

Analisis Perbandingan Laju Perpindahan Panas Antara *Stainless Steel* dan *CuNi* pada *Air Cooler Generator PLTA*

Comparative Analysis of Heat Transfer Rates Between *Stainless Steel* and *CuNi* in *PLTA Generator Air Coolers*

Dewin Purnama¹, Ryan Nugraha² dan Vika Rizkia³

1. Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 16425, Indonesia

Corresponding author: dewinto@gmail.com

Abstrak. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang berasal dari turbin menjadi energi listrik. Berbeda halnya dengan turbin, generator memerlukan pendinginan yang baik untuk memperpanjang umur pemakaian. Untuk menjaga agar suhu dalam generator tetap stabil sesuai dengan suhu yang diharapkan maka digunakan sebuah alat penukar kalor. Alat penukar kalor yang terdapat di generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah tipe compact heat exchanger yang biasa disebut air cooler generator dimana air sebagai media pendingin dan udara di dalam rumah generator sebagai media yang didinginkan. Terdapat 2 bahan dasar tube air cooler generator yaitu stainless steel grade 316L dan CuNi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas dari alat penukar kalor tipe compact heat exchanger material tube stainless steel grade 316L dan CuNi. Metode observasi dan wawancara digunakan dalam penelitian ini, kemudian dilakukan pengolahan data dan analisa dengan menggunakan effectiveness-NTU method dan perhitungan manual yang bersesuaian bagi alat penukar kalor tipe compact heat exchanger. Data-data operasi dan data spesifikasi alat penukar kalor diambil dari suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang dijadikan objek penelitian. Hasil yang di dapatkan pada penelitian ini adalah bahwa efektivitas air cooler generator material tube stainless steel grade 316L lebih baik jika dibandingkan dengan material CuNi. Hal ini dikarenakan air cooler generator material stainless steel memiliki luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar dengan luas sebesar 9,932 m² dan memiliki efektivitas sebesar 55,34% apabila dibandingkan dengan air cooler generartor material CuNi yang memiliki luas permukaan perpindahan panas sebesar 8,0159 m² dengan efektivitas rata-rata sebesar 53,78%.

Kata Kunci: Air Cooler Generartor, Compact Heat Exchanger, Stainless Steel, CuNi, Effectiveness-NTU method

Abstract. In Hydroelectric Power Plants (PLTA) the generator functions to convert mechanical energy from the turbine into electrical energy. Unlike the case with turbines, generators require good cooling to extend their service life. To keep the temperature in the generator stable in accordance with the expected temperature, a heat exchanger is used. The heat exchanger contained in the generator at the hydroelectric power plant is a compact type of heat exchanger commonly called an air cooler generator where water is the cooling medium and the air in the generator housing is the cooled medium. There are 2 basic materials for the tube air cooler generator, namely stainless steel grade 316L and CuNi. This study aims to compare the effectiveness of a compact heat exchanger type stainless steel tube material grade 316L and CuNi. Observation and interview methods were used in this study, then data processing and analysis were carried out using the effectiveness-NTU method and appropriate manual calculations for heat exchangers of the compact heat exchanger type. Operational data and heat exchanger specification data were taken from a power generation company which was used as the object of research. The results obtained in this study are that the effectiveness of the air cooler generator of grade 316L stainless steel tube material is better than CuNi material. This is because the stainless steel material generator air cooler has a larger heat transfer surface area with an area of 9.932 m² and has an effectiveness of 55.34% when compared to the CuNi material generator air cooler which has a heat transfer surface area of 8.0159 m² with the average effectiveness is 53.78%.

Keywords: *Air Cooler Generator, Compact Heat Exchanger, Stainless Steel, CuNi, Effectiveness-NTU method*

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan aliran dari air yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator (Pangestu & Nurwijayanti, 2021). Salah satu komponen utama PLTA adalah generator. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang berasal dari turbin menjadi energi listrik. Komponen utama generator terdiri dari bagian berputar yang dinamakan *rotor* dan bagian yang diam yang dinamakan *stator*, serta celah udara yang memisahkan antara *stator* dan *rotor*. Putaran *rotor* yang terus menerus terhadap *stator* menyebabkan meningkatnya temperatur udara dalam generator. Berbeda halnya dengan turbin, generator memerlukan pendinginan yang baik untuk memperpanjang umur pemakaian. Hal ini disebabkan karena temperatur kerja yang sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada komponen generator (K. Anwar, 2011).

Temperatur panas yang berlebihan pada generator perlu dicegah, karena hal ini dapat mengakibatkan kerusakan isolasi penghantar atau terbakar, oleh sebab itu perlu adanya pendinginan. Untuk menjaga agar suhu dalam generator tetap stabil sesuai dengan suhu yang diharapkan maka digunakan sebuah alat penukar kalor. Sistem pendinginan generator adalah dengan sirkulasi udara sirkuit tertutup. Udara hangat didinginkan oleh sebuah alat penukar kalor air-udara (S. Anwar & Sari, 2013). Ada dua belas pendingin udara permukaan dipasang dalam silinder mesin untuk mendinginkan udara yang digunakan untuk pendinginan bagian *rotor* dan *stator* (Rafika, Mainil, & Aziz, 2016). Pendingin udara yang digunakan adalah jenis penukar kalor udara ke air yang bersirip, di mana udara sekitar dari mesin lewat dan kemudian disirkulasikan kembali oleh aksi sentrifugal dari *rotor*. Lalu udara disediakan di kedua sisi *stator* untuk mencapai sirkulasi pendingin udara yang terkontrol. Aliran air pendingin dikontrol baik dari katup *inlet* maupun *outlet* (Situmorang, 2019). Pemantauan temperatur pendingin udara permukaan berasal dari unit controller dan komputer (Sihombing, 2019). Kadang – kadang terdapat pengotoran berupa kerak yang menempel pada pipa pendingin yang kemungkinan dapat mengurangi efektivitas pendinginan, sehingga pembersihan berkala mutlak dilakukan atau mengambil sumber air pendingin yang lebih baik sebagai tindakan preventif untuk mencegah pengotoran pada alat penukar kalor.

Alat penukar panas atau *heat exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari benda satu ke benda yang lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin (Wijanarko, 2017). Penukar panas dirancang agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*) (Suryanto, 2017). Alat penukar panas sangat luas dipakai dalam bidang industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, refrigerasi, serta pembangkit listrik (Suryanto, 2017; Wijanarko, 2017). Dalam pengertian lainnya, *heat exchanger* merupakan peralatan untuk menukar kalor. *Heat exchanger* bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida yang lain. Karena panas yang dipertukarkan terjadi dalam sebuah benda maka kehilangan panas dari suatu benda akan sama dengan panas yang diterima benda lain.

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, *heat exchanger* dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe kontak langsung dan tipe kontak tidak langsung. Tipe kontak langsung adalah tipe *heat exchanger* dimana kedua medium penukar panas saling kontak satu sama lain, sedangkan tipe kontak tidak langsung adalah tipe *heat exchanger* dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, pelat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua zat tidak tercampur (ONDITA, 2016). Untuk tipe aliran di dalam *heat exchanger* ini ada 3 macam aliran yaitu: *counter flow* (aliran berlawanan arah), *cross flow* (aliran silang) dan *parallel flow* (aliran searah) (Muttaqin & Irijanto, 2012).

Air cooler generator adalah sistem pendinginan udara yang berada di dalam rumah generator dengan air sebagai media pendinginnya. Udara yang berada di dalam rumah generator didinginkan oleh radiator (*compact HE*) sejumlah 12 buah pada setiap unit generator (S. Anwar & Sari, 2013; Bergman, Bergman, Incropera, Dewitt, & Lavine, 2011). Terdapat 2 jenis bahan dasar *tube air cooler generator* yaitu *stainless steel* dan CuNi. Dipilihnya kedua bahan dasar *tube air cooler generator* tersebut dikarenakan bahan-bahan tersebut memiliki sifat tahan korosi pada kondisi air waduk saat ini. Oleh sebab itu diperlukan suatu analisis

untuk mengetahui perbandingan laju perpindahan panas yang efektif pada *air cooler generator* antara material *tube stainless steel* dan CuNi pada PLTA.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menentukan efektivitas *air cooler generator* material *tube stainless steel*
- Menentukan efektivitas *air cooler generator* material *tube CuNi*
- Melakukan perbandingan efektivitas *air cooler generator* material *tube stainless steel* dengan material *tube CuNi*.

2. Metode Penelitian

Analisis perbandingan efisiensi *heat exchanger* antara material CuNi dan *stainless steel* menggunakan metode *Effectiveness-NTU*. Metode ini berdasarkan parameter yang tak berdimensi yang disebut *heat transfer effectiveness* dengan symbol ϵ . Untuk mempermudah analisis penukar kalor diperlukan kombinasi laju aliran massa dengan spesifik fluida sehingga menjadi suatu kuantitas yang disebut kapasitas panas rata-rata. Dalam sistem penukar kalor kita juga mengenal koefisien perpindahan panas total atau biasa dituliskan dengan U dan ini identik dengan perpindahan panas konveksi. Hubungan efektivitas pada penukar kalor secara khas melibatkan besaran tanpa dimensi UAs/C_{min} , yang dapat dirumuskan dalam persamaan 2.1. Dimana U adalah koefisien perpindahan panas total dan As adalah luasan area perpindahan panas pada penukar kalor. Selain itu rasio kapasitas c juga perlu digunakan untuk menganalisis alat penukar kalor.

$$NTU = \frac{UAs}{C_{min}} = \frac{UAs}{(\dot{m}Cp)_{min}} \quad (2.1)$$

Penelitian ini dilakukan di PLTA pada peralatan *Air Cooler Generator*. Langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur yaitu mencari dan mempelajari hal-hal yang berkaitan tentang efektivitas *air cooler generator* dan cara perhitungan efektivitasnya melalui jurnal nasional maupun internasional dan buku-buku yang berkaitan. Jika sudah mengerti filosofi dari efektivitas *Air Cooler Generator* tersebut dilakukan pengambilan data berupa *temperature* masuk dan keluar *fluida* dingin, *temperature* masuk dan keluar *fluida* panas, debit *fluida* dingin, diameter *inlet* dan *outlet tube*, panjang dan lebar *fin*. Kemudian data diolah dan dihitung untuk didapatkan perhitungan berupa kapasitas rasio, Luas perpindahan panas, *Number Transfer Unit* (NTU), dan selanjutnya dapat menghitung *effectiveness* nya. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *Air Cooler Generator* material *tube stainless steel* dan CuNi.

Data-data yang didapatkan diolah secara kuantitatif dengan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- **Konversi dan Perhitungan Properties**
Pada tahap ini dilakukan konversi satuan dari data-data yang telah dikumpulkan ke dalam satuan umum digunakan untuk mempermudah proses perhitungan.
- **Perhitungan Efektivitas Air Cooler Generator**
Setelah dilakukan konversi dan didapatkan data *properties* pada masing-masing parameter. Maka selanjutnya adalah perhitungan efektivitas *Air Cooler Generator* dengan menggunakan data dan *properties* tersebut. Perhitungan efektivitas *Air Cooler Generator* tersebut antara lain: kapasitas rasio (C), luas permukaan perpindahan panas, *Number Transfer Unit* (NTU) dan *Effectiveness*.
- **Pengeplotan pada Grafik dan Analisa**
Setelah didapatkan data efektivitas *air cooler*. Selanjutnya data-data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengeplotan ini berguna untuk mempermudah pembacaan dan analisa efektivitas *air cooler*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Operasi dan Spesifikasi Air Cooler Generator

Berdasarkan pengambilan data pada perusahaan yang menjadi objek penelitian *air cooler generator CuNi* selama kurang lebih 1 bulan, maka sampel yang akan diteliti dalam penelitian ini sebanyak 5 data operasi untuk beban 67, 77, 87, 97 dan 107 MW. Data operasi dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan data spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 1. Data Operasi *Air Cooler Generator*

Bahan	Beban [MW]	T _{udara inlet} [°C]	T _{udara outlet} [°C]	T _{air inlet} [°C]
CuNi	67 – 107	62 – 68	34 – 35	27
SUS 316 L	67 – 107	61- 69	30,5 – 31,5	27

Tabel 2. Data Spesifikasi *Air Cooler Generator*

Bahan	Diameter outlet tube [mm]	Diameter inlet tube [mm]	Panjang tube [mm]	Jumlah tube	Panjang fin [mm]	Lebar fin [mm]	Jumlah fin
CuNi	22	21	1507	77	1340	128	870
SUS 316 L	22	21	1507	77	1340	128	870

3.2 Data Komposisi Kimia Material *Air Cooler Generator*

Tabel 3 menunjukkan data komposisi kimia dari *Air Cooler Generator* dengan material tube CuNi 90/10 dan *Stainless Steel Grade 316 L*.

Tabel 3. Data Komposisi Kimia *Air Cooler Generator*

Material	Cu (%)	Pb (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	Ni (%)			
CuNi	88,6 max	0,05 max	1 max	1,8 max	1 max	9-11			
Material	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	N (%)
SUS 316 L	0.03 max	2.0 max	0.75 max	0.045 max	0.03 max	16-18	2-3	14.0	0.10

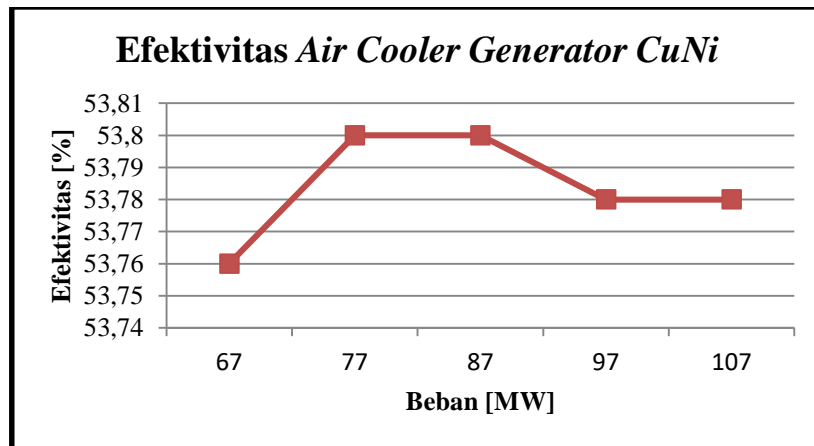
3.3 Efektivitas *Air Cooler Generator CuNi*

Nilai efektivitas berdasarkan hasil perhitungan data *Air Cooler Generator* dengan material CuNi 90/10 ditunjukkan pada Tabel 4. Selanjutnya pada Gambar 1 menunjukkan hubungan antara efektivitas dengan beban operasional pada *Air Cooler Generator PLTA*.

Tabel 4. Hasil Pengolahan data *Air Cooler Generator CuNi*

Beban [MW]	C	NTU	As [m ²]	ε [%]
67	0,2036	0,006	8,0159	53,76
77	0,2034	0,006	8,0159	53,80
87	0,2034	0,006	8,0159	53,80
97	0,2035	0,006	8,0159	53,78
107	0,2035	0,006	8,0159	53,78

Keterangan: C = kapasitas rasio, NTU = *Number Transfer Unit*, As = luas permukaan perpindahan panas dan ε = besar efektivitas



Gambar 1. Grafik data efektivitas *Air Cooler Generator CuNi*

Pada Tabel 4 dan Gambar 1 dapat dilihat hasil pengolahan data pada *Air Cooler Generator CuNi* yang memiliki permukaan perpindahan panas seluas 8,0159 (m²), nilai *number tranfers unit* (NTU) sebesar 0,006. Pada beban 67 MW memiliki nilai C (kapasitas rasio) sebesar 0,2036, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 53,76%. Pada beban 77 MW memiliki nilai C (kapasitas rasio) sebesar 0,2034, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 53,80%. Pada beban 87 MW memiliki nilai C (kapasitas rasio) sebesar 0,2034, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 53,80%. Pada beban 97 MW memiliki nilai C (kapasitas rasio) sebesar 0,2035, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 53,78 %, dan pada beban 107 MW memiliki nilai C (kapasitas rasio) sebesar 0,2035, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 53,78 %.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai efektivitas *Air Cooler Generator CuNi* yang ditunjukkan pada Gambar 1, maka dapat dilihat bahwa grafik terlihat fluktuatif atau terjadi secara naik turun. Hal ini disebabkan karena nilai efektivitas dapat dipengaruhi oleh nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator*. Berikutnya, pada Tabel 4 dapat dilihat hubungan antara nilai kapasitas rasio berbanding terbalik dengan nilai efektivitas nya. Semakin tinggi nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator* maka efektivitas nya semakin rendah. Selanjutnya nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator* juga di pengaruhi oleh temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 4 hubungan antara nilai kapasitas rasio berbanding terbalik dengan nilai temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Semakin rendah temperatur *inlet Air Cooler Generator* maka semakin tinggi nilai kapasitas rasionya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai efektivitas *Air Cooler Generator* berbanding lurus dengan nilai temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Semakin tinggi temperatur *inlet Air Cooler Generator* maka semakin tinggi efektivitas *Air Cooler Generator*.

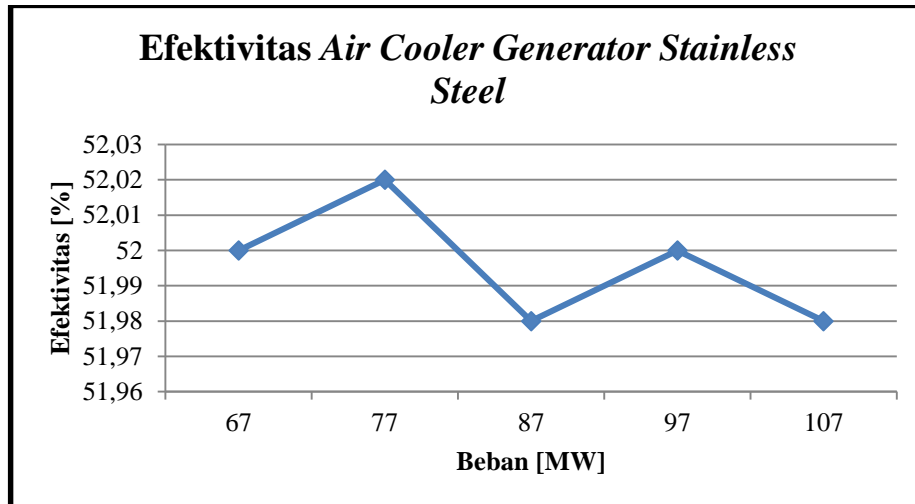
3.4 Efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel Grade 316L (SUS 316L)*

Nilai efektivitas berdasarkan perhitungan data *Air Cooler Generator* dengan material *Stainless Steel Grade 316L (SUS 316L)* ditunjukkan pada Tabel 5. Selanjutnya pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara efektivitas dengan beban operasional pada *Air Cooler Generator PLTA* dengan bahan SUS 316L.

Tabel 5. Hasil pengolahan data *Air Cooler Generator Stainless Steel 316L*

Beban [MW]	C	NTU	As [m ²]	ε [%]
67	0,2035	0,005	8,0159	52,00
77	0,2034	0,005	8,0159	52,02
87	0,2036	0,005	8,0159	51,98
97	0,2035	0,005	8,0159	52,00
107	0,2036	0,005	8,0159	51,98

Keterangan: C = kapasitas rasio, NTU = *Number Transfer Unit*, As = luas permukaan perpindahan panas dan ε = besar efektivitas



Gambar 2. Grafik data efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel 316L*

Pada Tabel 5 dan Gambar 2 dapat dilihat hasil pengolahan data pada *Air Cooler Generator Stainless Steel 316L* memiliki permukaan perpindahan panas seluas 8,0159 (m²), nilai *number transfers unit* (NTU) sebesar 0,005. Pada beban 67 MW memiliki nilai C (kapasitas ratio) sebesar 0,2035, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 52,00%. Pada beban 77 MW memiliki nilai C (kapasitas ratio) sebesar 0,2034, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 52,02%. Pada beban 87 MW memiliki nilai C (kapasitas ratio) sebesar 0,2036, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 51,98%. Pada beban 97 MW memiliki nilai C (kapasitas ratio) sebesar 0,2035, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 52,00%, dan pada beban 107 MW memiliki nilai C (kapasitas ratio) sebesar 0,2036, efektivitas *Air Cooler Generator* adalah 51,98%.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel 316L* yang dapat dilihat pada Gambar 2, maka dapat dilihat bahwa bentuk grafik terlihat fluktuatif atau terjadi secara naik turun. Hal ini disebabkan karena nilai efektivitas dapat dipengaruhi oleh nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator*. Pada tabel 5 dapat dilihat hubungan antara nilai kapasitas rasio berbanding terbalik dengan nilai efektivitas nya. Semakin tinggi nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator* maka efektivitas nya semakin rendah. Selanjutnya nilai kapasitas rasio *Air Cooler Generator* juga di pengaruhi oleh temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 5 hubungan antara nilai kapasitas rasio berbanding terbalik dengan nilai temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Semakin rendah temperatur *inlet Air Cooler Generator* maka semakin tinggi nilai kapasitas rasionya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai efektivitas *Air Cooler Generator* berbanding lurus dengan nilai temperatur *inlet Air Cooler Generator*. Semakin tinggi temperatur *inlet Air Cooler Generator* maka semakin tinggi efektivitas *Air Cooler Generator*.

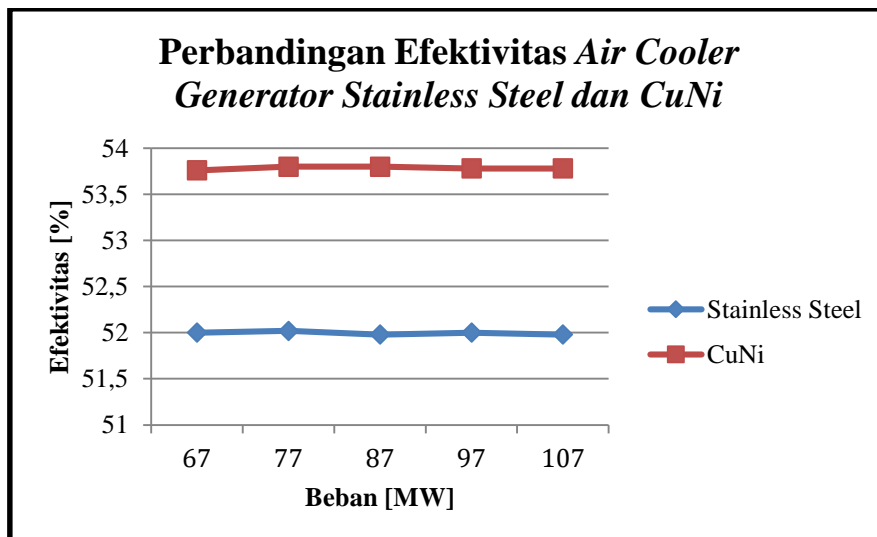
3.5 Perbandingan efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel* dan *CuNi*

Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas *Air Cooler Generator CuNi* dan *Stainless Steel* pada Tabel 4 dan Tabel 5, nilai efektivitas *Air Cooler Generator* dapat dibandingkan seperti terlihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas lebih tinggi dibandingkan dengan *Air Cooler Generator Stainless Steel*. Dari Gambar 3, *Air Cooler Generator CuNi* pada beban 67 (MW) memiliki efektivitas sebesar 53,76% sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* memiliki efektivitas sebesar 52,00%. Pada beban 77 (MW) *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas sebesar 53,80% sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* memiliki efektivitas sebesar 52,02%. Pada beban

87 (MW) *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas sebesar 53,80% sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* memiliki efektivitas sebesar 51,98%. Pada beban 97 (MW) *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas sebesar 53,78% sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* memiliki efektivitas sebesar 52,00%. Dan pada beban 107 (MW) *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas sebesar 53,78% sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* memiliki efektivitas sebesar 51,98%.

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis efektivitas di atas disimpulkan bahwa *Air Cooler Generator CuNi* memiliki efektivitas lebih baik dibandingkan dengan *Air Cooler Generator Stainless Steel*. Hal ini disebabkan *Air Cooler Generator CuNi* memiliki nilai NTU yang lebih besar. Seperti yang terlihat pada Tabel 4 dan Tabel 5, hubungan antara nilai NTU berbanding lurus dengan nilai efektivitas. Semakin besar nilai NTU maka semakin tinggi nilai efektivitas *Air Cooler Generator*. Selanjutnya nilai NTU dipengaruhi oleh nilai perpindahan panas *overall* atau U. Hubungan antara nilai NTU berbanding lurus dengan perpindahan panas *overall* atau U. Semakin besar perpindahan panas *overall* atau U maka semakin besar nilai NTU *Air Cooler Generator*. Dapat dilihat pada perhitungan, *Air Cooler Generator CuNi* memiliki nilai perpindahan panas *overall* atau U sebesar 50,9683 (W/m²K) sedangkan *Air Cooler Generator Stainless Steel* yang hanya memiliki nilai perpindahan panas *overall* atau U sebesar 50,0857 (W/m²K). Dapat disimpulkan bahwa nilai nilai perpindahan panas *overall* atau U berpengaruh pada nilai efektivitas *Air Cooler Generator*. Semakin besar nilai perpindahan panas *overall* atau U maka nilai efektivitas juga akan semakin besar.



Gambar 3. Perbandingan efektivitas antara *Air Cooler Generator Stainless Steel* dan *CuNi*

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- Nilai efektivitas *Air Cooler Generator CuNi* pada beban 67 (MW), 77 (MW) 87 (MW), 97 (MW), 107 (MW) berturut-turut sebesar 53,76%, 53,80%, 53,80%, 53,78%, 53,78%.
- Nilai efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel* pada beban 67 (MW), 77 (MW) 87 (MW), 97 (MW), 107 (MW) berturut-turut sebesar 52,00%, 52,02%, 51,98%, 52,00%, 51,98%.
- Hasil perbandingan perhitungan nilai efektivitas *Air Cooler Generator CuNi* lebih baik dibandingkan dengan nilai efektivitas *Air Cooler Generator Stainless Steel*. Hal ini dikarenakan *Air Cooler Generator Stainless CuNi* memiliki nilai perpindahan panas *overall* atau U yang lebih besar yaitu sebesar 50,9683 (W/m²K) sedangkan dibandingkan dengan *Air Cooler Generator Stainless Steel* yang hanya memiliki nilai perpindahan panas *overall* atau U sebesar 50,0857 (W/m²K).

Referensi

- Anwar, K. (2011). Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator PLTA. *MEKTEK*, 13(3).
- Anwar, S., & Sari, S. P. (2013). Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 180-185.
- Bergman, T. L., Bergman, T. L., Incropera, F. P., Dewitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Muttaqin, Z., & Irijanto, I. M. (2012). *Pengujian Efektivitas Penukar Kalor Multi Flat Plate Heat Exchanger Aluminium dengan Aliran Cross Flow*. Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University,
- ONDITA, N. (2016). *Analisa Pengaruh Laju Alir Fluida terhadap Laju Perpindahan Kalor pada Alat Penukar anas Tipe Shell dan Tube (Analysis of Fluid Flow Rate Effect On The Rate of Heat Transfer Shell and Tube Heat Exchanger)*. UNDIP,
- Pangestu, A. D., & Nurwijayanti, K. (2021). Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Teknik Turbulent Whirlpool. *IKRA-ITH TEKNOLOGI: Jurnal Sains & Teknologi*, 5(3), 58-65.
- Rafika, H., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2016). Kaji eksperimental pembangkit listrik berbasis thermoelectric generator (TEG) dengan pendinginan menggunakan udara. *Jurnal sains dan teknologi*, 15(1), 7-11.
- Sihombing, E. A. (2019). Uji Eksperimental Pipa Bersirip Sebagai Sebuah Alat Penukar Kalor Udara-Tanah (Earth-Air Heat Exchanger).
- Situmorang, M. (2019). Studi Eksperimental Pipa Bersirip pada Alat Penukar Kalor Udara Tanah (Earth-Air Heat Exchanger) EAHE dengan Sistem Terbuka.
- Suryanto, A. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Tube Non Finned Four Pass, Untuk Mengeringkan Empon-Empon Dengan Variasi Mass Flow Rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta,
- Wijanarko, Y. (2017). *Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Finned Tube Four Pass, untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow rate*. Universitas Muhammadiyah Surakarta,