



Efisiensi Kinerja *Cooling Tower* di Unit Pengolahan Air Di PT. X Sukowati

Cooling Tower Performance Efficiency in Water Treatment Unit at PT. X Sukowati

Arif Nurrahman^{1*}, Zami Furqon¹, Farid Alfalaki Hamid¹, Muhammad Iqbal Al Haritsah¹

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gadjah Mada No. 38, Cepu, Jawa Tengah, Indonesia 58315

*Corresponding Author: anurrahman@esdm.go.id

Received: 13th November 2023; Revised: 5th January 2024; Accepted: 23rd January 2024

ABSTRAK

PT. X Sukowati merupakan salah satu industri migas yang beroperasi di sektor hulu, tepatnya pada proses produksi minyak dan gas. Tujuan dilakukan penelitian adalah untuk melakukan evaluasi efisiensi dari *Cooling Tower* pada PT. X Sukowati, apakah masih layak digunakan dalam proses pendinginan mesin ke *poorboy* dan kompresor. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif, karena metode ini mencakup observasi, studi literatur, *interview*, serta orientasi lapangan agar memperoleh data yang berhubungan dengan proses kinerja efisiensi dari *Cooling Tower*. Kemudian dilakukan analisa dengan membandingkan data desain dengan kondisi operasi dari *Cooling Tower*. Cara kerja *Cooling Tower* menggunakan prinsip aliran balik air yang masuk ke outlet aliran air, dipercikan dengan *nozzle* dari *sprinkle head* yang berputar di atas *filler* PVC. Adapun masalah yang sering terjadi pada *Cooling Tower* yaitu tumbuhnya lumut pada *cooling water pond*. Hal tersebut di-*maintenance* dengan memberikan algae sebanyak 600 ml per harinya pada *cooling water pond*. Nilai rata – rata efisiensi yang didapat pada *Cooling Tower* adalah 59,12%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Cooling Tower* masih dapat berfungsi dengan baik. Nilai efisiensi tersebut sudah lebih baik dari efisiensi data desainnya yaitu 50%.

Kata kunci: *Cooling Tower, Cooling Water Pond, Maintenance, Nozzle*

ABSTRACT

PT X Sukowati is one of the oil and gas industries that operates in the upstream sector, precisely in the oil and gas production process. The purpose of the research is to evaluate the efficiency of the Cooling Tower at PT X Sukowati, and whether it is still feasible to use in the process of cooling the engine to the poorboy and compressor. The research method used is qualitative because this method includes observation, literature study, interviews, and field orientation to obtain data related to the efficiency performance process of the Cooling Tower. Then the analysis is carried out by comparing the design data with the operating conditions of the Cooling Tower. The Cooling Tower works using the counter flow principle of water entering the water flow outlet, sprinkled with a nozzle from a sprinkle head that rotates above the PVC filler. The problem that often occurs in the Cooling Tower is the growth of moss in the cooling water pond. This is maintained by giving algae as much as 600 ml per day to the cooling water pond. The average efficiency value obtained at the Cooling Tower is 59.12%. This result shows that the Cooling Tower can still function properly. The efficiency value is better than the design data efficiency of 50%.

Keywords: *Cooling Tower, Cooling Water Pond, Maintenance, Nozzle*

Copyright © 2024 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Nurrahman, A. *Cooling Tower Performance Efficiency in Water Treatment Unit at Pt. X Sukowati*. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 8(1), 15–23.

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v8i1.35469



PENDAHULUAN

PT. X Sukowati *Field* merupakan Perusahaan yang bergerak di dalam bidang hulu migas. PT. X Sukowati *Field* mengelola sumber daya alam minyak bumi yang berada di Tuban dan Bojonegoro, dimana merupakan suatu industri minyak dan gas yang pertama.

Ada dua jenis menara pendingin yaitu aliran udara alami dan aliran udara mekanis (Nitsche & Gbadamosi, 2017). *Cooling tower* jenis *natural draft* menggunakan Prinsip, menghasilkan aliran udara yang alami tanpa menggunakan kipas mekanis. *Cooling tower* *natural draft* didesain dengan menggunakan perbedaan kepadatan udara yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara udara panas di dalam *cooling tower* dan udara dingin di luar. Sedangkan *cooling tower* jenis *mechanical draft* menggunakan kipas yang dipasang di atas atau di samping dari *cooling tower* untuk menghasilkan aliran udara (Kaufman, 2015). Kipas tersebut menghisap udara dari lingkungan sekitarnya dan memaksa udara tersebut melewati media penukar panas di dalam *cooling tower*. Udara yang melewati media penukar panas membantu dalam proses pendinginan air yang mengalir di dalamnya. Pada *cooling tower mechanical draft* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *force draft* dan *induced draft*. *Cooling tower force draft* menggunakan kipas yang ditempatkan di bawah atau di samping *cooling tower* dan mendorong (memaksa) udara ke dalam tower. Sedangkan *cooling tower induced draft*, kipas ditempatkan di atas *cooling tower* dan menarik (menghisap) udara keluar dari *tower* (Kaufman, 2015).

Pada *cooling tower* terdapat dua jenis aliran, yaitu *counter flow* dan *cross flow*.

Pada aliran *counter flow*, air pendingin dan udara yang memasuki tower bergerak secara berlawanan arah atau berlawanan satu sama lain (Kaufman, 2015). Air pendingin mengalir dari atas ke bawah melalui media penukar panas, sedangkan udara masuk dari bawah dan bergerak ke atas. Dalam aliran *counter flow*, udara yang lebih dingin bertemu dengan air yang lebih panas di bagian atas *tower*, sehingga terjadi pertukaran panas yang efisien antara air dan udara (Tooley, 2010). Sedangkan pada aliran *cross flow*, air pendingin mengalir secara horizontal melintasi media penukar panas, sementara udara masuk secara vertikal melintasi aliran air. Air pendingin masuk dari sisi atas atau samping, dan udara memasuki tower dari sisi lain secara vertikal. Dalam aliran *cross flow*, udara dan air bersentuhan secara horizontal pada permukaan media penukar panas (Kolmetz, 2020).

Cooling tower adalah penukar panas yang dirancang untuk mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara, di mana sebagian kecil air diuapkan (Kaufman, 2015). *Cooling tower* sangat penting dalam industri apa pun, terutama dalam industri minyak dan gas, untuk memberikan efisiensi dan konversi energi di mana perangkat atau unit digunakan untuk sirkulasi air pendingin. *Cooling tower* yang bekerja pada system pendinginan udara biasanya menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air melintasi Menara (Enggal Nurisman et al., 2020). Air pendingin yang berasal dari alat atau sistem penukar panas didinginkan di menara pendingin dengan cara mengontakkan dengan udara yang



dilewatkan secara berlawanan arah (Kolmetz, 2020).

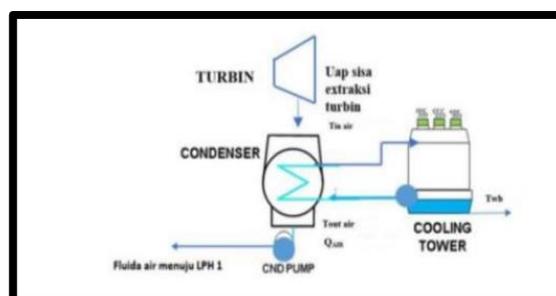
Cooling Tower merupakan peralatan yang digunakan untuk mengurangi suhu aliran air dengan mengekstraksi panas dari air dan melepaskannya ke atmosfer. Menara pendingin memanfaatkan penguapan, di mana sebagian air menguap ke dalam aliran udara yang bergerak dan kemudian dilepaskan ke atmosfer (Tooley, 2010). Hasilnya, air yang tersisa didinginkan secara signifikan. Menara pendingin dapat mengurangi suhu air hingga tingkat yang lebih besar daripada peralatan yang hanya menggunakan udara untuk menghilangkan panas, seperti radiator di mobil, dan karena itu lebih ekonomis dan hemat energi (Rosyadi et al., 2022).

Cooling Tower didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara, yang berfungsi mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara, sehingga terjadi penguapan sebagian kecil air (Arif Nurrahman, 2023). Sebagian besar menara pendingin yang bekerja pada sistem pendinginan udara menggunakan pompa sentrifugal untuk memindahkan air secara vertikal ke atas menara. Kapasitas menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* (Hendricks, 2011).

Mesin pendingin melepaskan panas melalui kondensor, refrigeran memberikan panasnya ke air pendingin, menghasilkan air panas. Air panas ini kemudian dipompa ke menara pendingin. Tujuan dari menara pendingin adalah untuk menyerap panas dalam jumlah besar dan menyediakan air pendingin dalam jumlah besar untuk digunakan di pabrik pendingin, dengan kata

lain, menara pendingin memiliki fungsi untuk menurunkan suhu air dan membuang panas ke atmosfer. Menara pendingin mampu menurunkan suhu air, tetapi lebih rendah dari mesin pendingin lain yang menggunakan metode pendinginan udara, seperti radiator pada mobil (Kern, 2017).

Cooling tower bekerja berdasarkan pada pembangkitan dan transfer panas. Dalam menara pendingin, panas ditransfer dari air ke udara (Flow & Surge, 2014). Menara pendingin memanfaatkan penguapan, di mana sebagian air menguap ke dalam aliran udara yang bergerak dan kemudian dilepaskan ke atmosfer. Dengan cara ini, air yang tersisa menjadi sangat dingin. Memompa air panas dari kondensor ke *cooling tower* melalui *system* pemipaan yang memiliki sejumlah *nozzle* diujungnya untuk tahap penyemprotan (*spraying*). Air panas yang keluar dari *nozzle* (*spray*) bersentuhan langsung dengan udara sekitar yang digerakkan oleh kipas (*fan*) dan terperangkap sementara karena air ditahan oleh *drift eliminator* yang dipasang pada *cooling tower* (Kaufman, 2015). Adapun prinsip kerja menara pendingin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Penelitian sebelumnya terkait dengan kinerja induced draft pada cooling tower (Rosyadi et al., 2022), serta menghitung Analisa perbandingan perpindahan panas



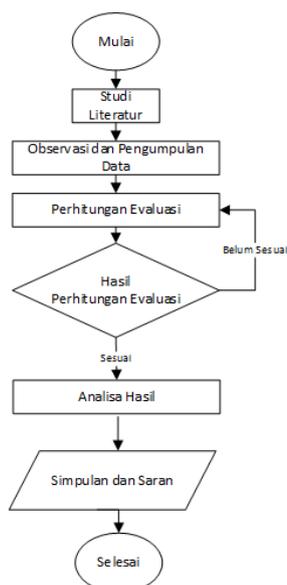
pada cooling tower (Jamaludin & Sumarno, 2022)(Nasution, 2017). Sedangkan yang akan dibahas Penelitian ini terkait evaluasi peralatan dengan dibandingkan data design yang ada (Nurrahman, 2021).

BAHAN DAN METODE

Alat dan bahan serta data yang digunakan dalam melaksanakan kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Alat dan Bahan
 - a. *Software: Minitab, Microsoft Office 2010 (Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel dan Microsoft Power Point).*
 - b. Alat tulis, *handphone* dan laptop.
2. Data
 - a. Data desain alat *Cooling Tower*.
 - b. Data kondisi operasi *Cooling Tower*.

Adapun di bawah ini merupakan *flowchart* metode kerja atau diagram alir dari setiap penelitian yang digunakan pada saat pembuatan jurnal yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. Flowchart metode penelitian

Metode yang digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam pembuatan jurnal dan sebagai pedoman dalam proses pembuatan jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Diskusi atau *Interview*
Data-data yang didapat dari konsultasi langsung dengan pembimbing lapangan, bagian laboratorium, dan juga operator yang bersangkutan. Data yang didapat adalah data desain berupa material penyusun. Sementara, data kondisi operasi *cooling tower* berupa *inlet, outlet* dan *wet-bulb temperature*.
2. Studi Literatur
Data tambahan atau *support* data sebagai sumber referensi teori yang ada berasal dari manual *book* dan juga jurnal baik secara *online* maupun *offline*.
3. Orientasi Lapangan
Data yang diperoleh pada penulisan jurnal ini juga didapatkan secara langsung saat ke lapangan untuk mengobservasi alat maupun subjek sesuai dengan konsentrasi yang diambil. Berdasarkan observasi tersebutlah penulis mendapatkan data yang akan menjadi sumber dalam penulis laporan ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil data yang diperoleh mengenai performa, desain, dan kondisi operasi dari *Cooling Tower* yang didapat saat melaksanakan Penelitian. Data tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 1. Material *Cooling Tower*

| Komponen | Bahan |
|-------------------------|-------|
| <i>Casing</i> | FRP |
| <i>Cold Water Basin</i> | FRP |



| | |
|-------------------|-------------------------|
| Fan | Aluminium Alloy |
| Fills | Rigid Vacuum-Formed PVC |
| Louvers | PVC |
| Drift Eliminators | PVC |
| Nozzles | Polypropylene |

Table 2. Performa Cooling Tower

| Performa | |
|------------------------|--------|
| Hot water Temperature | 37 °C |
| Cold Water Temperature | 32 °C |
| Ambient Wet-Bulb | 27 °C |
| Drift Loss | 0,005% |
| Evaporation Loss | ~0,8% |

Table 3. Data Kondisi Operasi Cooling Tower

| Hari | Outlet Temperature (°C) | Inlet Temperature (°C) | Wet-Bulb Temperature (°C) |
|------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1. | 29 | 35 | 25 |
| 2. | 29 | 35 | 25 |
| 3. | 29 | 35 | 25 |
| 4. | 29 | 35 | 25 |
| 5. | 29 | 34 | 25 |

➤ Rumus Mencari Range

$$Range = T_1 - T_2$$

➤ Approach = $T_2 - T_3$ Rumus Mencari Efisiensi

$$Eff = \frac{T_1 - T_2}{(T_1 - T_2) + (T_2 - T_3)} \times 100\%$$

Keterangan:

T_1 : Inlet Temperature (°C)

T_2 : Outlet Temperature (°C)

T_3 : Wet-Bulb Temperature (°C)

➤ Hari Pertama

- a. $Range = 35^\circ C - 29^\circ C = 6^\circ C$
- b. $Approach = 29^\circ C - 25^\circ C = 4^\circ C$

c. $Eff = \frac{6^\circ C}{6^\circ C + 4^\circ C} \times 100\% = 60\%$

➤ Hari Kedua

- a. $Range = 35^\circ C - 29^\circ C = 6^\circ C$
- b. $Approach = 29^\circ C - 25^\circ C = 4^\circ C$

c. $Eff = \frac{6^\circ C}{6^\circ C + 4^\circ C} \times 100\% = 60\%$

➤ Hari Ketiga

- a. $Range = 35^\circ C - 29^\circ C = 6^\circ C$
- b. $Approach = 29^\circ C - 25^\circ C = 4^\circ C$

c. $Eff = \frac{6^\circ C}{6^\circ C + 4^\circ C} \times 100\% = 60\%$

➤ Hari Keempat

- a. $Range = 35^\circ C - 29^\circ C = 6^\circ C$
- b. $Approach = 29^\circ C - 25^\circ C = 4^\circ C$

c. $Eff = \frac{6^\circ C}{6^\circ C + 4^\circ C} \times 100\% = 60\%$

➤ Hari Kelima

- a. $Range = 34^\circ C - 29^\circ C = 5^\circ C$
- b. $Approach = 29^\circ C - 25^\circ C = 4^\circ C$

c. $Eff = \frac{5^\circ C}{5^\circ C + 4^\circ C} \times 100\% = 55,6\%$

➤ Kondisi Data Desain

- a. $Range = 37^\circ C - 32^\circ C = 5^\circ C$
- b. $Approach = 32^\circ C - 27^\circ C = 5^\circ C$

c. $Eff = \frac{5^\circ C}{5^\circ C + 5^\circ C} \times 100\% = 50\%$

A. Proses Cooling Tower

Prinsip pengoperasian *cooling tower* sendiri yaitu berdasarkan pada pelepasan kalor dan juga perpindahan kalor. Panas dipindahkan dari air ke udara. Selain itu, *cooling tower* juga menggunakan sistem penguapan, dimana sebagian air diuapkan dalam aliran udara yang bergerak dan kemudian dilepaskan ke atmosfer.

Cooling Tower milik PT. X Sukowati Field merupakan jenis *cooling tower mechanical draft* dengan tipe *induced draft*.

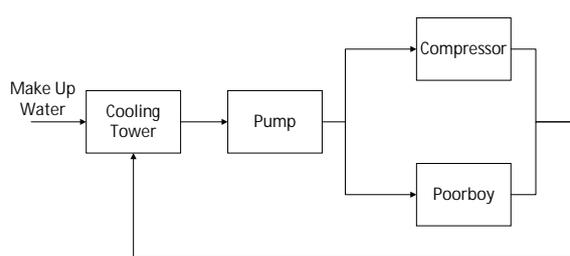


Hal ini dikarenakan kipas mekanis berada di atas dari *cooling tower* sendiri. Dimana udara masuk melalui sisi kisi menara dan bergerak melalui *fill*. *Fan* dipasang di puncak menara dan dari puncak menara udara panas dan lembab dibuang ke udara bebas. Tipe *fan* dari *Cooling Tower* yaitu *axial fan*. *Hot water basin* berada di atas menara menampung dan menyalurkan air panas yang keluar dari *poorboy* dan kompresor dengan bantuan pancaran dari *nozzle* dengan prinsip gravitasi. Air yang jatuh akan berkontak langsung dengan *fill*. Adanya *fill* ini adalah agar proses pendinginan dapat dilakukan secara efisien dan maksimal. Setelah itu, air akan disalurkan menuju ke *cold water basin* atau ditampung di *cooling water pond* yang berada di bawah menara. Luas *cooling water pond* yaitu sebesar (20 x 10) ft. Air yang sudah didinginkan akan disalurkan kembali menuju ke *poorboy* dan *compressor* melalui pompa distribusi jenis sentrifugal.

Penyaluran air yang telah didinginkan atau air yang keluar dari *poorboy* maupun kompresor, disalurkan melalui *pipeline*. Digunakan *pipeline* dikarenakan *pipeline* mampu menampung fluida atau air dalam jumlah yang besar. Karena dalam proses mendinginkan gas dalam *poorboy* dan udara dalam kompresor pasti membutuhkan *supply* air yang besar juga agar pertukaran panas dapat bekerja dengan maksimal. Sedangkan *piping* digunakan untuk membantu penyaluran atau transportasi air pada alat *cooling tower* sendiri. Dikarenakan *piping* hanya mampu menampung air dalam jumlah yang sedikit. *Piping* sendiri biasanya digunakan untuk mengalirkan fluida atau gas dari satu titik ke

titik lain di dalam suatu fasilitas *system* pendingin salah satunya.

Di *poorboy* sendiri air dari *cooling tower* digunakan untuk mendinginkan gas yang akan diproses di SRU. Sedangkan di *compressor* air dari *cooling tower* digunakan untuk mendinginkan udara yang telah dikompresi di *compressor*. Karena semakin tinggi tekanan, maka semakin tinggi suhunya. Setelah dari *poorboy* dan *compressor* air akan disalurkan kembali ke *cooling tower* untuk didinginkan. Tambahan air dari *Cooling Tower* CL-7010 sendiri berasal dari *water well* yaitu *raw water* atau air sumur. Adapun proses blok diagram yang dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Proses Blok Diagram *Cooling Tower*

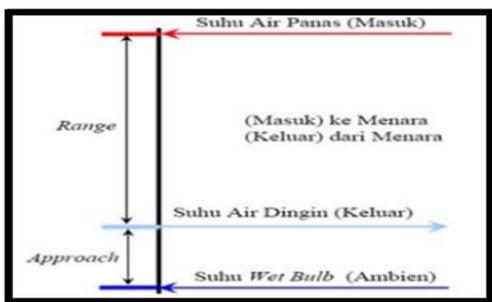
Sistem aliran yang digunakan *Cooling Tower* adalah *counter flow*. Digunakan aliran *counter flow* dikarenakan aliran *counter flow* dapat mencapai efisiensi yang tinggi dengan pertukaran panas yang efektif dalam jarak yang lebih pendek. Selain itu, aliran udara dari bawah ke atas dalam aliran *counter flow* membantu dalam menjaga konsistensi aliran udara melalui media penukar panas, sehingga memastikan efisiensi pendinginan yang stabil. Dan dalam aliran *counter flow*, air yang keluar dari *cooling tower* memiliki suhu yang lebih rendah, sehingga memungkinkan penggunaan lebih efisien dari segi pendinginan. Dengan suhu air yang lebih rendah, dapat mengurangi kebutuhan *make*



up water dan meminimalkan pemborosan air.

B. Evaluasi Kinerja Cooling Tower

Dari data yang dapat dilihat pada Tabel 3 di atas, dapat dicari mengenai efisiensi dari Cooling Tower. Untuk mencari nilai efisiensi dari cooling tower, diperlukan nilai dari range dan approach. Nilai range sendiri merupakan selisih nilai antara suhu air yang masuk ke cooling tower dengan suhu yang keluar dari cooling tower. Sedangkan nilai approach adalah selisih nilai antara suhu air dingin yang keluar dari cooling tower dengan suhu wet bulb ambient.



Gambar 4. Range dan Approach Temperatur pada Cooling Tower

Dari nilai range dan approach yang diperoleh, dapat dicari nilai efisiensi dari cooling tower sendiri.

Dari perhitungan data yang telah diperoleh pada bab hasil, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi dari kondisi Cooling Tower dari hari pertama hingga hari keempat memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 60% dan hari kelima sebesar 55,6%. Didapat rata-rata nilai efisiensi Cooling Tower selama lima hari berturut-turut adalah sebesar 59,12%. Sedangkan nilai efisiensi dari data desain Cooling Tower sendiri yaitu sebesar 50%. Dilihat dari hasil perhitungan data efisiensi yang

diperoleh, dapat dikatakan bahwa Cooling Tower telah bekerja atau beroperasi dengan baik. Jika nilai dari efisiensi berada di bawah dari kondisi data desain, maka dapat dikatakan Cooling Tower tidak bekerja atau beroperasi dengan baik.



Gambar 5. Cooling Tower

C. Troubleshooting dan Maintenance

Permasalahan yang sering terjadi pada Cooling Tower CL-7010 milik PT. X Sukowati Field adalah tumbuhnya tumbuhan lumut. Lumut tumbuh di area cooling water pond. Lumut dapat tumbuh sendiri dikarenakan cooling water pond terletak di ruangan yang terbuka dan terletak di tempat yang lembab. Karena hal itulah yang menyebabkan lumut tumbuh. Tumbuhnya lumut sendiri dapat menyebabkan beberapa masalah seperti timbulnya korosi, turunnya pH air, serta menyebabkan turunnya efisiensi pendinginan air. Selain itu, lumut juga dapat menyumbat saluran pipa pada pompa distribusi, dimana hal tersebut dapat mengganggu atau menghambat penyaluran air menuju ke poorboy dan kompresor. Karena hal tersebut pendistribusian air menjadi kurang baik. Tumbuhnya lumut dapat diatasi dengan menggunakan bantuan dari algae. Hal tersebut dilakukan dengan cara



menuangkan anti algae ke *cooling water pond* sebanyak 600 ml per hari atau sekitar 6 liter per minggu. Hal tersebut rutin dilakukan agar pertumbuhan lumut dapat dicegah atau dapat memperlambat pertumbuhan lumut sendiri.



Gambar 6. *Cooling Water Pond Cooling Tower*

KESIMPULAN

Kesimpulan Khusus

Cooling Tower memiliki rata-rata nilai efisiensi dari kondisi operasi sebesar 59,12%, sedangkan nilai efisiensi dari kondisi data desain sebesar 50%. Air pendingin pada *Cooling Tower* digunakan untuk membantu proses kerja yang berada di *poorboy* dan kompresor yang didistribusikan melalui pompa sentrifugal. Sementara permasalahan yang sering dialami oleh *Cooling Tower* adalah tumbuhnya lumut, namun dapat diatasi dengan bantuan dari alga, dengan cara menuangkannya sebanyak 600 ml per hari ke *cooling water pond*.

Kesimpulan Umum

Penelitian yang sebelumnya terkait dengan kinerja *induce draft* dari *cooling tower* memiliki perbandingan dalam Perhitungan neraca massa dan neraca panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Nurrahman, G. H. A. (2023). Nusantara Hasana Journal. Nusantara Hasana Journal, 2(9), 185–190.
- Enggal Nurisman, Zulfa Syafira, & Fatina Shania. (2020). Studi kinerja cooling tower unit amoniak dan urea pada sistem utilitas industri petrokimia. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(1), 37–41. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i1.9>
- Flow, F., & Surge, H. L. (2014). *Kolmetz Handbook of Process Equipment design fluid flow*. March.
- Hendricks, D. W. (2011). *Fundamentals of water treatment unit processes : physical, chemical, and biological*. 930.
- Jamaludin, J., & Sumarno, S. (2022). Analisis Perbandingan Laju Perpindahan Panas Filler Material Alumunium dan Plastik pada Cooling Tower. *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 49. <https://doi.org/10.31000/mbjtm.v6i1.6718>
- Kaufman, A. L. (2015). *Advanced Technology at Cooling Tower*. 1, 41–69.
- Kern, d. Q. (2017). *Process heat transfer*.
- Kolmetz, K. (2020). *Cooling tower selection, sizing, and troubleshooting*. <https://www.researchgate.net/publication/340133313>, April, 1–24.
- Nasution, d. M. (2017). Kinerja induced draft cooling tower dengan potongan pipa PVC diameter 1 inci sebagai filling material tower dengan potongan pipa pvc ø 1 inci skripsi yang diajukan untuk melengkapi. February 2010. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.15055.28325/1>



Nitsche, M., & Gbadamosi, R. (2017).
Practical column design guide.

Nurrahman, A. (2021). Evaluasi Neraca Massa Kolom Deethanizer di Unit Gas Plant (Evaluation of the Mass Balance of the Deethanizer Column in the Gas Plant Unit) bisnis dalam hal pengolahan bahan bakar salah satunya dalam pengolahan LPG [1]. Untuk umumnya yang membedakan ad. 6(2), 160–173.

Rosyadi, A. A., Gustiawan, F., Darsin, M., Hermawan, Y., & Asrofi, M. (2022). Performance analysis cooling tower type induced draft with PVC plate filling material. *Polimesin*, 20(2), 121–127.

Tooley, M. H. (2010). *Plant and process engineering 360°*. 608.
<https://www.everand.com/book/282539984/Plant-and-Process-Engineering-360>