

Studi Numerik Peningkatan *Cooling Performance* pada *Lube Oil Cooler Gas Turbine* yang Disusun Secara Seri dan Paralel dengan Variasi Kapasitas Aliran *Lube Oil*

Annis Khoiri Wibowo dan Bambang Arip Dwiyantoro
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: bambangads@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu komponen pada *gas turbine* adalah *lube oil cooler* yang berfungsi sebagai *heat exchanger* untuk mendinginkan temperatur *lube oil*. Pemasangan tiga *lube oil cooler type-Z compact heat exchanger* pada susunan seri dan paralel berdampak pada *cooling capacity lube oil cooler*. *Uniformity flow rate* pada masing-masing *tube* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *cooling capacity* dari *lube oil cooler*. Oleh karena itu dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* untuk mengkaji pengaruh pemasangan susunan tiga *lube oil cooler* secara seri dan paralel dengan variasi kapasitas *lube oil* terhadap *performance lube oil cooler*. Pemodelan domain dilakukan dengan 3 dimensi pada sisi eksternal dan internal. Simulasi pada sisi eksternal dilakukan untuk memperoleh nilai koefisien *heat transfer* pada masing-masing baris *tube*. Selanjutnya, nilai koefisien *heat transfer* yang didapat pada sisi eksternal digunakan sebagai kondisi batas *wall convection* pada masing-masing baris *tube* untuk simulasi *internal flow* dengan variasi *flow rate lube oil* 30 gpm, 50 gpm, 74 gpm. Dari hasil simulasi, susunan *cooler* seri menghasilkan *cooling capacity* yang lebih baik dari pada susunan *cooler* paralel pada kapasitas *lube oil* yang sama. Hal tersebut terjadi karena *flow ratio lube oil* untuk masing-masing *tube* pada susunan *cooler* seri lebih seragam dari pada susunan *cooler* paralel. Keseragaman *flow rate* pada masing-masing *tube* ditunjukkan dengan kecilnya standard deviasi *flow ratio*. Kapasitas 50 gpm memiliki standard deviasi *flow ratio* sebesar 0,46 untuk susunan seri dan 0,75 untuk susunan paralel. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka distribusi *flow rate* pada masing-masing *tube* semakin tidak seragam. Selain itu susunan *cooler* seri memiliki *pressure drop* yang lebih besar dari pada susunan *cooler* paralel. Pemasangan susunan *cooler* dengan kapasitas 30 gpm memiliki tingkat keseragaman yang paling tinggi ditunjukkan dengan standard deviasi *flow ratio* pada masing-masing *tube* yang paling kecil sebesar 0,33.

Kata Kunci— *lube oil cooler, uniformity flow rate, compact heat exchanger, CFD.*

I. PENDAHULUAN

Lube oil cooler merupakan *cross flow compact heat exchanger* yang berfungsi untuk memindahkan energi panas yang dibawa oleh *fluida* oli ke udara lingkungan melalui konveksi paksa dengan fan. Dalam aplikasinya *lube oil cooler* banyak digunakan dalam sistem pelumasan *gas turbine* sebagai media pelumasan dan pendingin komponen-komponen *gas turbine* yang berputar, seperti bearing, generator dan gear box [1]. Pada umumnya temperatur *lube oil* yang diijinkan masuk kedalam *gas turbine* sebesar 155°F atau sekitar 68,3 °C [2]. Pemasangan tiga *lube oil cooler* untuk proses pendinginan *lube oil* diperlukan untuk meningkatkan *cooling load* atau menurunkan temperatur *lube oil*. Untuk itu diperlukan pemasangan *lube oil cooler*

yang sesuai untuk menghasilkan *cooling capacity* yang baik. Pemasangan tiga *lube oil cooler* secara seri dan paralel berpengaruh terhadap *cooling capacity*. Hal tersebut disebabkan karena pemasangan instalasi seri atau paralel pada 3 buah *lube oil cooler* menyebabkan perbedaan *uniformity flow rate* pada masing-masing *tube*. Semakin seragam *flow rate* yang masuk dalam *tube* maka efektifitas perpindahan panas akan semakin baik, begitu juga sebaliknya. Untuk mengevaluasi distribusi *flow rate* pada masing-masing *tube* maka dibuat bilangan tidak berdimensi berupa *flow ratio* (β) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\beta_i = \frac{Q_i}{Q} \quad (1)$$

dengan β_i merupakan *flow ratio* pada *tube* ke-*i*, sedangkan Q_i merupakan *flow rate* yang mengalir pada *tube* ke-*i* dan Q adalah *flow* total yang mengalir pada *header*. Setelah didapat nilai *flow ratio* pada masing-masing *tube* selanjutnya menentukan keseragaman *flow rate*. Konsep standard deviasi pada *flow ratio* pernah digunakan Chiou [3] untuk mendefinisikan keseragaman *flow rate*. Dengan perumusan sebagai berikut:

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i}{N} \quad (2)$$

$$\Phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\beta_i - \bar{\beta})^2}{N}} \quad (3)$$

dimana Φ merupakan standard deviasi *flow ratio*, N merupakan jumlah *tube* dan $\bar{\beta}$ merupakan rata-rata *flow ratio*. Semakin besar standard deviasi maka *flow rate* yang mengalir pada masing-masing *tube* semakin tidak seragam.

Beberapa penelitian secara numerik dibandingkan dengan eksperimen mengenai *uniformity flow rate* pada *compact heat exchanger tipe-Z* telah dilakukan. Cheng-Hung Huang dan Chun-Hsien Wang [4] melakukan penelitian mengenai peningkatan keseragaman *flow rate* pada sebuah *compact heat exchanger tipe-U* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* dengan domain 2 dimensi. Pada penelitian tersebut dibandingkan kondisi desain (*existing*) dengan hasil modifikasi dengan *flow rate* 2 liter/min. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pada desain *existing*, *flow* terbesar terjadi di ujung *header tube* terakhir, sedangkan terendah pada *tube* pertama sehingga *flow rate* yang masuk pada masing-masing *tube* tidak seragam. Namun pada desain modifikasi lebih seragam dari pada desain *existing*, ditunjukkan dengan standard deviasi *flow ratio* yang lebih rendah. Kemudian pada desain modifikasi

divariasikan kecepatan inlet sebesar 1-4 liter/min. Pada kapasitas 2 liter/min mencapai keseragaman yang paling baik dibandingkan dengan yang lain ditunjukkan dengan standard deviasi yang paling kecil.

Cheng-Hung Huang dan Chun-Hsien Wang [5] juga melakukan penelitian mengenai keseragaman *flow rate* pada *compact heat exchanger* tipe-Z. Pada penelitian ini dibandingkan antara kondisi desain dan modifikasi dengan menambah panjang *header* dan memperbesar jarak inlet *header* dengan *tube* pertama kemudian divariasikan kecepatan inlet sebesar 1-2 liter/min dengan dibandingkan dengan hasil eksperimen. Hasil simulasi memiliki nilai dan *trend line* yang hampir mirip dengan hasil eksperimen. Pada kondisi modifikasi didapatkan *flow rate* yang lebih seragam pada masing-masing *tube*. Selain itu dari hasil eksperimen dan simulasi didapatkan bahwa semakin kecil *flow rate* yang mengalir pada *inlet header* maka *flow rate* yang masuk pada masing-masing *tube* akan semakin seragam sehingga meningkatkan perpindahan panas.

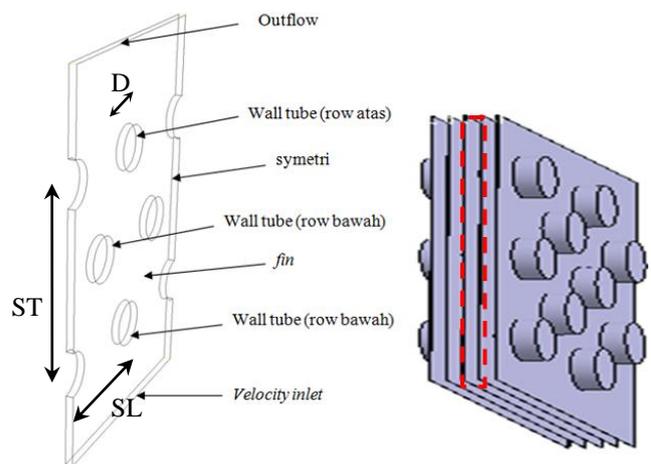
Beberapa penelitian diatas mengenai *compact heat exchanger* menjadi acuan untuk melakukan penelitian mengenai pemasangan tiga buah *heat exchanger* type-Z berupa *lube oil cooler* secara seri atau paralel agar menghasilkan *cooling load* yang tinggi dalam hal ini temperatur *lube oil* keluar *cooler* yang rendah. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* secara 3 dimensi pada susunan *lube oil cooler* seri dan paralel untuk melihat *uniformity flow rate* pada masing-masing *tube* yang berdampak pada efektifitas perpindahan panas yang terjadi. Pada makalah ini nantinya akan dibahas mengenai *uniformity flow rate*, Kontur temperatur, temperatur *lube oil* keluar *cooler*, *pressure drop* dan *cooling load* pada susunan *lube oil cooler* seri dan paralel.

II. METODE PENELITIAN

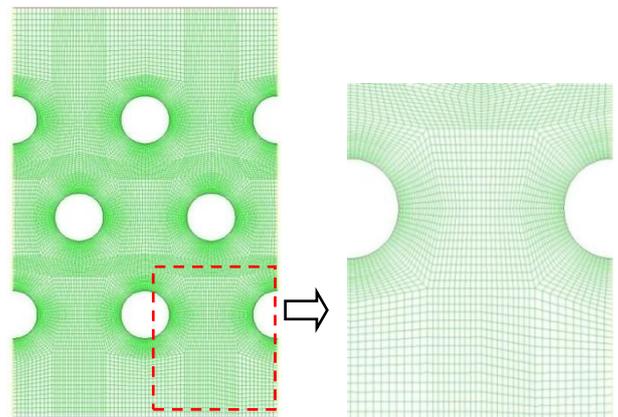
Penelitian ini berbasis *Computational Fluid Dynamics* untuk memperoleh kontur dan distribusi temperatur, tekanan dan kecepatan. Tahapan awal dilakukan analisa eksternal *flow* dengan membuat domain susunan *tube* untuk memperoleh nilai koefisien heat transfer pada masing-masing baris *tube*. Susunan *tube* terdiri atas 18 kolom dan 3 baris dimana *fluida* udara mengalir dari bawah ke atas dengan konveksi paksa menggunakan fan. Pengambilan domain dilakukan di celah antar *fin* seperti pada Gambar 1, dengan asumsi *fluida* udara pada sisi inlet mengalir secara *uniform* maka pengambilan domain mewakili susunan *tube*. Geometri susunan *tube* dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Geometri susunan *tube*

| Variabel | Nilai (mm) |
|-------------------------|------------|
| Fin pitch | 3 |
| Diameter <i>tube</i> | 19,8 |
| Jarak Transversal (ST) | 76,2 |
| Jarak Longitudinal (SL) | 50,8 |
| Tebal Fin | 0,5 |



Gambar 1. Domain susunan *tube* pada simulasi eksternal *flow*



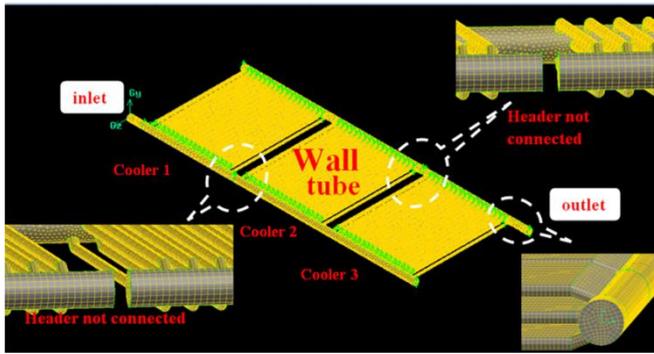
Gambar 2. Hasil meshing pada susunan *tube* (tampak depan)

Tabel 2. Kondisi batas pada model susunan *tube*

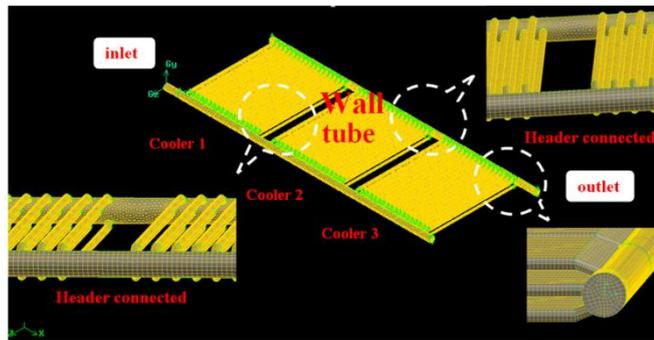
| Variabel terkontrol | | Variabel Bebas | |
|---------------------|---------|----------------|----------------------|
| Jenis | Nilai | Susunan Cooler | Kapasitas Temp. Tube |
| Velocity Inlet | 20 m/s | Seri | 30 gpm 45,8 °C |
| Temp. Inlet | 27 °C | | 50 gpm* 50°C |
| Outlet | outflow | | 74 gpm 56,4 °C |
| Kriteria Konvergen | 10. e-6 | Paralel | 30 gpm 56,8 °C |
| | | | 50 gpm 61,4 °C |
| | | | 74 gpm 66,7 °C |

*data operasional

Pada penelitian ini akan divariasikan temperatur *tube* berdasarkan kapasitas *lube oil* dan susunan *cooler* sesuai pada Tabel 2. Setelah domain dibuat maka akan disimulasikan untuk mendapat nilai koefisien *heat transfer* pada masing-masing baris *tube*. Nilai koefisien *heat transfer* yang didapat nantinya dijadikan nilai input pada simulasi internal *flow* untuk variasi susunan *cooler* seri dan paralel. Gambar 3 merupakan domain dan meshing yang dibuat pada software perangkat lunak CFD untuk simulasi susunan *cooler* seri dan paralel. Pada domain terdapat tiga *cooler*, dimana pada masing-masing *cooler* terdapat susunan *tube staggered* dengan 3 baris dan 18 kolom, sehingga pada masing-masing *cooler* terdapat 54 *tube* tersusun secara paralel. Kondisi batas pada simulasi internal *flow* terdapat pada Tabel 3.



(a). Susunan Cooler Seri



(b). Susunan Cooler Paralel

Gambar 3. Domain dan hasil meshing pada susunan cooler (a). Seri dan (b). Paralel

Tabel 3. Kondisi batas pada simulasi susunan cooler seri-paralel (internal flow)

| Variabel | Nilai |
|---|--------------------------------------|
| Flow rate inlet | 30 , 50, dan 74 gpm |
| Temperatur inlet | 84,4 °C |
| *Koefisien heat transfer pada tube | Hasil simulasi eksternal flow |
| Temperatur ambient | 27 °C |
| Pressure outlet | 88 psi |

*Nilai koefisien heat transfer didapat dari hasil simulasi eksternal flow

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

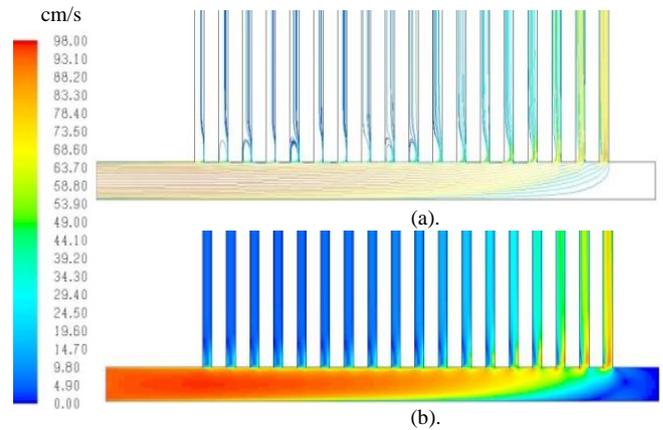
Pada simulasi eksternal flow didapat nilai koefisien heat transfer pada masing-masing baris tube. Nilai koefisien heat transfer ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai koefisien heat transfer pada susunan tube

| Kecepatan Udara | Kapasitas Lube oil | Susunan Tube | Koefisien Heat Transfer (W/m ² .K) | |
|-----------------|--------------------|--------------|---|---------|
| | | | Seri | Paralel |
| 20 m/s | 30 gpm | Baris Atas | 111,44 | 129,77 |
| | | Baris Tengah | 122,56 | 142,71 |
| | | Baris Bawah | 113,70 | 132,40 |
| | 50 gpm | Baris Atas | 119,38 | 134,86 |
| | | Baris Tengah | 131,81 | 148,31 |
| | | Baris Bawah | 122,22 | 137,59 |
| | 74 gpm | Baris Atas | 129,28 | 139,60 |
| | | Baris Tengah | 142,17 | 153,52 |
| | | Baris Bawah | 131,89 | 142,42 |

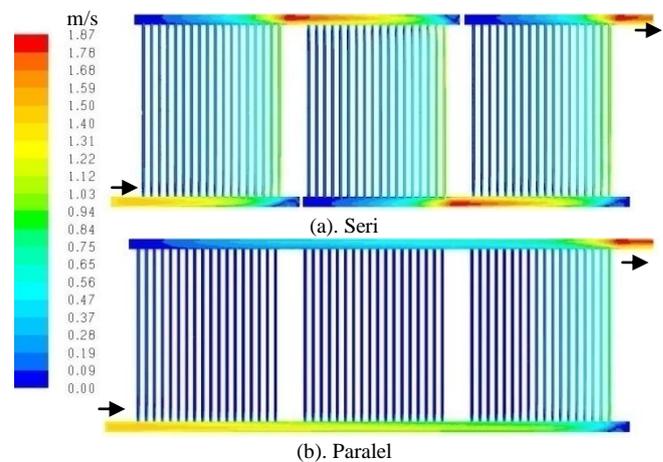
Setelah didapat nilai koefisien heat transfer pada tube

maka nilai tersebut dijadikan nilai input atau kondisi batas pada simulasi internal flow. Berikut fenomena aliran yang terjadi pada internal flow, dapat diamati pada kontur kecepatan dan pathline pada susunan cooler seri untuk cooler 1 ditunjukkan pada Gambar 4.



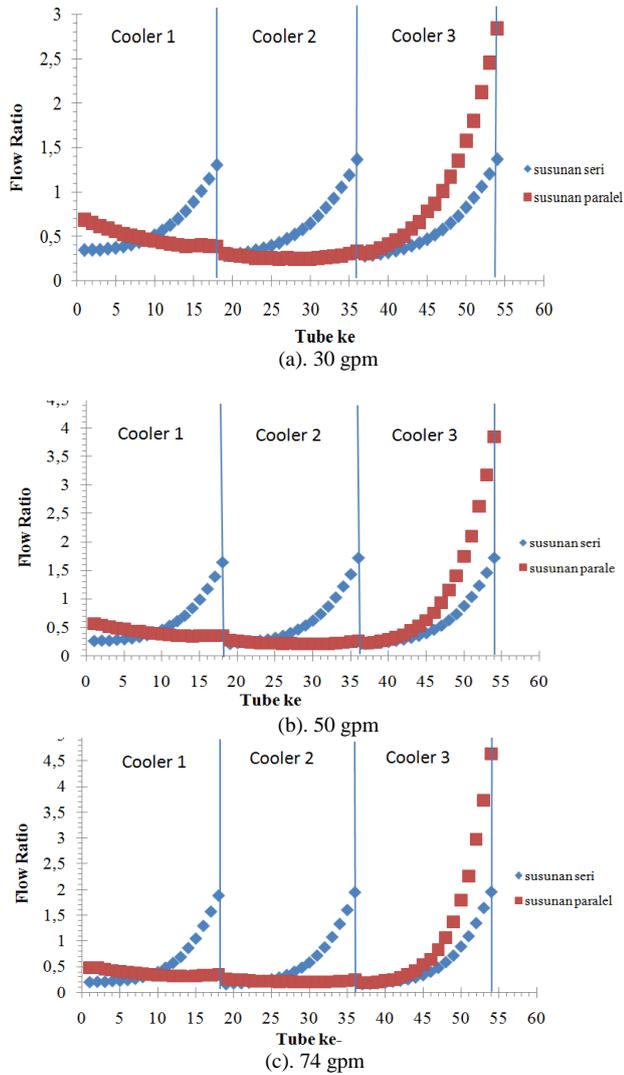
Gambar 4. (a). pathline (b). Kontur kecepatan pada susunan cooler seri untuk cooler 1 pada kapasitas 50 gpm

Gambar 4 merupakan iso-surface pada sisi tengah susunan tube. Distribusi kecepatan pada masing-masing tube terlihat tidak seragam ditunjukkan dengan mass flow yang mengalir pada masing-masing tube juga tidak seragam. Gambar 5 menunjukkan iso-surface kontur kecepatan pada susunan cooler seri dan paralel pada kapasitas 50 gpm.



Gambar 5. Iso-surface kontur kecepatan pada kapasitas 50 gpm untuk susunan cooler (a). Seri (b). Paralel

Pada Gambar 5 nampak ketidakseragaman flow rate pada susunan tube. Kecepatan terbesar pada susunan tube terjadi pada ujung masing-masing cooler untuk susunan cooler seri, sedangkan untuk susunan cooler paralel kecepatan terbesar terjadi pada ujung cooler 3. Pada cooler 1 dan cooler 2 relatif uniform untuk susunan cooler paralel namun flow rate yang mengalir cukup rendah. Flow rate pada susunan tube baris bawah, baris tengah dan baris atas tidak memiliki perbedaan yang signifikan untuk susunan cooler seri maupun paralel. Agar lebih jelas distribusi flow rate pada masing-masing tube maka pada Gambar 6 ditunjukkan distribusi flow ratio pada susunan cooler seri dan paralel.



Gambar 6. Perbandingan distribusi flow ratio pada susunan cooler seri dan paralel dengan kapasitas lube oil (a). 30 gpm (b). 50 gpm dan (c). 74 gpm

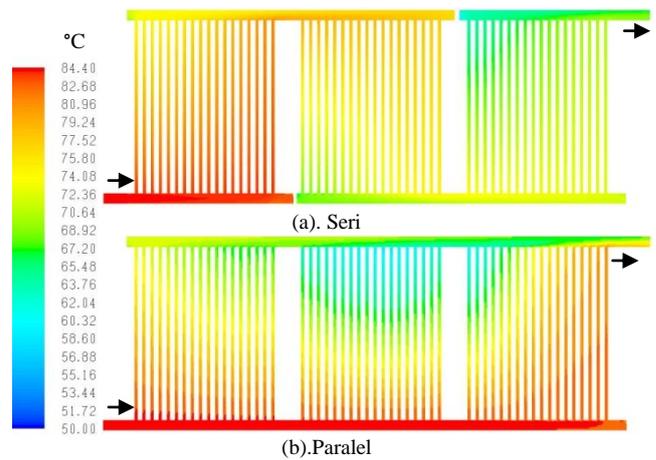
Pada masing-masing kapasitas terlihat bahwa susunan cooler seri lebih seragam dibandingkan susunan cooler paralel. Selain itu pada masing-masing kapasitas nampak bahwa flow rate terbesar terjadi pada tube dekat ujung header menurun secara eksponensial pada tube sebelumnya hingga flow rate terendah terjadi pada tube yang paling dekat dengan inlet header. Pada cooler 1 dan cooler 2 untuk susunan paralel tidak memiliki perbedaan flow ratio yang signifikan sedangkan pada cooler 3 terjadi kenaikan yang signifikan. Tingkat keseragaman flow rate ditunjukkan dengan standard deviasi dari flow ratio. Berikut Tabel 4 merupakan standard deviasi dari flow ratio.

Tabel 4. Standard Deviasi Flow Ratio terhadap Variasi Kapasitas Aliran Lube Oil pada Susunan Cooler dipasang Secara Seri dan Paralel

| Susunan Cooler | Standard Deviasi Flow Ratio | | |
|----------------|-----------------------------|---------|---------|
| | 30 gpm | 50 gpm | 74 gpm |
| Seri | 0,31561 | 0,44174 | 0,52793 |
| Paralel | 0,56609 | 0,7492 | 0,88401 |

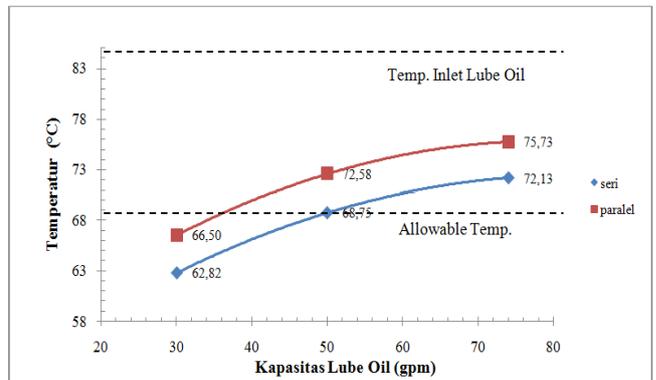
Susunan cooler seri memiliki standard deviasi flow ratio lebih kecil daripada susunan cooler paralel, hal tersebut menunjukkan bahwa flow rate yang mengalir pada tube untuk susunan cooler seri lebih seragam. Sedangkan pada

variasi kapasitas lube oil, semakin rendah kapasitas lube oil maka flow rate yang mengalir pada masing-masing tube juga lebih seragam.



Gambar 7. Iso-surface kontur temperatur pada kapasitas 50 gpm untuk susunan cooler (a). Seri (b). Paralel

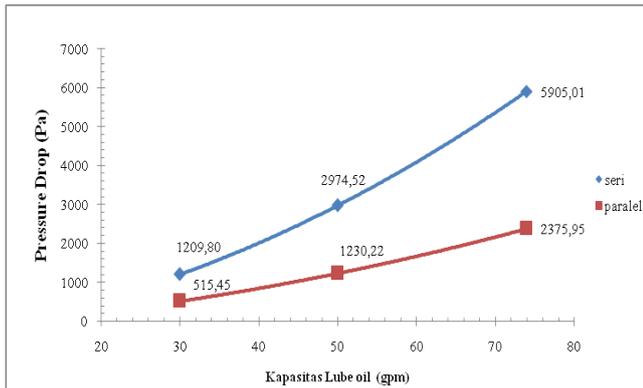
Gambar 7 menunjukkan Iso-surface kontur temperatur pada kapasitas 50 gpm. Pada susunan cooler seri maupun paralel terlihat penurunan temperatur ditunjukkan dengan perubahan warna dari merah ke warna biru. Temperatur pada masing-masing tube terlihat tidak seragam, hal ini disebabkan karena flow rate yang mengalir pada masing-masing tube juga tidak seragam. Pada tube ujung masing-masing cooler memiliki beban pendinginan yang lebih tinggi ditunjukkan dengan temperatur yang lebih tinggi. Sedangkan pada susunan paralel, beban pendinginan pada masing-masing cooler berbeda-beda. Beban pendinginan terbesar terjadi pada cooler 3 kemudian lebih rendah cooler 1 dan paling rendah cooler 2.



Gambar 8. Temperatur outlet pada susunan cooler seri dan paralel dengan variasi kapasitas lube oil.

Gambar 8 menunjukkan temperatur keluar cooler pada susunan seri dan paralel. Pada masing-masing kapasitas lube oil yang sama, susunan cooler seri menghasilkan temperatur outlet yang lebih rendah jika dibandingkan susunan cooler paralel. Pada susunan cooler seri maupun paralel, semakin besar kapasitas lube oil maka temperatur outlet cooler akan semakin tinggi namun kenaikannya tidak linier. Kenaikan temperatur terbesar terjadi pada kenaikan kapasitas 30 gpm ke 50 gpm, kemudian pada kapasitas 50 gpm ke 74 gpm relatif lebih landai. Dengan temperatur inlet yang sama, maka pengoperasian lube oil cooler dilakukan pada kapasitas 30 gpm baik susunan seri maupun paralel agar menghasilkan temperatur dibawah batas yang diijinkan

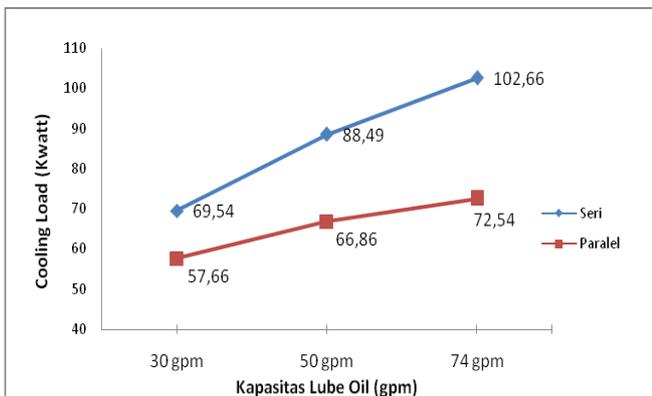
sebelum masuk *gas turbine*.



Gambar 9. *Pressure Drop* pada susunan *cooler* seri dan paralel dengan variasi kapasitas *lube oil*.

Gambar 9 menunjukkan nilai *pressure drop* yang terjadi pada susunan seri dan paralel dengan variasi kapasitas *lube oil*. Pada masing-masing kapasitas *lube oil*, *pressure drop* yang terjadi pada susunan seri relatif lebih besar jika dibandingkan susunan paralel. Selain itu pada susunan *cooler* seri maupun paralel, semakin besar kapasitas *lube oil* maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar. *Pressure drop* terbesar terjadi pada susunan *cooler* seri dengan kapasitas 74 gpm dan terendah pada susunan paralel dengan kapasitas 30 gpm.

Perbandingan *cooling load* antara susunan *cooler* seri dan susunan paralel ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan *cooling load* pada susunan *cooler* dipasang seri dan paralel dengan variasi kapasitas *lube oil*.

Susunan *cooler* seri menghasilkan *cooling load* lebih besar jika dibandingkan susunan *cooler* paralel. Pada susunan seri maupun paralel, semakin besar kapasitas *lube oil* maka *cooling load* akan semakin besar namun kenaikannya tidak linier. Kenaikan kapasitas *lube oil* dari 50 gpm ke 74 gpm pada susunan *cooler* paralel cenderung lebih landai atau kenaikannya tidak signifikan. *Cooling load* terbesar terjadi pada susunan *cooler* seri dengan kapasitas 74 gpm, sedangkan *cooling load* terendah terjadi pada susunan *cooler* paralel dengan kapasitas 30 gpm.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* pada susunan *lube oil cooler* secara seri dan paralel diperoleh :

1. Susunan *cooler* dipasang seri menghasilkan *cooling capacity* lebih besar dibandingkan susunan *cooler* dipasang paralel. Namun pada susunan seri memiliki

pressure drop lebih tinggi.

2. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka temperatur keluaran *cooler* dan *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar.
3. Susunan *cooler* seri menghasilkan tingkat keseragaman *flow rate* yang lebih baik jika dibandingkan dengan susunan *cooler* paralel. Hal tersebut ditunjukkan dengan lebih kecilnya nilai standard deviasi dari *flow ratio*, sehingga dapat menghasilkan *cooling load* yang lebih besar. *Cooling load* terbesar dihasilkan pada susunan *cooler* seri dengan kapasitas 74 gpm
4. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka tingkat keseragaman *flow rate* pada masing-masing *tube* akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.

Pada penelitian selanjutnya perlu dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan modifikasi pada *header* untuk memperoleh keseragaman *flow rate* yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giampaolo, A. 2000. *Gas Turbine Handbook Principles and Practices*. Lilburn: The Fairmont Press Inc.
- [2] Installation and Operation Instructions. CENTAUR Turbine-Driven Generator Set GC1-CB-GE Serial Numbers CG82052, CG82053, and CG82054. Hudbay Oil (Malacca Strait) Ltd.
- [3] J.P. Chiou, The effect of nonuniform *fluid flow* distribution on the thermal performance of solar collector, *Solar Energy* 29 (1982) 487–502.
- [4] Huang, Cheng-Hung & Chun-Hsien Wang. The study on the improvement of system uniformity *flow rate* for U-type *compact heat exchanger*. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 63 (2013) 1–8.
- [5] Huang, Cheng-Hung & Chun-Hsien Wang. The design of uniform *tube flow rates* for Z-type *compact parallel flow heat exchangers*. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57 (2013) 608–622.