



Analisis Perhitungan Nilai Efektivitas Kinerja Kondensor Pada Proses Penguapan di Pabrik Gula X

Aulia Rahmatunnissa*, Cintiya Septa Hasannah

Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat - 41361

*Korespondensi: e-mail: 1910631230001@student.unsika.ac.id

Abstrak

Perpindahan panas antar fluida sebaiknya berlangsung secara efisien. Oleh karena itu penukar kalor yang sudah dioperasikan harus dilakukan analisis mengenai kinerjanya, untuk mengetahui seberapa besar efektivitas dan efisiensi dari alat penukar kalor tersebut. Kinerja suatu alat penukar panas dapat dinilai dari besaran effectiveness (ϵ), dengan nilai berkisar antara 0 sampai dengan 1. Semakin tinggi nilai efektivitas suatu alat penukar panas maka kemampuan perpindahan panas alat penukar panas tersebut akan semakin baik. Metode yang paling sering digunakan untuk menghitung efektivitas atau efisiensi suatu penukar kalor yaitu metode Log Mean Temperature Difference (LMTD), namun jika data yang diketahui hanya berupa suhu masuk saja maka metode LMTD ini sulit untuk digunakan. Metode lain yang dapat digunakan yaitu metode Number Transfer of Unit (NTU). Metode NTU ini digunakan untuk mengetahui nilai efektivitas kondensor terhadap perubahan nilai tekanan vakum. Hasil dari metode ini adalah nilai efektivitas sebagai nilai efisiensi kondensor akibat kualitas dari perpindahan panas yang terjadi. Efektivitas penukar panas dapat memungkinkan penentuan laju perpindahan panas tanpa mengetahui suhu keluar fluida. Penukar panas yang digunakan berupa kondensor tipe barometrik. Nilai efektivitas panas dari kinerja kondensor pada stasiun penguapan Pabrik Gula X sebesar 95,775%. Faktor yang mengakibatkan turunnya efektivitas pada kondensor ialah menurunnya tingkat kevakuman pada kondensor. Menurunnya tingkat kevakuman di dalam kondensor diantaranya disebabkan oleh laju aliran air pendingin, temperatur air pendingin dan adanya gas-gas yang tidak terkondensasi maupun kebocoran pada pipa kondensor.

Kata kunci: Efektivitas, kondensor, penukar kalor, NTU

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.13247>

1. Pendahuluan

Penukar kalor atau yang biasa dikenal dengan *Heat Exchanger* adalah suatu alat yang digunakan untuk menukarkan energi dalam bentuk panas antara dua atau lebih fluida yang memiliki perbedaan temperatur dan dapat terjadi melalui kontak

langsung maupun tidak langsung. Umumnya, medium pemanas yang digunakan adalah uap lewat panas (super heated steam) dan media pendinginnya adalah air pendingin (cooling water) (Shah & Sekuli, 2003). Industri-industri yang berkaitan dengan pengolahan proses sebagian besar menggunakan alat penukar kalor, sehingga peralatan ini memegang peranan penting dalam suatu proses atau operasi manufaktur. Salah satu industri yang menggunakan penukar kalor dalam proses produksinya yaitu Pabrik Gula X. Alat penukar kalor terdiri dari 5 jenis, yaitu *heat exchanger*, *heater*, *cooler*, *condenser* dan *reboiler*.

Kondensor merupakan suatu alat penukar panas yang mampu mengondensasi uap menjadi cair. Uap yang bersuhu tinggi melewati dinding dan ruang kondensor, selanjutnya didinginkan oleh aliran cairan bersuhu rendah ke dalam sistem kondensor sehingga uap panas yang masuk dapat mengembun menjadi cairan (Setiorini et al., 2023). Perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor terdapat 2 jenis, yaitu konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi ketika fluida panas memindahkan panas ke fluida dingin yang melewati dinding kondensor. Konveksi termal terjadi ketika adanya perpindahan panas yang dilakukan oleh aliran fluida kerja kondensor (Mahyuddin & Damairi, 2020).

Alat penukar kalor yang sudah dioperasikan harus dilakukan analisis mengenai kinerja dari alat tersebut, hal ini untuk mengetahui seberapa besar efektivitas dan efisiensi dari alat tersebut. Kinerja suatu alat penukar panas dapat dinilai dari besaran effectiveness (ϵ), dengan nilai berkisar antara 0 sampai dengan 1. Semakin tinggi nilai efektivitas suatu alat penukar panas maka kemampuan perpindahan panas alat penukar panas tersebut akan semakin baik. Hal karena nilai laju perpindahan panas sebenarnya semakin mendekati besarnya energi panas yang dapat ditransfer (Ghozali et al., 2020). Metode yang paling sering digunakan untuk menghitung efektivitas atau efisiensi suatu penukar kalor yaitu metode *Log Mean Temperature Difference* (LMTD), namun jika data yang diketahui hanya berupa suhu masuk saja maka metode LMTD ini sulit untuk digunakan. Metode lain yang dapat digunakan yaitu metode *Number Transfer of Unit* (NTU). Metode NTU ini digunakan untuk mengetahui nilai efektivitas kondensor terhadap perubahan nilai tekanan vakum. Hasil dari metode ini adalah

nilai efektivitas sebagai nilai efisiensi kondensor akibat kualitas dari perpindahan panas yang terjadi (Cengel, 2004). Efektivitas penukar panas dapat memungkinkan penentuan laju perpindahan panas tanpa mengetahui suhu keluar fluida. Efektivitas penukar panas tergantung pada geometri penukar panas serta pengaturan aliran. Oleh karena itu, berbagai jenis penukar panas memiliki hubungan efektivitas yang berbeda (Kays & London, 1984).

2. Bahan dan Metode

2.1 Pengambilan Data

Perhitungan nilai efektivitas kondensor pada proses penguapan di Pabrik Gula X ini berdasarkan data-data yang didapatkan dari lapangan dan pustaka yang dibutuhkan. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan baik dari lapangan maupun pustaka, perhitungan nilai efektivitas dapat dilakukan. Berikut data-data yang diambil dari lapangan dan pustaka:

1.) Data Lapangan

Data – data yang berasal dari lapangan diantaranya adalah temperatur masuk *cooling water*, temperatur keluar *cooling water*, temperatur masuk *hot steam*, ukuran *kondensor*, laju alir massa *cooling water* dan laju alir massa *steam*.

2.) Data Pustaka

Data – data yang diambil dari pustaka diantaranya adalah nilai koefisien perpindahan kalor (*Overall Heat Transfer*), panas spesifik *cooling water*, panas spesifik *steam*, densitas *cooling water*, densitas *steam* dan entalpi penguapan

2.2 Pengolahan Data

Data-data yang telah didapat selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai efektivitas kondensor pada proses penguapan di Pabrik Gula X. Tahapan pengolahan data dalam menghitung nilai efektivitas kondensor yang merujuk dari (Cengel, 2004; P.Holman, 2010) adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan nilai efektivitas penukar kalor

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (1)$$

dimana,

ε = Efektivitas kondensor

NTU = *Number of Transfer Unit*

b. Perhitungan NTU (*Number of Transfer Unit*)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \quad (2)$$

dimana,

U = Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

A = Luas Perpindahan kalor

C_{min} = Kapasitas panas minimum

c. Perhitungan Q_{max} Laju perpindahan panas max

$$Q_{max} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci}) \quad (4)$$

dimana,

Q_{max} = Laju perpindahan panas max

T_{hi} = Temperatur *steam* masuk

T_{ci} = Temperatur *cooling water* masuk

d. Perhitungan Cr (*Capacity Ratio*)

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (3)$$

$$Cr = \frac{ms \times C_{ps}}{mcw \times C_{pcw}}$$

dimana,

Cr = *Capacity ratio*

ms = Laju alir massa *steam*

mcw = Laju alir massa *cooling water*

C_{ps} = *Heat capacity steam*

C_{pcw} = *Heat capacity cooling water*

e. Perhitungan laju perpindahan panas aktual

$$Q_{act} = \varepsilon \times Q_{max} \quad (5)$$

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Perhitungan

a. Perhitungan Kapasitas Maksimum (C_{max})

$$C_{max} = mcw \times C_{pcw}$$

$$= 5618326,558 \text{ lbm/hr} \times 0,999 \text{ Btu/lbm.F}$$

$$= 5612708,232 \text{ Btu/hr.F}$$

b. Perhitungan Kapasitas Minimum (Cmin)

$$C_{min} = m_s \times C_{ps}$$

$$= 172872 \text{ lbm/hr} \times 0,47 \text{ btu/lbm.F}$$

$$= 81249,84 \text{ Btu/hr.F}$$

c. Perhitungan Kapasitas Rasio (Cr)

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$= \frac{81249,84 \text{ Btu/hr.F}}{5612708,232 \text{ Btu/hr.F}}$$

$$= 0,014476$$

d. Perhitungan Laju Perpindahan Panas Max (Qmax)

$$Q_{max} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci})$$

$$= 81249,84 \text{ Btu/hr.F} \times (140 - 86) \text{ F}$$

$$= 4387491,36 \text{ Btu/hr}$$

e. Perhitungan Luas Permukaan (A)

$$A = \pi \times D \times l$$

$$= 3,14 \times 2,500 \text{ m} \times 8,768 \text{ m}$$

$$= 68,1223 \text{ m}^2$$

$$= 734,563 \text{ ft}^2$$

f. Perhitungan NTU

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}}$$

$$= \frac{350 \text{ Btu/hr.ft}^2.F \times 734,563 \text{ ft}^2}{81249,84 \text{ Btu/hr.F}}$$

$$= 3,1643$$

g. Perhitungan Efektivitas Kondensor (ϵ)

$$\epsilon = 1 - \exp(-3,1643)$$

$$= 0,95775$$

$$\epsilon (\%) = 95,775$$

h. Perhitungan Laju Perpindahan Panas Aktual (Qact)

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \varepsilon \times Q_{max} \\ &= 95,775\% \times 4387491,36 \text{ Btu/hr} \\ &= 4202143,142 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

3.2 Pembahasan

Perhitungan efektivitas kinerja kondensor dinyatakan dalam perhitungan perpindahan kalor menggunakan metode NTU-effectiveness. Efektivitas perpindahan kalor dapat dipahami sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas aktual dengan nilai maksimum laju perpindahan panas yang diperoleh dari perhitungan. Penukar kalor yang digunakan pada proses penguapan di Pabrik Gula X adalah kondensor tipe barometric. Kondensor tipe ini merupakan kondenser kontak langsung, dimana uap dan cairan pendingin langsung berkontak tanpa adanya pembatas. Pada kondensor barometrik jalur uap yang akan terkondensasi berada pada bagian atas kondensor, kemudian pancaran uap (*spray*) berada dibawah saluran masuk uap dan jet berada pada posisi paling bawah, dengan tekanan air yang semakin tinggi. Selain memiliki fungsi untuk kondensasi tipe kondensor barometrik memiliki kemampuan untuk menghasilkan vakum, sehingga dapat menghilangkan kebutuhan akan pompa vakum.

Nilai efektivitas perpindahan kalor dalam kondensor dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti desain kondensor, nilai konduktivitas material, kepadatan lapisan isolasi pada kondensor, faktor pengotor, jenis fluida, suhu lingkungan operasi dan yang lainnya (Haryadi, 2015). Untuk kondensor jenis barometrik faktor yang sangat memengaruhi ialah tekanan vakum pada kondensor. Semakin tinggi vakum dalam kondensor maka semakin meningkat kinerja kondensor dalam proses mengkondensasikan uap menjadi air. Tingkat vakum kondensor dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah temperatur air pendingin. Air pendingin dengan temperatur yang semakin rendah akan menyebabkan uap yang terkondensasi semakin cepat, dimana akan menjadikan tekanan didalam kondensor semakin vakum. Selain itu gas-gas yang tidak terkondensasi juga merupakan penyebab terjadinya penurunan kevakuman pada kondensor. Gas-gas yang tidak dapat terkondensasi dapat masuk kedalam kondensor dari luar, hal ini

terjadi karena kondensor mempunyai tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer sehingga memungkinkan udara dari luar dapat masuk ke dalam kondensor.

Laju perpindahan panas pada kondensor sangat dipengaruhi oleh laju aliran cairan pendingin. Semakin cepat laju aliran cairan pendingin maka laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor juga akan semakin cepat. Hal ini karena panas yang dibuang oleh kondensor cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya laju air pendingin yang digunakan. Sebaliknya jika laju aliran air pendingin semakin rendah, maka suhu air pendingin yang keluar dari kondensor akan semakin tinggi karena proses penyerapan panas akan semakin lambat. Dari faktor-faktor penyebab penurunan tingkat vakum pada kondensor perlu adanya upaya untuk menjaga maupun meningkatkan efektivitas kinerja kondensor agar dapat berjalan optimal. Diantara upaya yang dapat dilakukan dalam menjaga tingkat vakum kondenser diantaranya melakukan pembersihan pada pipa-pipa kondensor dan melakukan pengontrolan pada laju aliran pendingin yang masuk ke kondensor.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu nilai efektivitas dari kinerja kondensor pada proses penguapan Pabrik Gula X sebesar 95,775%. Faktor yang mengakibatkan turunnya efektivitas pada kondensor ialah menurunnya tingkat kevakuman pada kondensor. Menurunnya tingkat kevakuman di dalam kondensor diantaranya disebabkan oleh laju aliran air pendingin, temperatur air pendingin dan adanya gas-gas yang tidak terkondensasi maupun kebocoran pada pipa kondensor.

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis pada penelitian selanjutnya, ialah dilakukan pengujian efektivitas alat penukar kalor pada unit proses lainnya di Pabrik Gula X. Hal ini agar kinerja dari alat penukar kalor yang digunakan di Pabrik Gula X ini dapat di kontrol dan dalam kondisi yang baik.

5. Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A. (2004). Heat Transference a Practical Approach. In *MacGraw-Hill*, (2nd ed., Vol. 4, Issue 9).
- Ghozali, A., Nefirman, & Rusjdi, H. (2020). Pengaruh Overhaul Terhadap Efektifitas Kondensor Di PT. Indonesia Power Up Suralaya Unit III. *Jurnal Power Plant*, 8(1), 59–70. <https://doi.org/10.33322/powerplant.v8i1.1062>
- Haryadi, S. (2015). Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Proses Pirolisis Limbah Plastik. *Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang*, 92. <https://lib.unnes.ac.id/23365/1/5201411057.pdf>
- Kays, W. M., & London, A. L. (1984). *Compact heat exchangers. Third Edition*.
- Mahyuddin, & Damairi, K. (2020). Analisis Kinerja Kondensor Spiral Tipe V ERTIKAL Pada Proses Kondensasi Hasil Pirolisis Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dan Polypropylene (PP). *Jurnal Rsitech (Jurnal Riset, Sains Dan Teknologi)*, 2(2), 24–35.
<http://jurnal.abulyatama.ac.id/index.php/ristech>
- P.Holman, J. (2010). *Heat Transfer* (10th ed., Issue 10th ed). McGraw-Hill.
- Setiorini, I. A., Faputri, A. F., Studi, P., Pengolahan, T., Politeknik, M., & Palembang, A. (2023). *Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Jenis Kondesor 1110-C Tipe SHell and Tube Berdasarkan Nilai Fouling Factor Pada Unit Purifikasi di Ammonia Plant PT X*. 14(01), 23–30.
- Shah, R. K., & Sekuli, D. P. (2003). Selection of Heat Exchangers and Their Components. In *Fundamentals of Heat Exchanger Design* (pp. 673–734). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470172605.ch10>