

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri *Petrochemical* merupakan salah satu sektor vital yang memproduksi berbagai bahan kimia penting seperti plastik, resin, pelarut, dan bahan bakar. Proses produksi di industri ini melibatkan reaksi kimia bersuhu tinggi, operasi distilasi, *cracking*, *polymerization*, hingga *heat exchange* yang menghasilkan panas dalam jumlah besar. Kondisi tersebut menuntut keberadaan sistem pendinginan yang andal agar proses produksi tetap stabil dan kualitas produk terjaga.

Sebagian besar proses *petrochemical* menghasilkan panas berlebih yang harus dihilangkan secara terus-menerus sehingga sistem pendinginan menjadi komponen krusial dalam menjaga keandalan operasi. Dalam konteks ini, *Cooling Tower* berperan sebagai peralatan utilitas utama yang bertugas menurunkan temperatur air pendingin sebelum digunakan kembali dalam siklus produksi. Perannya yang signifikan membuat *Cooling Tower* menjadi tulang punggung sistem pendinginan pada *plant Petrochemical*.

Sekitar 30–60% panas proses dalam industri *Petrochemical* dilepas melalui *Cooling Tower*, sehingga performanya langsung berpengaruh terhadap operasi peralatan proses seperti *heat exchanger*, *condenser*, *reactor jacket*, dan *compressor*. Apabila *Cooling Tower* tidak bekerja secara optimal, temperatur *cooling water* akan meningkat dan menyebabkan penurunan efektivitas perpindahan panas. Keadaan ini mendorong peralatan bekerja lebih keras sehingga konsumsi energi naik. Dengan demikian, performa *Cooling Tower* memiliki hubungan langsung dengan efisiensi *energi plant secara keseluruhan*.

Efisiensi *Cooling Tower* sangat menentukan konsumsi energi pompa, *fan*, serta beban pendinginan tambahan lainnya. Peningkatan performa *Cooling Tower* dapat menghasilkan temperatur air keluar yang lebih rendah, sehingga meningkatkan efektivitas perpindahan panas dan menurunkan kebutuhan energi tambahan. Oleh karena itu, optimasi *Cooling Tower* merupakan langkah penting

dalam strategi konservasi energi pada sektor industri, terutama industri *Petrochemical* yang berenergi intensif.

Cooling Tower memegang peran yang sangat krusial sebagai utilitas inti dalam industri *Petrochemical* karena berfungsi sebagai sarana pembuangan panas proses yang andal dan ekonomis, sehingga membantu menjaga kestabilan termal, efisiensi operasi, serta kesinambungan produksi. Dalam lingkungan *plant* proses, *Cooling Tower* merupakan peralatan esensial yang menurunkan suhu air proses melalui mekanisme perpindahan panas dan massa yakni pendinginan sensibel dan penguapan yang secara langsung menentukan kinerja keseluruhan sistem utilitas *plant*. Okari *et al.* (2025) menegaskan bahwa *Cooling Tower* merupakan “komponen yang esensial dan sangat penting pada banyak *plant* proses” dan menjadi “utilitas yang sangat penting dalam industri kimia dan sejenisnya” karena perannya dalam membuang panas tingkat rendah secara efektif ke atmosfer, sehingga air proses dapat digunakan kembali sesuai kebutuhan operasi. Oleh sebab itu, evaluasi dan pengendalian parameter kinerja *Cooling Tower*, seperti *range*, *approach*, kapasitas pendinginan, dan efisiensi termal, sangat penting dilakukan agar performa sistem tetap optimal, konsumsi energi terkendali, dan risiko terjadinya gangguan operasi dapat diminimalkan (Okari *et al.*, 2025).

Salah satu komponen paling penting dalam *Cooling Tower* adalah *filler*, yaitu media yang memperbesar luas permukaan kontak antara air dan udara sehingga memungkinkan proses perpindahan panas dan evaporasi yang lebih efektif. Penurunan kualitas *filler* baik akibat *fouling*, deformasi, maupun usia operasi dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi perpindahan panas, meningkatnya hambatan aliran udara, dan turunnya performa *Cooling Tower*. Kondisi ini pada akhirnya memperbesar konsumsi energi sistem utilitas *plant*. Karena itu, penggantian tipe internal part *filler* menjadi strategi yang efektif untuk meningkatkan performa *Cooling Tower* dan mendukung efisiensi energi secara keseluruhan.

Kebutuhan akan optimalisasi *Cooling Tower* semakin meningkat karena meningkatnya kebutuhan energi dan air dalam industri modern, serta tuntutan untuk menerapkan praktik operasi berkelanjutan. *Cooling Tower* yang tidak dioptimalkan dapat menyebabkan pemborosan energi, penggunaan air yang

berlebihan, meningkatnya biaya operasional, serta berdampak negatif bagi lingkungan. Oleh karena itu, upaya peningkatan performa *Cooling Tower* memiliki peran strategis dalam mendukung keberlanjutan operasi *plant*, stabilitas produksi, serta efisiensi biaya.

Cooling Tower pada dasarnya memanfaatkan proses pendinginan evaporatif untuk mendinginkan air, dan berbagai jenis *Cooling Tower* seperti tipe hiperboloid yang dipatenkan oleh Frederik van Iterson dan Petronelle Kuypers pada tahun 1929 telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri modern (Afshari & Dehghanpou, 2019). Sistem *Wet Cooling Tower* mampu menghasilkan pendinginan hingga 20°C lebih rendah dibanding radiator konvensional dan memberikan potensi penghematan energi serta pengurangan emisi karbon (Hamon, 2020).

Setiap *Cooling Tower* memiliki tipe *filler* yang berbeda sesuai desain manufaktur dan kebutuhan operasionalnya. Umur *filler* umumnya bervariasi, dan kondisi *filler* dapat dinilai berdasarkan performa *Cooling Tower* maupun hasil inspeksi visual. Air dengan kandungan senyawa tertentu (seperti Ca^{2+} , Mg^{2+}) dapat menyebabkan *fouling* dan kebuntuan *filler* sehingga kinerjanya menurun. Beberapa *plant* menggunakan *chemical injector* untuk mengurangi potensi pembentukan deposit (Al-Bloushi *et al.*, 2017). Kondisi air sirkulasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi umur *filler* (AlSalhi *et al.*, 2022). *Filler* bukan komponen yang mudah ditukar dengan tipe lainnya, sehingga penggantian *filler* harus dilakukan dengan tipe yang direkomendasikan oleh manufaktur.

Filler merupakan komponen inti dalam sistem *Cooling Tower* yang berfungsi memperbesar luas permukaan kontak antara air dan udara, sehingga proses perpindahan panas dan evaporasi dapat berlangsung secara optimal. Keberadaan *filler* menentukan seberapa efektif *Cooling Tower* dalam menurunkan temperatur air pendingin yang akan digunakan kembali pada berbagai peralatan proses industri. Dalam industri *Petrochemical*, kinerja *filler* memiliki peran yang sangat kritis karena sebagian besar panas proses dilepas melalui *cooling tower*. Oleh karena itu, pemilihan desain *filler* yang tepat menjadi faktor penting dalam pencapaian efisiensi energi dan stabilitas operasi *plant*.

Seiring berkembangnya teknologi *Cooling Tower*, *filler* tipe *corrugated film* menjadi salah satu desain yang paling banyak digunakan dan diteliti. *Filler* ini tersusun atas lembaran PVC yang dibentuk dengan pola bergelombang (*corrugated*) dan disusun saling bersilangan untuk menciptakan jalur aliran air dan udara yang panjang, berliku, dan merata. Struktur bergelombang ini meningkatkan luas permukaan basah (*wetted surface area*), memperbaiki distribusi air, serta menciptakan turbulensi mikro yang memperbesar koefisien perpindahan panas. Efek ini menyebabkan efektivitas pendinginan meningkat secara signifikan dibandingkan *filler* tipe *splash* konvensional (Liao *et al.*, 2024).

Penelitian lain menunjukkan bahwa *filler corrugated* mampu meningkatkan laju evaporasi akibat terbentuknya *thin film* pada permukaan *filler*, yang memungkinkan air menyebar secara merata sehingga proses perpindahan panas berlangsung lebih efektif. *Filler* ini juga dirancang untuk mengurangi terbentuknya *dry spots* yang sering muncul pada *filler* dengan desain sederhana, sehingga kehilangan kapasitas pendinginan dapat diminimalkan. Penelitian yang pernah dilakukan menyatakan bahwa kombinasi pola *corrugated* dan sudut kemiringan antar lembaran *filler* dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas hingga lebih dari 20% dibandingkan desain generasi sebelumnya (Hashemi *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, peningkatan efektivitas perpindahan panas tersebut memiliki konsekuensi berupa kenaikan hambatan aliran udara (*air-side pressure drop*). Struktur *corrugated* yang rapat menyebabkan aliran udara mengalami lebih banyak hambatan, yang dapat meningkatkan konsumsi energi *fan*. Oleh karena itu, optimasi desain *filler* harus mempertimbangkan keseimbangan antara peningkatan efektivitas perpindahan panas dengan penalti energi akibat peningkatan tekanan udara. Dalam konteks manajemen energi, faktor ini menjadi penting karena *Cooling Tower* merupakan peralatan yang beroperasi 24 jam dan konsumsi energi *fan* berkontribusi langsung terhadap biaya operasional.

Selain itu, *filler corrugated* juga rentan terhadap *fouling*, *scaling*, dan *clogging* karena permukaan gelombangnya memiliki area luas yang dapat menangkap partikel terlarut maupun biologis. Dalam industri *Petrochemical*,

kualitas air *Cooling Tower* sangat dipengaruhi oleh kondisi proses, kontaminan, dan bahan kimia yang digunakan. Penelitian Al-Bloushi *et al.*, (2017) menunjukkan bahwa *fouling* pada *filler corrugated* dapat menurunkan kapasitas pendinginan hingga 30% jika tidak dilakukan pengendalian air yang memadai. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun *filler corrugated* memiliki performa termal yang unggul, desainnya membutuhkan manajemen air dan jadwal perawatan yang tepat untuk mempertahankan kinerjanya.

Sejak tahun 1960, berbagai manufaktur dunia seperti Hamon, Munters, dan Brentwood telah mengembangkan *filler corrugated* generasi baru yang mampu mengurangi *pressure drop* sekaligus meningkatkan kapasitas pendinginan melalui modifikasi geometri, penggunaan material dengan kekasaran rendah, serta peningkatan pola aliran silang (*cross-fluted design*). Perkembangan ini digunakan untuk mendukung peningkatan efisiensi energi *plant*, sebagaimana dilaporkan oleh AlSalhi *et al.*, (2022) yang menyatakan bahwa penggantian *filler* konvensional ke *corrugated* generasi baru dapat meningkatkan performa sekaligus menurunkan konsumsi energi total sistem.

Dalam konteks efisiensi energi pada industri *Petrochemical*, peningkatan performa *Cooling Tower* melalui penggunaan *filler corrugated* menjadi sangat signifikan. Penurunan temperatur air pendingin hanya 1–2 °C mampu menurunkan konsumsi energi pada *compressor*, *chiller*, dan *heat exchanger* secara kumulatif. Oleh karena itu, penggunaan *filler corrugated* bukan hanya strategi peningkatan kapasitas pendinginan, tetapi juga langkah strategis dalam penghematan energi dan pengurangan biaya operasional jangka panjang.

Dengan demikian, *filler corrugated* memegang peran penting dalam optimalisasi *Cooling Tower* karena mampu meningkatkan perpindahan panas, efisiensi evaporasi, dan performa keseluruhan sistem pendinginan. Namun, peningkatan performa ini harus dikelola dengan memperhatikan *pressure drop*, potensi *fouling*, serta kondisi operasional *plant*. Penggantian *filler* menjadi tipe *corrugated* generasi baru seperti *cleanflow plus* menjadi salah satu pendekatan yang sangat relevan dalam mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan operasi industri *Petrochemical*.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berfokus pada optimalisasi *Cooling Tower* melalui penggantian tipe *filler* eksisting *cleanflow* menjadi

cleanflow plus. Penggantian *filler* ini berpotensi meningkatkan performa, yaitu kemampuan *Cooling Tower* dalam menangani beban panas pada kondisi operasi tertentu. Peningkatan performa diharapkan mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas, menurunkan hambatan aliran udara, dan memberikan penghematan energi pada sistem secara keseluruhan. Optimalisasi ini juga berpotensi memperpanjang umur peralatan dan meminimalkan gangguan operasional, sehingga mendukung produktivitas *plant petrochemical* secara menyeluruh.

Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi gap penelitian terkait strategi peningkatan performa *Cooling Tower* melalui penggantian tipe *filler* yang tepat, serta untuk mendukung efisiensi energi, keberlanjutan operasional, dan peningkatan keandalan sistem pendinginan dalam industri *Petrochemical*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang diterangkan di atas, maka terdapat pertanyaan penelitian yang dikemukakan yaitu:

1. Bagaimana analisis fisik terhadap *filler Cleanflow* dan *Cleanflow plus* sehingga dapat meningkatkan performa *Cooling Tower*?
2. Bagaimanakah performa *Cooling Tower* dengan tipe *filler Cleanflow* dibandingkan *Cleanflow plus*?
3. Bagaimana kondisi evaporasi *Cooling Tower* dengan tipe *filler Cleanflow* dibandingkan *Cleanflow plus*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis perbedaan fisik *filler cleanflow* dan *cleanflow plus*.
2. Untuk menganalisis performa *Cooling Tower* dengan tipe *filler cleanflow* dibandingkan *cleanflow plus*
3. Untuk menganalisis evaporasi *Cooling Tower* dengan tipe *filler cleanflow* dibandingkan *cleanflow plus*

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini untuk mengisi kekosongan penelitian dari penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan, sehingga jika dengan cara penggantian tipe *filler* dapat merubah kinerja *Cooling Tower* ke arah positif, *Cooling Tower* di *plant* lainnya juga dapat melakukan hal serupa.

Dari penelitian ini *plant* yang menggunakan peralatan *Cooling Tower* dapat memilih cara paling efisien untuk melakukan peningkatan performa *Cooling Tower*, sehingga perubahan kinerja *Cooling Tower* yang diinginkan tercapai.

1.5 Orisinalitas Penelitian

Tabel 1.1 Orisinalitas Penelitian

No	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Fokus Penelitian
1	Navarro, 2023.	<i>Effect of Fill Length and Distribution System on The Thermal Performance Of an Inverted Cooling Tower.</i>	a. Menganalisis pengaruh posisi manifold terhadap kinerja termal <i>Cooling Tower</i>; manifold atas memberikan performa terbaik (24–37% lebih tinggi). b. Mengevaluasi efek variasi panjang <i>fill</i> (1,6 m paling optimal, peningkatan performa hingga $\pm 25\%$). c. Mengkaji peran distribusi air dan konfigurasi <i>nozzle</i> terhadap keseragaman aliran. d. Validasi model prediktif menggunakan korelasi ASHRAE dan metode Poppe; selisih prediksi sangat kecil ($\approx 0,37^\circ\text{C}$). e. Rekomendasi pengembangan berikutnya meliputi optimasi <i>nozzle</i>, <i>fill pack</i>, distribusi

			manifold, dan efisiensi energi sistem pompa.
2	Wheeler, 2020	<i>Review of New 2019 CTI ATC 105 Acceptance Test Code for Cooling Towers</i>	a. Mengulas perubahan standar CTI ATC-105 edisi 2019 dibanding versi 2000. b. Menyimpulkan bahwa prosedur pengujian inti (<i>Core Test Procedures</i>) tidak mengalami perubahan signifikan. c. Memperjelas batasan kondisi pengujian, batas waktu pengambilan data, serta spesifikasi ketelitian instrumen. d. Menegaskan standarisasi metode pengukuran <i>wet bulb</i> agar konsisten pada industri <i>Cooling Tower</i>.
3	Anggraini, 2020.	Optimasi pada <i>Cooling Tower</i> menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> .	a. Menerapkan <i>Response Surface Methodology</i> (Box-Behnken) untuk optimasi performa <i>Cooling Tower</i> PLTP Kamojang Unit 2. b. Meningkatkan efisiensi eksergi dari 51,10% menjadi 62,10% melalui kombinasi parameter <i>input-output</i>. c. Menentukan kondisi optimal: • $T_{in} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ • $T_{out} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ • $T_{wb} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ • Debit air $\approx 3150\text{ kg/s}$ d. Memprediksi debit maksimal <i>output</i> air sebesar 3184,18 kg/s.

4	Bhuva, 2018.	<i>Improvement in the Performance of Cooling Tower of Thermal Power Plant: A Review</i>	a. Mengidentifikasi bagaimana buruknya manajemen air pendingin menyebabkan kenaikan biaya operasional dan kerusakan peralatan mahal. b. Menjelaskan peran program <i>water treatment</i> yang tepat untuk mengurangi <i>fouling</i>, <i>scaling</i>, dan korosi. c. Menekankan bahwa pengelolaan kualitas air dan kontrol kimia yang baik meningkatkan keandalan <i>Cooling Tower</i> dan menurunkan biaya jangka panjang. d. Menyoroti pentingnya operasi dan <i>maintenance</i> sebagai kunci peningkatan performa sistem pendinginan.
5	Qalbi, 2024.	Analisis Efektivitas <i>Cooling Tower</i> Sebelum dan Sesudah Pergantian <i>Filler Pack</i>	a. Mengevaluasi performa <i>Cooling Tower</i> sebelum dan sesudah pergantian <i>filler pack</i>. b. Efektivitas meningkat dari 68% menjadi 72% setelah pergantian. c. <i>Cooling load</i> meningkat, menandakan proses pelepasan panas lebih efektif. d. Temperatur air <i>outlet</i> turun hingga ± 2 °C setelah pergantian <i>filler</i>.

Efek dari kinerja *Cooling Tower* yang optimal memiliki dampak signifikan terhadap konsumsi energi, seperti halnya efisiensi Transfer panas yang tinggi dalam *Cooling Tower* yang beroperasi secara optimal mengurangi beban pada sistem pendingin tambahan, sehingga mengurangi kebutuhan

energi untuk pendinginan lebih lanjut. Maka dari itu penelitian ini akan mengimplementasikan perencanaan untuk melakukan peningkatan performa *Cooling Tower* dengan cara penggantian tipe *filler* pada desain eksisting.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan pengetahuan dan praktik optimasi sistem pendinginan di industri *petrochemical*, khususnya melalui penggantian tipe *filler* pada *Cooling Tower*. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan data empiris yang menunjukkan kinerja *Cooling Tower* menggunakan *filler* eksisting dengan *Cooling Tower* yang sudah diganti tipe *filler* nya, sehingga memberikan gambaran nyata mengenai dampak perubahan komponen internal terhadap performa sistem pendinginan. Penelitian ini juga mengisi kekosongan literatur terkait pemanfaatan *filler corrugated* generasi baru pada *Cooling Tower* industri *petrochemical* di Indonesia, yang hingga saat ini masih terbatas pembahasannya.

Dengan penelitian ini, jika hasilnya positif serta performa meningkat, maka sangat memungkinkan jika dapat dilakukan peningkatan performa *Cooling Tower* pada *plant* lainnya dengan cara melakukan penggantian tipe *filler*.