Maret 2020, sedangkan tertinggi terjadi pada 3 Maret 2020. Rata-rata R_f sebesar 0,0048 $m^2 \cdot K/W$.

Besarnya *fouling factor* dipengaruhi oleh koefisien perpindahan kalor keseluruhan bersih (U_c) dan koefisien perpindahan kalor keseluruhan kotor (U_d) [10]. Nilai U_c cenderung stabil karena sebagian besar dipengaruhi oleh nilai bilangan tanpa dimensi yang berasal dari Tabel Properti Fluida dan Termodinamika. Sedangkan U_d relatif berubah-ubah karena dipengaruhi oleh laju perpindahan kalor (\dot{Q}) yang berbanding terbalik dengan luas permukaan perpindahan kalor (A_s) dan LMTD, dimana \dot{Q} dan LMTD memungkinkan untuk disiasati. Nilai \dot{Q} dapat

diperbesar dengan cara yang sama seperti pada pembahasan sebelumnya, yaitu menurunkan temperatur inlet fluida *shell*. Sedangkan nilai LMTD dapat diperkecil dengan cara memperbesar selisih temperatur dengan cara menurunkan temperatur inlet fluida *shell*. Dengan demikian, cara untuk meningkatkan kinerja CNG Cooler yaitu menurunkan temperatur inlet air pendingin.

Kinerja CNG Cooler dapat dinilai dari besarnya efektivitas [7,8]. Semakin besar efektivitas CNG Cooler maka semakin baik kinerjanya.



Gambar 4. Efektivitas CNG Cooler

Gambar 4 menunjukkan grafik Efektivitas (ϵ) CNG Cooler pada 1 Maret 2020 sampai dengan 31 Maret 2020. Berdasarkan grafik tersebut, nilai ϵ mengalami fluktuasi dengan nilai terendah 36,22 % dan tertinggi 68,4 %. Nilai ϵ terendah terjadi pada 3 Maret 2020, sedangkan tertinggi terjadi pada 13 Maret 2020. Rata-rata nilai ϵ sebesar 58,66 %.

Efektivitas CNG Cooler dipengaruhi oleh besarnya laju perpindahan kalor aktual (\dot{Q}) berbanding terbalik dengan laju perpindahan kalor maksimal (\dot{Q}_{max}). Untuk meningkatkan efektivitas dapat dilakukan dengan memperbesar \dot{Q} . Untuk memperbesar \dot{Q} dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti pembahasan sebelumnya, yaitu menurunkan temperatur inlet fluida *shell*. Dengan demikian, cara untuk meningkatkan kinerja CNG Cooler yaitu menurunkan temperatur inlet air pendingin.

KESIMPULAN

CNG Cooler adalah peralatan pada CNG Plant yang digunakan untuk menurunkan temperatur CNG yang keluar dari Gas Engine Compressor supaya tidak terjadi *over heating*. Parameter kinerja CNG Cooler dapat ditentukan melalui perhitungan laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas. Berdasarkan data hasil perhitungan rata-rata per hari dari data operasi CNG Cooler pada 1 Maret 2020 sampai 31 Maret 2020 menghasilkan grafik laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas CNG Cooler yang fluktuatif. Semakin tinggi nilai laju perpindahan kalor, maka semakin baik kinerja CNG Cooler. Semakin rendah nilai *fouling factor*, maka semakin baik kinerja CNG Cooler. Semakin tinggi

nilai efektivitas, maka semakin baik kinerja CNG Cooler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami dari lubuk hati yang paling dalam mengucapkan terima kasih ke pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Sekolah Vokasi Undip dan PT. Perta Daya Gas Unit Semarang beserta staf pembimbing perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Syukur, M.H., 2016, Potensi Gas Alam di Indonesia, Swara Patra, Vol. 06 No. 1, hal 64 – 65.
2. Rozi, F., FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) untuk Mengurangi Kerusakan dari Sub Sistem Gas Engine Generator di PT. Perta Daya Gas Unit Semarang, Laporan Kerja Praktik PT. Perta Daya Gas Unit Semarang, Program Studi S1 Teknik Fisika, Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Incropera, F.L., et al., 2006, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
4. Kern, D.Q., 1950, Process Heat Transfer, Mc.Graw Hill, New York.
5. White, F.M., 2011, Fluid Mechanics, Seventh Edition, Mc.Graw Hill, New York.
6. PT. Waru Teknikatama, 2017, Shell and Tubes Heat Exchanger Manufacturer Data Report for CNG Cooler E-100.
7. Cengel, Y.A., 2002, Complete Solution Manual to Accompany Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition
8. Cengel, Y.A. dan Ghajar, A.J., 2015, Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Application, Fifth Edition, Mc.Graw Hill, New York.
9. Handoyo, E.A., 2000, Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Efektivitas Shell-and-Tube Heat Exchanger, Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Vol.2 No.2, Oktober 2000 hal 86-90.
10. Sudrajat, J., 2017, Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube pada Sistem COG Booster di Integrated Steel Mill Krakatau, Jurnal Teknik Mesin (JTM) Universitas Mercu Buana Vol.06 No.3, Juni 2017 hal 174 – 181.
11. Wahyudi, I., 2013, Modifikasi dan Evaluasi Performa Shell and Tube Heat Exchanger Single Phase, Tugas Akhir, Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Universitas Diponegoro