



**PENGARUH KONDISI OPERASI TERHADAP
PEMBENTUKAN FOULING FACTOR (R_d) PADA
KONDENSOR 61-127-C DI UNIT AMMONIA REFRIGERANT
PT. PUPUK ISKANDAR MUDA**

Salsabil Nabilah Anjani, Nasrul ZA*, Azhari, Syamsul Bahri, Novi Sylvia

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

* e-mail: nasrulza@unimal.ac.id

Abstrak

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan temperatur, heat duty, dan pressure drop terhadap nilai R_d pada alat penukar panas kondensor dengan menggunakan EDR serta membandingkan hasil data design dan aktual yang didapatkan. Aspen Exchanger Design and Rating (EDR) dapat digunakan untuk membuat, mengevaluasi dan menyimpan design serta memungkinkan untuk memaksimalkan desain untuk alat penukar panas yang dibutuhkan berdasarkan biaya. Metodologi yang dilakukan berupa pemodelan ulang proses pabrik ammonia II kemudian mengeksplor nilai yang telah didapatkan pada kondensor ke aplikasi EDR lalu lakukan rating/checking pada run mode, masukkan data laju alir, temperatur serta data geometri yang dibutuhkan. Kemudian dilakukan pengecekan (runing) dengan aplikasi tersebut, setelah hasil yang dibutuhkan didapatkan maka dilakukan pendataan. Hasil penelitian didapatkan bahwa selisih nilai Q design lebih besar daripada nilai Q pada data aktual (data I) yaitu sebesar 4.359.780 Kcal/h, sedangkan nilai R_d shell side design dan aktual sama yaitu 0,00009 m^2 K/W begitu pula dengan nilai R_d tube side design dan aktual didapatkan 0,00024 m^2 K/W. Didapatkan juga perbandingan nilai pressure drop pada kondisi design dan aktual pada sisi shell sebesar 0,585 Psi, sedangkan pada sisi tube pressure drop mengalami kenaikan dengan selisih antara data design dan aktual sebesar 3,145 Psi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai temperatur, maka nilai Q juga akan semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. Nilai R_d dipengaruhi oleh nilai U_c dan U_d , sehingga jika nilai U_c dan U_d rendah maka nilai R_d mengalami kenaikan yang disebabkan oleh suhu yang tertransfer kecil. Fouling factor yang tinggi dapat menyebabkan nilai pressure drop tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kinerja heat exchanger. Pressure drop di pengaruhi beberapa faktor lainnya yaitu kecepatan aliran massa fluida melalui tube, panjang tube, jumlah pass dan kebersihan air pendingin yang masuk kedalam kondensor.

Kata Kunci : Aspen Exchanger Design and Rating (EDR), Fouling, Heat Duty, Kondensor, Laju alir, Pressure Drop.

DOI : <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i3.8947>

1. Pendahuluan

Pada *shell & tube heat exchanger*, *fouling* dapat terjadi baik pada bagian dalam (*inner tube*) maupun luar *tube* (*outside tube*) dan dapat terjadi pula pada bagian dalam *shell*. *Fouling* juga dapat menyebabkan pengurangan *cross sectional area* (luas penampang melintang), dan meningkatkan *pressure drop*, sehingga dibutuhkan energi ekstra untuk pemompaan. *Fouling* pada *heat exchanger* tidak dapat dihindari, sehingga akan mempengaruhi produktivitas dan efisiensi dari *heat exchanger*.

Pengotoran ini dapat terjadi endapan dari fluida yang mengalir, juga disebabkan oleh korosi pada komponen dari alat penukar kalor akibat pengaruh dari jenis fluida yang dialirinya. Selama alat penukar kalor ini dioperasikan maka pengaruh pengotoran pasti akan terjadi. Terjadinya pengotoran tersebut dapat mengganggu atau mempengaruhi temperatur fluida mengalir dan dapat menurunkan atau mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida tersebut (Oktaviasari, 2018).

Pressure drop sendiri berpengaruh terhadap nilai *fouling factor* yang berpengaruh terhadap lajunya aliran fluida, dimana dengan semakin tingginya nilai *pressure drop* berarti hambatan atau nilai *fouling factor*nya akan semakin besar, dengan besarnya nilai *fouling* ini maka friksi didalam pipa akan semakin banyak. Jika hambatan semakin banyak maka perlu dilakukan pembersihan terhadap alat *heat exchanger*, agar kinerja dari *heat exchanger* tersebut dapat berjalan maksimal sehingga perpindahan panas yang terjadi berlangsung lebih baik dan optimal (Muzdalifah, 2021).

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. Pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell-tube* yang mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*. Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (*cooling tower*) untuk melepaskan kalor ke atmosfer, atau *once-through water* dari sungai, danau atau laut (Ihsan, 2019).

Kondensor *ammonia refrigerant unit* pada PT. Pupuk Iskandar Muda di *maintenance* setiap 18 bulan hingga 2 tahun. Kondensor ini sudah beroperasi selama 9 tahun, dimana terakhir di *maintenance* pada saat TA (*Turn Around*) bulan april 2021. Kondensor ini berfungsi untuk mengubah ammonia gas menjadi ammonia *liquid* dengan menggunakan air pendingin dari *cooling water*.

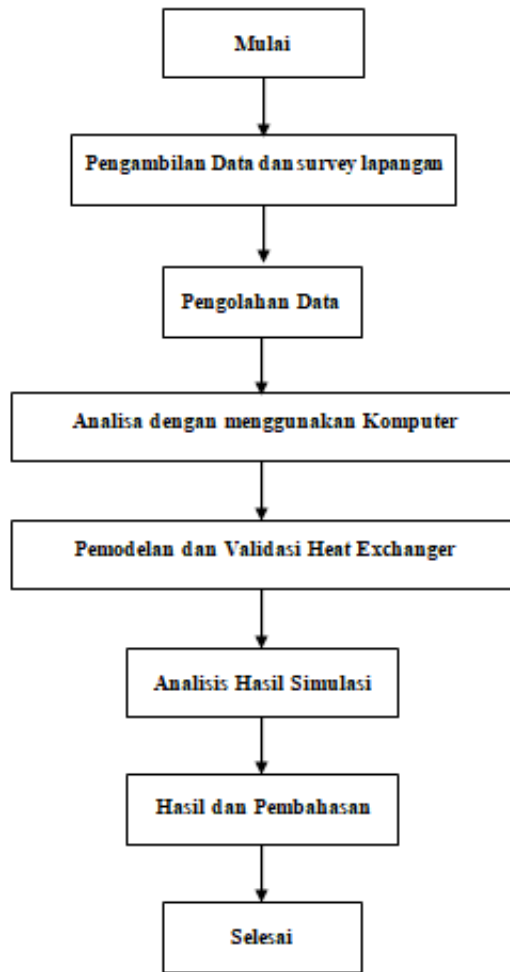
Penelitian pengaruh kondisi operasi terhadap pembentukan *fouling factor* ini telah banyak dilakukan, akan tetapi tidak banyak yang meneliti dengan menggunakan aplikasi *Exchanger Design and Rating* (EDR). Sehingga peneliti tertarik untuk melakukan penelitian pengaruh kondisi operasi terhadap pembentukan *fouling factor* dengan menggunakan aplikasi *Exchanger Design and Rating* (EDR).

Aplikasi Aspen *Exchanger Design and Rating* (EDR) dapat digunakan untuk membuat, mengevaluasi dan menyimpan *design* serta memungkinkan untuk memaksimalkan desain untuk alat penukar panas yang dibutuhkan berdasarkan biaya. Aplikasi selain dapat melakukan *rating/checking*, juga terdapat fungsi lainnya seperti *simulation* dan *find fouling*.

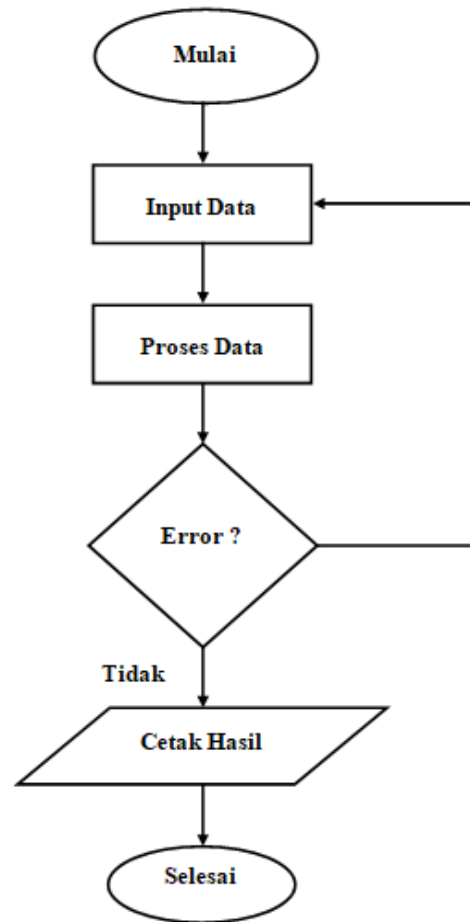
2. Bahan dan Metode

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan mensimulasikan kembali proses *ammonia refrigerant unit* dengan menggunakan aplikasi Hysys V10 yang kemudian akan di lakukan pengecekan dengan menggunakan fitur *Exchanger Design Rating* (EDR) yang terdapat di aplikasi hysys dan selanjutnya dilakukan perbandingan hasil data *design* dan aktual. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah satu unit Laptop Pribadi dengan menggunakan *software* yang berupa perangkat lunak komersil dari Aspen Hysys V10 dan fitur *Exchanger Design Rating* (EDR) yang tersedia dari aplikasi tersebut.

Variabel tetap pada penelitian ini adalah data geometri yang didapatkan dari TEMA *Sheet* kondensor 127-C dan Tekanan Operasi. Kemudian variabel bebas yaitu temperatur dan laju alir pada ammonia dan *cooling water*. Adapun diagram alir prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Diagram alir proses penelitian



Gambar 2.2 Diagram alir prosedur analisis data menggunakan EDR

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan kembali proses pada *ammonia refrigerant unit* dengan menggunakan aplikasi Hysys V10. Dimana kemudian selanjutnya dilakukan *ekspor* data *heat exchanger* 127-C untuk melakukan *checking/rating* pada *heat exchanger* tersebut. *Heat exchanger*

tersebut berjenis kondensor, dimana terjadi proses kondensasi ammonia yang terdapat pada bagian *shell* dengan menggunakan air pendingin dari *cooling water*. Pada saat melakukan penelitian, terdapat masalah mengenai kurangnya kondensasi keluaran ammonia yang terjadi pada alat tersebut dan beberapa hal lainnya sehingga adanya kemungkinan *fouling* terjadi sehingga tidak tercapainya jumlah kondensasi ammonia yang diinginkan.

Menurut Ihsan (2019), Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. Pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell-tube* yang mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*. Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (*cooling tower*) untuk melepaskan kalor ke atmosfer.

3.1 Hasil Pengaruh *Temperature* Terhadap *Heat Duty* (Q)

Adapun hasil penelitian pengaruh temperatur terhadap nilai *heat duty* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kondisi operasi pada *design* dan aktual

No	Kondisi	T ₂ (°C)	ΔT _{LMTD} (°C)	Q (Kcal/h)
1	<i>Design</i>	38	9,23	18.060.000
2	Data I	39	11,99	13.700.220
3	Data II	39,5	11,63	13.512.300
4	Data III	40	11,39	13.884.810
5	Data IV	41	10,14	14.485.440
6	Data V	41,5	9,95	13.873.880

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *heat duty* dari 18.060.000 Kcal/h menjadi 13.512.300 Kcal/h pada suhu 39 °C yang disebabkan oleh penurunan laju alir ammonia dari 59.964 kg/h menjadi 45.731 kg/h. Kemudian dapat dilihat juga bahwa pada suhu 41 °C, *heat duty* mengalami kenaikan lagi dimana diketahui bahwa pada suhu tersebut didapatkan

nilai Q sebesar 14.485.440 Kcal/h dengan laju alir sebesar 48.041 kg/h hingga pada suhu 41,5 terjadi penurunan nilai Q yang dipengaruhi oleh laju alir ammonia.

Maka dapat disimpulkan bahwa perubahan temperatur serta laju alir memiliki pengaruh terhadap nilai Q , hal ini sesuai dengan rumus yang terdapat didalam Kern (1988) dimana Q berbanding lurus terhadap ΔT yang dimana jika nilai ΔT mengalami penurunan maka nilai Q juga akan mengalami pengurangan. Demikian juga dengan perubahan laju alir pada ammonia akan menyebabkan nilai Q berubah.

Selain itu, dapat dilihat juga bahwa nilai temperatur keluaran ammonia yang mengalami peningkatan. Keluaran temperatur yang melebihi *design*, dapat menentukan bagus tidaknya alat tersebut.

Apabila panas I ini akan dilepaskan besarnya sama dengan Q persatuan waktu, maka panas diterima oleh fluida dingin sebesar Q pula (perpindahan panas dianggap sempurna). Sehingga kemampuan untuk menerima panas, dipengaruhi oleh 3 hal yaitu koefisien perpindahan panas keseluruhan, luas perpindahan panas, dan selisih temperatur rata-rata (Hairudin, 2021).

Menurut Sudrajat (2017) Besarnya nilai pengotoran bergantung kepada besarnya nilai koefisien perpindahan panas global dalam kondisi *fouled* yang dikurangi dengan nilai koefisien perpindahan panas global dalam kondisi *clean*. Besarnya pengotoran pada *heat exchanger* mengakibatkan penurunan Q pada penelitian yang dilakukan selama periode analisis.

3.2 Pengaruh Laju Alir Terhadap *Fouling Factor* (R_d)

Tabel 4.2 Nilai koefisien perpindahan panas *overall* (U_c dan U_d) dan nilai R_d pada kondisi *design* dan aktual

No	Kondisi	Laju Alir (kg/h)	U_d ($m^2 K/W$)	U_c ($m^2 K/W$)	R_d shell side ($m^2 K/W$)	R_d tube side ($m^2 K/W$)
1	<i>Design</i>	59.964	0,00068	0,00036	0,00009	0,00024
2	Data I	45.731	0,00067	0,00035	0,00009	0,00024
3	Data II	45.255	0,00069	0,00037	0,00009	0,00024
4	Data III	46.650	0,00072	0,00040	0,00009	0,00024
5	Data IV	48.041	0,00067	0,00035	0,00009	0,00024
6	Data V	46.208	0,00065	0,00033	0,00009	0,00024

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diamati bahwa terjadi perubahan nilai U_c dan U_d seiring dengan perubahan laju alirnya, yang mana jika nilai U_c rendah maka nilai U_d juga rendah. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan data design dan data I dimana terjadi penurunan laju alir pada data I sehingga nilai U_c 0,00068 dan nilai U_d 0,00036 juga mengalami penurunan. Kemudian dapat dilihat juga adanya kenaikan laju alir pada data III dan data IV yang menyebabkan nilai U_c dan nilai U_d mengalami kenaikan dari data II.

Pengotoran pada bagian dalam dan bagian luar *tube* selalu terjadi selama alat beroperasi. Terjadinya kotoran atau deposit pada permukaan *tube* akan menaikkan tahanan panasnya. Maka hal ini akan menurunkan perpindahan panas keseluruhan (U). Semakin tebal kotoran pada *tube* maka akan semakin besar pula gangguan (hambatan) yang terjadi. Beberapa yang dapat menimbulkan pengotoran penukar kalor antara lain material *tube*, kecepatan aliran fluida, fluida alami dan material endapan, serta waktu lamanya beroperasi sejak pembersihan terakhir. *Fouling factor* berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas, di karenakan semakin besar *fouling* pada *tube* maka akan menyebabkan kenaikan tahanan *heat transfer* yang mengakibatkan terhambatnya laju perpindahan panas pada *tube* sehingga koefisien perpindahan panas menurun (Hairudin, 2021).

Dalam Astuti (2019), diketahui jika rendahnya nilai U_c dan U_d yang dihasilkan dikarenakan suhu yang tertransfer kecil sehingga nilai R_d tinggi. Semakin rendah nilai U_c yang dihasilkan maka nilai R_d semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan adanya pengotor pada alat *heat exchanger* dan dapat disebabkan oleh *human error* berupa kurang teliti dalam pencatatan suhu data aktual.

Berdasarkan fakta bahwa alat yang baru dilakukan *maintenance* pada bulan april 2021, yang mana hanya beberapa bulan saja sebelum data penelitian diambil maka *heat exchanger* yang diteliti masih layak untuk digunakan dikarenakan nilai R_d pada sisi *shell* dan *tube* tidak mengalami peningkatan.

3.3 Pengaruh *Fouling* Terhadap *Pressure Drop* (ΔP)

Tabel 4.3 Nilai *Pressure drop*, *velocity*, dan *reynold number*

No	Kondisi	<i>Shell Side</i>			<i>Tube Side</i>		
		<i>Velocity</i> (m/s)	<i>Reynold Number</i>	ΔP (Kpa/Psi)	<i>Velocity</i> (m/s)	<i>Reynold Number</i>	ΔP (Kpa/Psi)
1	<i>Design</i>	2,22	11.807,82	11,397/ 1,653	2,11	60.947,94	33,460/ 4,853
2	Data I	1,68	8.968,49	7,362/ 1,068	2,86	77.282,32	55,141/ 7,998
3	Data II	1,66	8.906,44	7,200/ 1,044	2,23	60.836,96	36,344/ 5,271
4	Data III	1,71	9.221,44	7,614/ 1,104	1,71	47.276,55	24,921/ 3,614
5	Data IV	1,80	9.543,93	8,184/ 1,187	2,91	82.080,93	56,438/ 8,186
6	Data V	1,73	9.195,52	7,630/ 1,107	3,69	103.932,4	84,706/ 12,286

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa penurunan kecepatan laju alir menyebabkan *reynold number* menjadi rendah begitu pula dengan *pressure drop* yang dihasilkan. Dapat disimpulkan bahwa semakin rendah nilai kecepatan laju alir maka nilai *reynold number* dan *pressure drop*-nya akan semakin rendah, begitu pula jika kecepatan laju alir tinggi maka *reynold number* dan *pressure drop* yang dihasilkan akan tinggi. Menurut Ramdhani (2012) Penurunan tekanan dapat mengakibatkan kehilangan energi sehingga menyebabkan suhu menjadi tidak konstan.

Pressure drop di pengaruhi beberapa faktor lainnya yaitu kecepatan aliran massa fluida melalui *tube*, panjang *tube*, jumlah *pass* dan kebersihan air pendingin yang masuk kedalam kondensor (Hairudin, 2021)

Dalam Ariana (2009) kecepatan aliran yang tinggi dapat meminimalkan pembentukan *fouling* (untuk segala jenis *fouling*), namun yang harus di perhatikan juga bahwa menjalankan STHE (*shell & tube heat exchanger*) pada kecepatan alir yang tinggi dapat menyebabkan tingginya *pressure drop*, kecepatan tinggi juga dapat mengakibatkan erosi dan juga memerlukan energi pemompaan yang besar. Pada *shell & tube heat exchanger*, *fouling* dapat terjadi baik pada bagian dalam

(*inner tube*) maupun luar *tube* (*outside tube*) dan dapat terjadi pula pada bagian dalam *shell*. *Fouling* juga dapat menyebabkan pengurangan *cross sectional area* (luas penampang melintang), dan meningkatkan *pressure drop*, sehingga dibutuhkan energi ekstra untuk pemompaan.

Menurut Astuti (2019) secara teori nilai *fouling factor* sangat mempengaruhi proses perpindahan panas tergantung dari kadar *impurities* umpan yang masuk kedalam *heat exchanger*. *Fouling factor* juga berpengaruh terhadap *pressure drop* yang mana jika nilai *fouling factor* semakin tinggi, maka nilai *pressure drop* juga akan semakin tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kinerja transfer panas pada *heat exchanger*. Penurunan terjadi disebabkan oleh temperatur dan laju perpindahan panas (dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2), perubahan temperatur *design* dan aktual pada data I dan data II tidak terlalu jauh sehingga tidak terlalu terlihat penurunan suhu yang signifikan.

Terjadinya peningkatan *pressure drop* berkaitan dengan akumulasi kekotoran di dalam pipa-pipa atau ruang dalam *heat exchanger*. Penurunan tekanan semakin lama akan semakin besar dikarenakan *fouling factor* yang tersedia semakin mendekati jenuh/melebihi batas 10% dari desain. Kenaikan *pressure drop* pada *shell and tube heat exchanger* juga dapat disebabkan oleh pengaturan jarak *baffle* yang kurang memadai, jarak *baffle* tersebut mempengaruhi pola pembentukan deposit padatan pada titik-titik tertentu yang menyebabkan kenaikan *pressure drop*. Komposisi fluida serta sifat-sifatnya yang meliputi viskositas, laju alir, dan suhu turut berperan dalam pembentukan tekanan di dalam suatu alat penukar panas (Prabaswara, 2021).

Menurut Kern (1988), tabel 8 *approximate overall design coefficients* nilai faktor pengotor (R_d) 0,003 dan *pressure drop* yang diizinkan ialah 5 hingga 10 Psi pada aliran pengontrol. Dimana, berdasarkan jenis fluida pada *heat exchanger* yang diamati ammonia merupakan *hot fluid* dan air sebagai *cold fluid* sehingga koefisien *overall* U_d ialah 250-500 dan *dirt factornya* 0,001.

4. Simpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah dengan semakin besar nilai temperatur, maka nilai Q juga akan semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai temperatur maka nilai Q juga akan rendah. Kemudian juga dapat disimpulkan bahwa jika nilai U_c dan U_d yang dihasilkan rendah dikarenakan suhu yang tertransfer kecil, maka nilai R_d akan tinggi. Semakin rendah nilai U_c yang dihasilkan maka nilai R_d semakin tinggi, begitu pula sebaliknya..

Fouling factor juga berpengaruh terhadap *pressure drop* yang mana jika nilai *fouling factor* semakin tinggi, maka nilai *pressure drop* juga akan semakin tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kinerja transfer panas pada *heat exchanger*. *Pressure drop* di pengaruhi beberapa faktor lainnya yaitu kecepatan aliran *massa* fluida melalui *tube*, panjang *tube*, jumlah *pass*, jarak *baffle*, kebersihan air pendingin yang masuk kedalam kondensor dan *fouling factor*.

5. Daftar Pustaka

- Ariana. (2009) "Fouling pada Heat Exchanger". Universitas Sriwijaya.
- Astuti, Dewi Nurkusuma. (2019) "Penentuan Nilai Fouling Factor Heat Exchanger E-408 Pada Unit Dehidration PT. Arsyenergi Resources Gresik"
- Hairudin. Mursadin, Aqli. (2021) "Analisis Kinerja Condenser Shell and tube Unit 2 di PT. PLN (Persero) Sektor Asam-Asam Kalimantan Selatan" https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v3i2.4139
- Holman, J.P. (1988) "Perpindahan Kalor". Alih bahasa Jasjfi E edisi ke-6, Erlangga, Jakarta.
- Ihsan, S. (2019) "Perencanaan dan Analisa Perhitungan Jumlah Tube dan Diameter Shell pada Kondensor Berpendingin Air pada Sistem Refrigerasi NH₃," (July 2017), hal. 1-6. <https://doi.org/10.36048/jtpii.v2i1.2351>
- Kern, D. Q. (1988). Process Heat Transfer. Singapore : Mc Graw-Hill International Book Company.

- Mukherjee, R. (2004) "Practical Thermal Design of Shell-and-Tube Heat Exchangers". Begel , Inc., 145 Madison Avenue, New York, NY 10016.
- Muzdalifah, Febra. (2021) "Mengevaluasi Performance Heat Exchanger 203-C Ditinjau dari Nilai Pressure Drop (ΔP) Pada Unit Pretreatment CO₂ di PUSRI-IB Palembang"
- Oktaviasari, F. P. (2018) "Analisa Pengaruh Tekanan Vakum Terhadap Laju Perpindahan Panas Dan Effektivitas Kondensor Pada PLTU BLOK III PT. PJB UP Gresik."
- Prabaswara, Reftian Jalu. Rubianah, Sri. Sidhuwati, Christyfani. Raharjo. (2021) "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 pada Crude Distillation Unit PPSDM Migas Cepu"
- Ramdhani, Regi. Nurfitriany, Shelfi Alif. (2012) "Prarancangan Heat Exchanger Untuk Meningkatkan Kapasitas Beban Sampai 130% di Plant VCM-2 Seksi 3 PT. Asahimas Chemical"
- Romadon, Rio Ratriyadi. (2018) "Pengaruh Pengendalian Temperatur Terhadap Pembentukan Fouling Pada Heat Exchanger".
- Sari, A. F. (2019) "Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant"
- Tim Penyusun. (2018) "Standard Operating Procedures Pabrik Ammonia-2 PT. Pupuk Iskandar Muda."
- Yaws, Carl L. (1999) "Chemical Properties Handbook" Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, United State.