PENINGKATAN EFISIENSI PADA *DIRECT CONTACT AIR COOLER* DENGAN MENURUNKAN *TEMPERATURE OUTLET* UDARA

Narendra Indika Irawan[1*], Haris Numan Aulia[1]

Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan gajah mada No. 38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315
**E-mail*: narendramadridsta39@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi pendinginan pada unit *Direct Contact Air Cooler* merupakan faktor penting dalam menjaga kestabilan operasi pabrik *Air Separation Unit (ASU)*, khususnya sebelum udara kompresi masuk ke *Molecular Sieve Adsorber (MS Adsorber)*. Udara kompresi yang masuk ke *MS Adsorber* harus memiliki temperatur di bawah 9°C agar proses adsorpsi H_2O dan CO_2 berlangsung efektif serta tidak membebani sistem pemurnian udara. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pendinginan pada unit *Direct Contact Air Cooler* dengan menurunkan temperature outlet udara melalui optimasi *flow rate chilling water*. Metode penelitian dilakukan melalui observasi data operasi dan simulasi proses menggunakan Aspen HYSYS menggunakan fluid package Peng Robinson dengan variasi *flow rate chilling water*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan flow rate chilling water berpengaruh langsung terhadap penurunan temperature outlet udara. Pada kondisi awal, flow rate chilling water sebesar 10.700 m^3/h menghasilkan temperature outlet udara 8,87°C. Setelah flow rate dinaikkan menjadi 12.700 m^3/h, temperature outlet udara turun menjadi 7,65°C dan ditetapkan sebagai kondisi optimum. Kondisi ini memberikan margin pendinginan yang lebih aman terhadap batas inlet MS Adsorber, mengurangi beban adsorpsi, serta mendukung kestabilan proses pemisahan udara secara keseluruhan. Dengan demikian, optimasi flow rate chilling water dapat menjadi langkah efektif untuk meningkatkan performa pendinginan dan keandalan operasi ASU.

Kata kunci: ***Direct Contact Air Cooler, chilling water, temperature outlet udara, MS Adsorber, Aspen HYSYS***

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas memiliki peran penting dalam penyediaan energi dan mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Dalam proses pengolahan minyak dan gas, berbagai peralatan proses bekerja secara berkelanjutan untuk menjaga kualitas produk, keselamatan operasi, serta efisiensi energi. Salah satu aspek penting dalam operasi industri ini adalah sistem pendinginan. Sistem pendinginan berfungsi menjaga suhu fluida, gas, maupun udara proses agar tetap berada pada kondisi operasi yang aman dan sesuai kebutuhan proses.

Efisiensi sistem pendinginan menjadi faktor penting karena berhubungan langsung dengan konsumsi energi, performa peralatan, dan stabilitas proses produksi. Pendinginan yang tidak optimal dapat menyebabkan kenaikan suhu operasi, penurunan kinerja peralatan, peningkatan beban kerja unit pendukung, serta potensi gangguan pada proses berikutnya. Oleh karena itu, pengendalian suhu pada sistem pendinginan perlu dilakukan secara tepat agar proses produksi berjalan stabil, aman, dan ekonomis.

Salah satu unit yang digunakan pada proses pendinginan adalah *Direct Contact Air Cooler*. Unit ini bekerja dengan prinsip kontak langsung antara udara panas dan media pendingin sehingga terjadi perpindahan panas dari udara ke media pendingin. Proses kontak langsung ini memungkinkan pertukaran panas berlangsung lebih cepat dan efisien karena udara dan media pendingin tidak dipisahkan oleh dinding perpindahan panas. Dengan demikian, kinerja unit sangat dipengaruhi oleh efektivitas kontak antara kedua fase, kondisi operasi dan kemampuan sistem dalam menurunkan suhu udara keluaran.

Suhu udara keluaran atau temperature outlet udara menjadi salah satu parameter utama dalam menilai kinerja Direct Contact Air Cooler. Semakin rendah suhu udara keluaran yang dihasilkan, maka semakin baik kemampuan unit dalam membuang panas dari aliran udara proses. Sebaliknya, suhu udara keluaran yang masih tinggi menunjukkan bahwa proses pendinginan belum berlangsung secara optimal. Kondisi ini dapat disebabkan oleh laju alir media pendingin yang kurang sesuai, distribusi aliran yang tidak merata, waktu kontak yang kurang, atau kondisi media pendingin yang tidak efektif dalam menyerap panas.

Dalam praktik operasional, Direct Contact Air Cooler sering menghadapi kendala berupa penurunan efisiensi pendinginan. Hal ini dapat terjadi ketika suhu udara keluaran tidak mencapai target operasi yang diharapkan. Jika suhu udara keluaran terlalu tinggi, maka beban pendinginan pada unit berikutnya dapat meningkat dan konsumsi energi menjadi lebih besar. Selain itu, kondisi tersebut juga dapat menurunkan keandalan proses karena peralatan harus bekerja pada suhu yang lebih tinggi dari kondisi ideal.

Upaya peningkatan efisiensi pendinginan dapat dilakukan dengan menurunkan suhu udara keluaran melalui pengaturan variabel operasi. Beberapa variabel yang dapat memengaruhi suhu udara keluaran antara lain laju alir media pendingin, suhu media pendingin masuk, laju alir udara, waktu kontak, tekanan operasi, serta efektivitas distribusi aliran di dalam unit. Pengaturan variabel tersebut perlu dilakukan secara tepat agar proses perpindahan panas berlangsung lebih maksimal tanpa menimbulkan pemborosan energi maupun penggunaan media pendingin yang berlebihan.

Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi pendinginan pada unit Direct Contact Air Cooler melalui penurunan suhu udara keluaran dengan mengatur flowrate chilling water. Analisis dilakukan menggunakan Aspen HYSYS dengan meninjau hubungan antara kondisi operasi unit dan perubahan suhu udara keluaran. Penurunan suhu udara keluaran digunakan sebagai indikator utama untuk menilai keberhasilan peningkatan kinerja pendinginan. Dengan pendekatan ini, penelitian dapat memberikan gambaran mengenai kondisi operasi yang lebih efektif dalam meningkatkan performa Direct Contact Air Cooler.

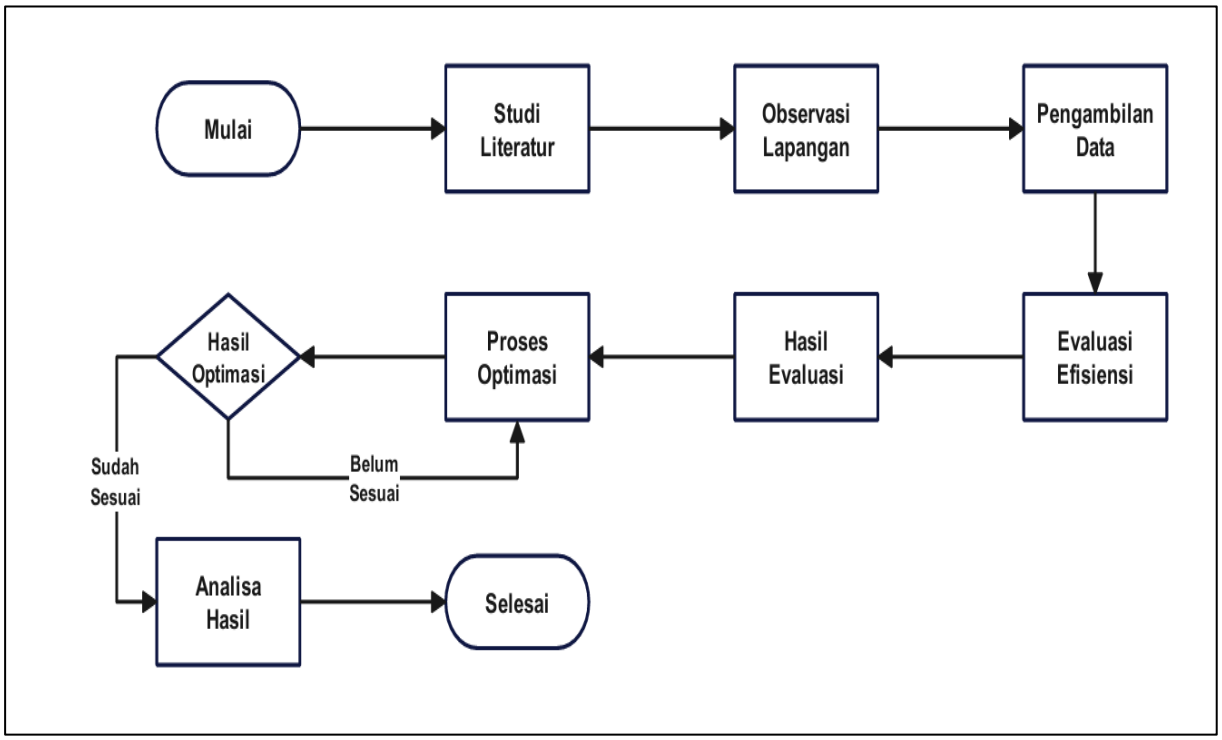
Selain aspek teknis, peningkatan efisiensi pendinginan juga memiliki nilai ekonomi bagi industri. Unit pendingin yang bekerja lebih efisien dapat membantu mengurangi beban energi, menekan biaya operasional, serta meningkatkan keandalan proses produksi. Oleh karena itu, optimasi kinerja Direct Contact Air Cooler tidak hanya penting dari sisi proses, tetapi juga dari sisi keberlanjutan operasi dan efisiensi biaya.

Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengoperasian unit Direct Contact Air Cooler secara lebih efektif. Penurunan suhu udara pada outlet diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pendinginan, menjaga kestabilan operasi, serta

mendukung proses produksi yang aman, hemat energi, dan berkelanjutan. Dengan pengaturan kondisi operasi yang tepat, unit Direct Contact Air Cooler dapat berperan lebih optimal dalam sistem pendinginan industri minyak dan gas.

2. METODE

Metodologi penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, observasi lapangan, pengumpulan data operasi, evaluasi kondisi aktual, analisis efisiensi pendinginan, optimasi suhu udara keluaran, hingga penarikan kesimpulan. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memperoleh hasil analisis yang valid terhadap peningkatan efisiensi pendinginan pada unit Direct Contact Air Cooler di pabrik Air Separation Unit.



Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

Pertama penelitian diawali dengan studi literatur. Hal ini bertujuan memperoleh pemahaman tentang proses produksi pada Air Separation Unit, sistem pendinginan udara hasil kompresi, prinsip kerja Direct Contact Air Cooler dan fungsi Molecular Sieve Adsorber dalam proses pemurnian udara. Literatur yang dikaji meliputi buku teks, jurnal ilmiah, buku manual operasi, dan referensi industri yang berkaitan dengan proses pendinginan udara bertekanan, perpindahan panas, perpindahan massa, serta pengaruh suhu terhadap kinerja adsorpsi H_2O dan CO_2 pada MS Adsorber. Hal ini penting karena suhu udara keluaran dari Direct Contact Air Cooler menjadi salah satu parameter utama yang memengaruhi efektivitas penyerapan H_2O dan CO_2 sebelum udara masuk ke tahap pemisahan kriogenik.

Selanjutnya dilakukan observasi lapangan pada unit Direct Contact Air Cooler di pabrik Air Separation Unit. Observasi ini bertujuan memperoleh gambaran aktual mengenai kondisi

operasi unit pendingin udara sebelum masuk ke MS Adsorber. Pada proses Air Separation Unit, udara atmosfer terlebih dahulu dikompresi oleh kompresor. Proses kompresi menyebabkan suhu udara meningkat. Udara panas tersebut kemudian dialirkan menuju Direct Contact Air Cooler untuk diturunkan temperaturnya melalui kontak langsung dengan air pendingin. Setelah melewati unit pendingin, udara masuk ke MS Adsorber untuk menghilangkan kandungan H_2O dan CO_2 sebelum menuju proses pemisahan kriogenik.

Pada tahap pengumpulan data, parameter operasi aktual dicatat sebagai data masukan simulasi. Data yang digunakan meliputi suhu udara masuk Direct Contact Air Cooler, suhu udara keluar Direct Contact Air Cooler, tekanan udara, laju alir udara, suhu air pendingin masuk, suhu air pendingin keluar, laju alir air pendingin, serta data kandungan H_2O dan CO_2 sebelum dan sesudah MS Adsorber apabila tersedia. Data tersebut digunakan untuk membangun model simulasi pada perangkat lunak Aspen HYSYS. Pada simulasi ini fluid package yang digunakan adalah peng robinson. Fluid package Peng Robinson (PR) direkomendasikan pada simulasi air separation di Aspen HYSYS karena mampu merepresentasikan perilaku termodinamika campuran gas nonpolar seperti nitrogen (N_2), oksigen (O_2), dan argon (Ar) pada kondisi tekanan tinggi dan temperatur kriogenik. Proses pemisahan udara menggunakan cryogenic distillation yang beroperasi pada temperatur sekitar −170°C hingga −190°C, sehingga perilaku fluida tidak lagi mengikuti asumsi gas ideal dan membutuhkan model persamaan keadaan yang mampu menghitung kesetimbangan uap-cair, fugacity, entalpi, serta perubahan fase secara akurat. Peng Robinson memiliki kemampuan prediksi yang baik untuk sistem gas ringan nonpolar dan banyak digunakan pada proses kriogenik karena mampu menangani perubahan tekanan dan temperatur pada unit seperti kompresor, cooler, valve ekspansi, dan kolom distilasi. Selain itu, perbedaan titik didih nitrogen, argon, dan oksigen yang relatif kecil membutuhkan model termodinamika dengan akurasi tinggi dalam perhitungan kesetimbangan fase agar prediksi kemurnian produk lebih tepat. Berdasarkan karakteristik komponen udara, kondisi operasi kriogenik, dan kebutuhan simulasi kesetimbangan fase, Peng Robinson menjadi pilihan yang sesuai untuk memodelkan proses air separation pada Aspen HYSYS. Selain itu, data aktual dari plant digunakan sebagai dasar validasi agar model simulasi dapat merepresentasikan kondisi operasi sebenarnya. Proses optimasi dilakukan dengan memvariasikan kondisi operasi pada unit Direct Contact Air Cooler menggunakan Aspen HYSYS. Variabel utama yang dianalisis adalah laju alir air pendingin, suhu air pendingin masuk, serta rasio antara laju alir air pendingin dan laju alir udara. Setiap variasi disimulasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap suhu udara keluaran. Selama proses optimasi, beberapa parameter seperti tekanan operasi, laju alir udara, dan suhu udara masuk dapat dijaga tetap agar pengaruh perubahan variabel pendinginan dapat diamati secara lebih jelas.

Hasil optimasi dari Aspen HYSYS kemudian dibandingkan dengan kondisi operasi awal. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan suhu udara keluaran, peningkatan efisiensi pendinginan, dan perubahan beban panas yang dapat dicapai. Hasil tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar hubungan antara perubahan variabel operasi dan suhu udara keluaran dapat terlihat dengan jelas. Grafik yang dapat digunakan antara lain hubungan laju alir air pendingin terhadap suhu udara keluaran, hubungan suhu air

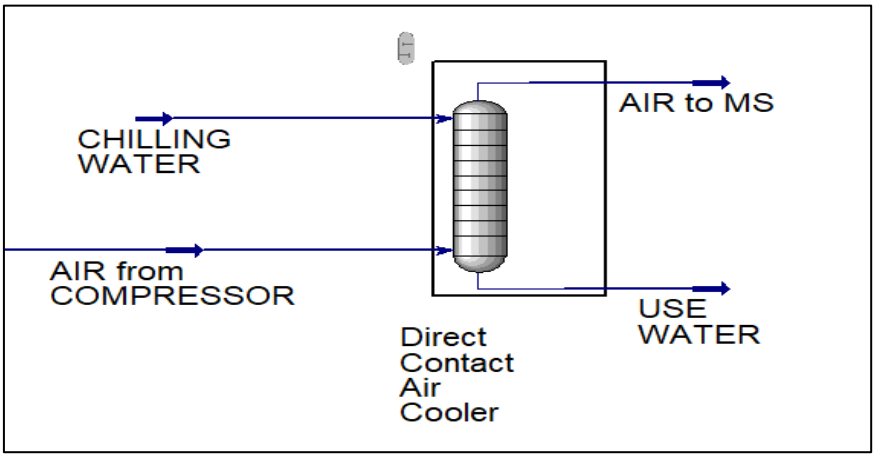
pendingin masuk terhadap suhu udara keluaran, serta hubungan variasi operasi terhadap efisiensi pendinginan.

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil simulasi dan optimasi menggunakan Aspen HYSYS. Kesimpulan mencakup kondisi aktual kinerja Direct Contact Air Cooler, pengaruh perubahan variabel operasi terhadap suhu udara keluaran, kondisi operasi terbaik hasil simulasi, serta dampak penurunan suhu udara keluaran terhadap kinerja MS Adsorber. Selain itu, saran diberikan untuk penelitian selanjutnya, seperti analisis variasi desain internal Direct Contact Air Cooler, evaluasi distribusi air pendingin, pengaruh kondisi ambient, serta kajian lebih lanjut terhadap performa adsorben dalam menyerap H_2O dan CO_2.

3. PEMBAHASAN

A. Parameter Pengukuran

Untuk mengukur keberhasilan, keakuratan, dan reliabilitas program simulasi yang digunakan dalam penelitian ini, perlu dilakukan perbandingan antara kondisi aktual plant dengan hasil simulasi menggunakan Aspen HYSYS. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat dan mengonfirmasi bahwa model simulasi yang dibuat mampu mereplikasi kondisi nyata pada unit Direct Contact Air Cooler sesuai dengan spesifikasi operasi awal, serta menentukan kondisi proses pendinginan yang paling optimal. Metode perbandingan yang dipilih adalah dengan membandingkan pengaruh laju flowrate air pendingin terhadap penurunan temperature outlet udara pada unit Direct Contact Air Cooler. Udara hasil kompresi memiliki temperatur tinggi sebelum masuk ke MS Adsorber, sehingga perlu didinginkan terlebih dahulu. Apabila temperatur udara yang masuk ke MS Adsorber masih tinggi, maka proses penyerapan kadar H_2O dan CO_2 tidak akan berjalan maksimal. Oleh karena itu, parameter utama yang diukur dalam penelitian ini adalah perubahan temperature outlet udara akibat variasi flowrate air pendingin. Semakin rendah temperature outlet udara yang dihasilkan, maka semakin baik efisiensi pendinginan pada Direct Contact Air Cooler. Hasil dari setiap variasi simulasi kemudian dibandingkan untuk menentukan kondisi operasi yang paling optimal sebelum udara masuk ke MS Adsorber. Detail aliran proses pada Direct Contact Air Cooler menggunakan Aspen HYSYS ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi *Direct Contact Air Cooler* Pada Aspen Hysys

B. Hasil Penelitian

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, hubungan antara flow rate chilling water dan temperature outlet udara pada unit Direct Contact Air Cooler didapatkan hasil bahwa peningkatan laju alir chilling water akan berpengaruh langsung pada penurunan temperatur udara keluar yang keluar dari Direct Contact Air Cooler. Sistem pendinginan ini bekerja dengan prinsip berkontakan langsung antara udara panas dengan air pendingin atau chilling water, sehingga semakin besar debit atau flowrate chilling water maka akan semakin besar pula kemampuan sistem dalam proses penyerapan panas dari udara. Perbandingan antara *flowrate Chilling Water* pada suhu outlet DCAC disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan antara *flowrate Chilling Water* pada suhu outlet DCAC

Flow Rate Chilling Water (m3/h)	T CW in (°C)	T CW out (°C)	T Air in (°C)	T Air out (°C)	Status Flow Rate Chilling Water	Heat Flow (kj/hr)
5700	7	27.63	35	17.55	Reduced	450.123.457
6700	7	27.53	35	15.74	Reduced	550.312.336
7700	7	27.47	35	13.85	Reduced	650.635.556
8700	7	27.33	35	12.03	Reduced	740.745.557
9700	7	27	35	10.12	Reduced	810.921.235
10700	**7**	**26.36**	**35**	**8.87**	**Initial**	**861.116.669**
11700	7	25.39	35	8.11	Improved	901.141.237
12700	**7**	**24.36**	**35**	**7.65**	**Optimum**	**925.348.465**
13700	7	23.34	35	7.26	Improved	915.035.171
14700	7	22.26	35	7.02	Improved	900.257.134

Pada kondisi awal, flow rate chilling water berada pada 10.700 m³/h dengan temperatur udara masuk sebesar 35°C dan temperatur udara keluar sebesar 8,87°C. Nilai ini menjadi kondisi awal sistem sebelum dilakukan peningkatan efisiensi pendinginan. Ketika flow rate chilling water dinaikkan menjadi 11.700 m³/h, temperatur outlet udara turun menjadi 8,11°C, sehingga menunjukkan adanya peningkatan kemampuan pendinginan.

Hasil terbaik berdasarkan status pengamatan diperoleh pada flow rate 12.700 m³/h, dengan temperatur outlet udara sebesar 7,65°C. Kondisi ini dikategorikan sebagai optimum karena mampu menurunkan temperatur udara secara signifikan dibandingkan kondisi awal, namun masih berada pada rentang operasi yang efisien. Dibandingkan kondisi awal, terjadi penurunan temperatur sebesar 1,22°C dari 8,87°C menjadi 7,65°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan debit chilling water dapat memperbaiki proses perpindahan panas antara udara dan air pendingin.

Pada flow rate yang lebih tinggi, yaitu 13.700 m³/h dan 14.700 m³/h, temperatur outlet udara memang masih mengalami penurunan hingga masing-masing 7,26°C dan 7,02°C. Namun, kondisi tersebut tidak ditetapkan sebagai kondisi optimum karena penurunan temperatur yang diperoleh relatif semakin kecil dibandingkan tambahan laju alir air pendingin

yang dibutuhkan. Dengan kata lain, peningkatan flow rate setelah titik optimum memberikan efek pendinginan tambahan, tetapi manfaatnya mulai berkurang dari sisi efisiensi operasional.

Sebaliknya, pada flow rate yang lebih rendah dari kondisi awal, yaitu 5.700–9.700 m^3/h, temperatur outlet udara berada pada rentang 17,55°C hingga 10,12°C. Kondisi ini dikategorikan sebagai reduced karena kapasitas pendinginan belum mencukupi untuk menghasilkan temperatur outlet udara yang rendah. Semakin kecil flow rate chilling water, semakin terbatas kemampuan air pendingin dalam menyerap panas, sehingga temperatur udara keluar menjadi lebih tinggi.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan flow rate chilling water berpengaruh positif terhadap efisiensi pendinginan pada unit Direct Contact Air Cooler. Flow rate 12.700 m^3/h merupakan kondisi operasi yang paling tepat karena menghasilkan temperatur outlet udara yang rendah, yaitu 7,65°C, dengan status optimum. Kondisi ini dapat digunakan sebagai acuan operasi untuk meningkatkan performa pendinginan, menjaga kestabilan temperatur udara keluar, serta mendukung efisiensi kerja unit secara keseluruhan.

Pada pabrik Air Separation Unit (ASU), temperatur udara kompresi yang keluar dari unit Direct Contact Air Cooler sangat berpengaruh terhadap kinerja Molecular Sieve Adsorber (MS Adsorber). MS Adsorber berfungsi untuk menyerap kandungan pengotor seperti uap air, karbon dioksida, dan komponen minor lain sebelum udara masuk ke bagian cold box. Oleh karena itu, udara kompresi yang masuk ke MS Adsorber harus berada pada temperatur rendah dan stabil, yaitu di bawah 9°C, agar proses adsorpsi berlangsung lebih efektif.

Berdasarkan data hasil pengamatan, kondisi awal pada flow rate chilling water 10.700 m^3/h menghasilkan temperature outlet udara sebesar 8,87°C. Nilai ini sudah memenuhi batas operasi MS Adsorber karena berada di bawah 9°C, namun selisihnya masih sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,13°C dari batas maksimum. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem masih beroperasi dalam batas aman, tetapi belum memiliki margin pendinginan yang cukup besar apabila terjadi fluktuasi beban panas, kenaikan temperatur lingkungan, atau perubahan performa cooling system.

Ketika flow rate chilling water ditingkatkan menjadi 12.700 m^3/h, temperature outlet udara turun menjadi 7,65°C. Kondisi ini memberikan margin pendinginan yang lebih baik terhadap batas maksimum inlet MS Adsorber, yaitu sekitar 1,35°C di bawah 9°C. Dengan temperatur udara yang lebih rendah, beban kerja MS Adsorber dalam menyerap uap air menjadi lebih ringan karena kandungan moisture pada udara kompresi dapat ditekan sebelum masuk ke adsorber. Hal ini membantu menjaga kapasitas adsorpsi molecular sieve, memperpanjang efektivitas siklus operasi, serta mengurangi risiko breakthrough moisture atau CO_2 ke sistem downstream.

Pada flow rate di bawah kondisi awal, yaitu 5.700–9.700 m^3/h, temperature outlet udara masih berada pada rentang 17,55°C hingga 10,12°C. Temperatur tersebut belum memenuhi persyaratan inlet MS Adsorber karena masih berada di atas 9°C. Jika udara dengan temperatur tersebut masuk ke MS Adsorber, maka beban adsorpsi akan meningkat, terutama terhadap kandungan uap air. Kondisi ini dapat menyebabkan media molecular sieve lebih cepat jenuh, meningkatkan frekuensi regenerasi, dan berpotensi menurunkan stabilitas proses pemurnian udara sebelum masuk ke cold box.

Meskipun pada flow rate 13.700 m³/h dan 14.700 m³/h temperatur outlet udara dapat diturunkan lebih lanjut menjadi 7,26°C dan 7,02°C, penurunan tersebut tidak ditetapkan sebagai kondisi optimum. Hal ini karena tambahan penurunan temperatur yang diperoleh relatif kecil dibandingkan kenaikan flow rate chilling water yang dibutuhkan. Dengan demikian, flow rate 12.700 m³/h dinilai sebagai kondisi paling efisien karena sudah mampu menghasilkan temperatur outlet udara 7,65°C, memenuhi persyaratan masuk MS Adsorber, memberikan margin operasi yang aman, dan tetap mempertimbangkan efisiensi penggunaan chilling water.

Dengan tercapainya temperatur udara keluar di bawah 9°C, performa MS Adsorber dapat lebih terjaga. Udara yang lebih dingin membantu mengurangi beban pengotor yang harus ditangani adsorber, menjaga kualitas udara proses, serta mencegah gangguan pada sistem kriogenik ASU. Oleh karena itu, peningkatan flow rate chilling water pada Direct Contact Air Cooler tidak hanya berdampak pada penurunan temperature outlet udara, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap kestabilan operasi MS Adsorber dan keandalan proses pemisahan udara secara keseluruhan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, peningkatan flow rate chilling water pada unit Direct Contact Air Cooler terbukti berpengaruh pada penurunan temperature outlet udara. Semakin besar flow rate chilling water yang dialirkan maka semakin besar kemampuan sistem dalam menyerap panas dari udara kompresi, sehingga temperatur udara keluar menjadi lebih rendah.

Kondisi awal operasi berada pada flow rate 10.700 m³/h dengan temperature outlet udara sebesar 8,87°C. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan temperatur masuk MS Adsorber, yaitu di bawah 9°C, namun margin operasinya masih kecil. Setelah flow rate chilling water dinaikkan menjadi 12.700 m³/h, temperature outlet udara turun menjadi 7,65°C dan ditetapkan sebagai kondisi optimum. Pada kondisi ini, sistem memiliki margin pendinginan yang lebih aman terhadap batas maksimum inlet MS Adsorber.

Penurunan temperature outlet udara hingga 7,65°C memberikan dampak positif terhadap kinerja MS Adsorber. Udara kompresi yang lebih dingin dapat mengurangi beban adsorpsi terhadap uap air dan pengotor lain, sehingga media molecular sieve tidak cepat jenuh, proses pemurnian udara lebih stabil, dan risiko gangguan pada cold box dapat diminimalkan.

Meskipun flow rate 13.700 m³/h dan 14.700 m³/h mampu menghasilkan temperature outlet udara yang lebih rendah, yaitu 7,26°C dan 7,02°C, kondisi tersebut tidak dipilih sebagai titik optimum karena tambahan penurunan temperatur relatif kecil dibandingkan kenaikan kebutuhan chilling water. Oleh karena itu, flow rate 12.700 m³/h merupakan kondisi operasi yang paling efisien karena mampu memenuhi kebutuhan temperatur inlet MS Adsorber, meningkatkan efisiensi pendinginan, dan mendukung keandalan proses pada pabrik Air Separation Unit (ASU).

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Aspen Technology, Inc., Aspen HYSYS V14 Simulation Basis Guide. Burlington, MA, USA: Aspen Technology, Inc., 2022.

[2] Aspen Technology, Inc., Aspen HYSYS V14 User Guide. Burlington, MA, USA: Aspen Technology, Inc., 2022.

[3] W. F. Castle, "Air separation and liquefaction: Recent developments and prospects for the beginning of the new millennium," International Journal of Refrigeration, vol. 25, no. 1, pp. 158–172, 2022.

[4] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2020.

[5] C. J. Geankoplis, Transport Processes and Separation Process Principles, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2019.

[6] D. W. Green and M. Z. Southard, Eds., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2019.

[7] D. Q. Kern, Process Heat Transfer. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1950.

[8] F. G. Kerry, Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2007.

[9] W. L. McCabe, J. C. Smith, and P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2025.

[10] D. M. Ruthven, Principles of Adsorption and Adsorption Processes. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1984.

[11] A. Smith and J. Klosek, "A review of air separation technologies and their integration with energy conversion processes," Fuel Processing Technology, vol. 70, no. 2, pp. 115–134, 2021.

[12] P. C. Wankat, Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2018.

[13] R. T. Yang, Adsorbents: Fundamentals and Applications. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2023.

[14] R. T. Yang, Gas Separation by Adsorption Processes. Boston, MA, USA: Butterworths, 1987.