

OPTIMASI ENERGI DAN KEMURNIAN PRODUK KOLOM *LIGHT END STRIPPER* DI PT X

Hafiz Muzaki¹, Agus Setiyono^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: agasasutadewa@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi kinerja kolom *light end stripper* di PT X guna meningkatkan efisiensi energi dan pemisahan. Simulasi dilakukan menggunakan Aspen HYSYS dengan pendekatan optimasi energi melalui penurunan laju alir *steam* dan optimasi pemisahan melalui variasi *reflux rate*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kebutuhan panas reboiler untuk mempertahankan kemurnian 99,63% hanya sebesar 374.868,43 kJ/jam atau 24,53 kg/jam *steam*, dibandingkan kondisi aktual sebesar 10.168.709,92 kJ/jam atau 665,4 kg/jam *steam*, sehingga terjadi penghematan energi sebesar 96,31%. Optimasi pemisahan dengan peningkatan *reflux rate* hingga 14.000 kg/jam menghasilkan kemurnian propilena 99,8% dengan *reboiler duty* 5.219.207,95 kJ/jam dan juga penghematan energi 48,69% dibanding kondisi aktual. Temuan ini menunjukkan bahwa kolom memiliki potensi efisiensi signifikan, namun diperlukan verifikasi lapangan, inspeksi internal, serta uji bertahap pengurangan aliran *steam* sebelum penerapan penuh untuk memastikan hasil simulasi dapat diterapkan secara nyata di unit produksi PT X.

Kata kunci: Aspen HYSYS, Distilasi, Efisiensi Energi, *Reboiler Duty*, *Reflux Rate*

1. PENDAHULUAN

PT X adalah perusahaan petrokimia yang memproduksi polipropilena sebagai bijih plastik sebanyak 306.600 ton per tahun. Dalam proses produksi di PT X terdapat beberapa tahap seperti pengolahan bahan baku, pemurnian propilena, polimerisasi, pemisahan, pengeringan, *pelletizing*, dan pengemasan. Untuk tahap pemurnian propilena, PT X menggunakan kolom *light end stripper* untuk memurnikan propilena dari kandungan *impurities* antara lain etana, CO, CO₂, H₂S, dan H₂O yang dapat mengganggu reaksi dan menurunkan efisiensi pemanfaatan propilena. Dengan bantuan kolom *light end stripper*, kemurnian propilena yang awalnya 99,6% dapat mencapai target menjadi 99,8%. Optimasi kolom *light end stripper* sangat dibutuhkan untuk mengoptimalkan penggunaan energi dan meningkatkan kemurnian propilena secara efisien [1]. Maka dapat diketahui apakah kolom ini beroperasi secara efisien dan memberikan peluang untuk perbaikan ke depannya.

Dilakukannya optimasi kolom *light end stripper* di PT X ini dilatarbelakangi oleh pentingnya memastikan kolom tersebut bekerja dengan efisien. Kolom *light end stripper* memiliki peranan penting dalam unit produksi di PT X ini, dengan memisahkan *impurities* berupa gas ringan (*off gas*) yang masih terkandung dalam *feed* berupa propilena. Propilena yang digunakan sebagai bahan baku utama dalam proses produksi polipropilena harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi. Keberadaan pengotor seperti etana, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan uap air (H₂O) dapat menyebabkan gangguan pada proses polimerisasi, menurunkan aktivitas katalis, serta mengurangi efisiensi pemanfaatan propilena [2][3].

Proses pada kolom *light end stripper* perlu berjalan dengan efisien, di mana harapannya dapat menghasilkan propilena dengan kemurnian tinggi dan penggunaan energi yang efisien. Prinsip kerja dari kolom pemisahan ini adalah distilasi, di mana kolom distilasi bekerja berdasarkan perbedaan titik didih bahan campuran. Campuran akan dipanaskan sehingga komponen yang lebih ringan menguap naik ke atas kolom, kemudian dikondensasikan, sedangkan komponen yang lebih berat tetap di bagian bawah. Aliran panas masuk ke dalam kolom melalui *reboiler* dan aliran *reflux* keluar dari kondensor memasuki kolom merupakan parameter operasi utama [4]. Kolom distilasi sering dikendalikan berdasarkan beban pemanas *reboiler* dan rasio refluks. Peningkatan beban panas (*reboiler duty*) atau rasio refluks umumnya meningkatkan faktor pemisahan, namun juga meningkatkan konsumsi energi [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terlebih dahulu terhadap kinerja kolom ini sehingga ke depannya dapat dilakukan optimasi pada kolom tersebut dengan mengendalikan parameter utama tersebut.

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses distilasi melalui pendekatan optimasi berbasis simulasi. Studi terdahulu menunjukkan bahwa optimasi berbasis simulasi pada proses distilasi multikomponen dapat meminimalkan konsumsi energi *reboiler* tanpa menurunkan kemurnian produk, di mana parameter seperti *reboiler duty* dan *reflux ratio* memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi pemisahan [6]. Penelitian lainnya mengembangkan metode optimasi pintar berbasis algoritma komputasional untuk meningkatkan efisiensi energi dan kemurnian produk pada kolom distilasi, serta menegaskan pentingnya hubungan antara *reflux ratio* dan *heat duty* terhadap performa pemisahan [7]. Selain itu, studi lain pada kolom *depropanizer* di industri minyak dan gas berhasil mengoptimasi kondisi operasi menggunakan simulasi Aspen HYSYS, yang mampu meningkatkan kemurnian propilena sekaligus mengurangi kebutuhan energi *reboiler* [8]. Berdasarkan temuan-temuan tersebut, pendekatan optimasi berbasis simulasi proses dinilai memiliki potensi besar untuk diterapkan pada kolom *light end stripper* di PT X guna meningkatkan efisiensi energi dan kemurnian produk secara stimulan.

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengoptimasi kinerja *equipment* kolom *light end stripper* yang beroperasi di PT X. Hasil optimasi kolom tersebut akan diperoleh dengan metode simulasi dan optimasi proses (*process simulation study*) menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS, untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi energi serta kemurnian produk pada kolom *light end stripper*. Dengan metode tersebut akan didapati nilai efisiensi aktual dari kolom *light end stripper*. Nilai efisiensi yang diperoleh berguna sebagai tolak ukur kelayakan dari kinerja kolom *light end stripper*. Dengan hasil evaluasi tersebut akan diketahui apakah kemurnian yang dihasilkan dan energi yang digunakan sudah optimal atau tidak.

Dengan melakukan optimasi kondisi operasi kolom *light end stripper* menggunakan Aspen HYSYS, diharapkan efisiensi energi dapat meningkat dan kemurnian produk dapat mencapai spesifikasi yang diinginkan. Selain itu dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu penulis dalam mendalami ilmu mengenai evaluasi kinerja kolom *light end stripper*, terutama dalam industri petrokimia, dan dengan adanya optimasi kolom *light end stripper*, pihak PT X akan mengetahui langkah-langkah apa saja yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja kolom *light end stripper*, sehingga nantinya kolom *light end stripper* dapat bekerja dengan maksimal dengan energi yang minimal.

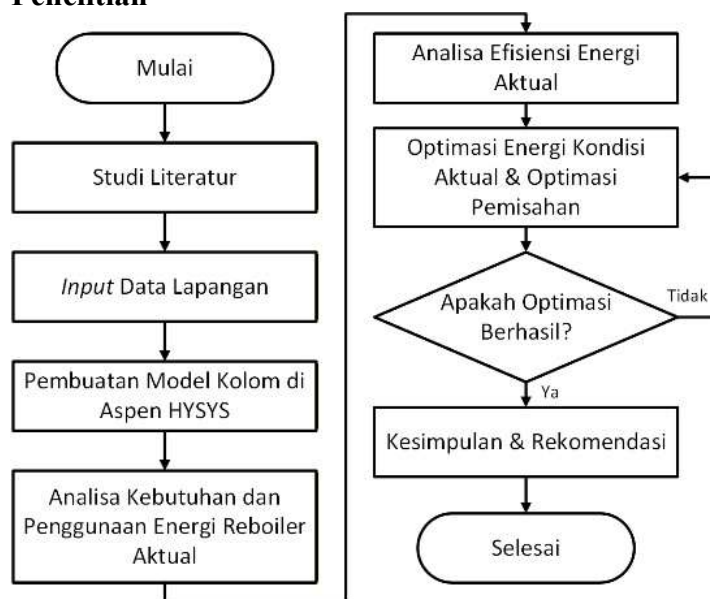
2. METODE

A. Data dan Deskripsi Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan mengoptimasi *equipment* berupa kolom *light end stripper*, yang merupakan *equipment* penting dalam unit produksi polipropilena di PT X. Kolom *light end stripper* berperan dalam memurnikan propilena dari *impurities* seperti

etana, CO, CO₂, H₂S, dan H₂O sebelum digunakan sebagai bahan baku pembuatan polipropilena. Penelitian dilakukan dengan bantuan perangkat lunak yaitu Aspen HYSYS versi 14 dengan pendekatan simulasi proses berdasarkan data aktual lapangan unit produksi PT X. Data yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu data kondisi operasi aktual dari equipment kolom *light end stripper* itu sendiri. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *reflux rate*, *overhead vapor rate*, *pressure*, *temperature*, *flowrate steam*, *feed composition* dan *flowrate feed*. Data tersebut digunakan sebagai bahan validasi simulasi proses dan sebagai dasar evaluasi efisiensi kinerja kolom.

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Setiap tahap menggambarkan alur kerja mulai dari pengumpulan data, pemodelan proses hingga optimasi.

C. Pemodelan Kolom di Aspen HYSYS

Pemodelan kolom *light end stripper* dilakukan dengan menggunakan Aspen HYSYS yang mana mempresentasikan kolom sesuai dengan data aktual lapangan. Adapun data lapangan yang dikumpulkan antara lain tinggi *packing*, *reflux rate*, *overhead vapor rate*, *pressure*, *temperature*, *flowrate steam*, *feed composition* dan *flowrate feed*. Data yang digunakan penulis merupakan data operasi dalam kondisi normal pada unit produksi PT X. Untuk komposisi yang digunakan pada simulasi yaitu propilena, etana, CO, CO₂, H₂S, dan H₂O, dengan menggunakan *fluid packages* atau model termodinamika yaitu NRTL, yang cocok untuk sistem *light end stripper* dengan komponen seperti etana, CO₂, H₂S, dan H₂O. Penulis juga mengumpulkan data uap (*steam*) yang digunakan pada *reboiler* kolom *light end stripper* antara lain data *temperature*, *pressure* dan *flowrate*. Tujuannya untuk mengetahui *reboiler duty* yang digunakan selama operasi.

D. Analisis Kebutuhan Energi Reboiler dan Evaluasi Kecukupan Steam Aktual

Kebutuhan energi *reboiler* didapatkan setelah simulasi proses telah berhasil dilakukan atau *converged*. Hal ini dapat dilihat pada *reboiler energy stream* yang telah dihasilkan (*generated*)

secara otomatis setelah kolom telah *converged*, sehingga nilai kebutuhan *heat duty* (kJ/jam) akan diketahui [4]. Persamaan yang digunakan untuk mencari *heat duty* tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{reb} = m_{vapor} (h_{vapor,out} - h_{liquid,in}) \quad (1)$$

Kecukupan *steam* dapat diketahui dengan menggunakan data *flowrate steam*, *temperature* dan *pressure* yang digunakan di lapangan (*actual*). Data tersebut akan dimasukkan dalam data *stream steam* pada simulasi. Setelah itu, Aspen HYSYS akan menghitung otomatis untuk nilai *heat duty* yang dihasilkan dari data suhu, tekanan dan laju aliran yang dimasukkan. Nilai *heat duty steam* aktual yang dihasilkan akan menjadi parameter cukup atau tidaknya *steam* tersebut untuk digunakan pada kolom *light end stripper*, dengan cara membandingkan nilai energi kebutuhan *reboiler* (*heat duty reboiler*) dengan energi *steam* yang digunakan (*heat duty steam*).

E. Analisis Efisiensi Energi Aktual

Nilai efisiensi penggunaan energi dapat diketahui dengan menghitung nilai energi spesifik (*specific energy consumption*). Semakin kecil nilai energi spesifik maka semakin kecil juga energi yang digunakan dalam proses pemisahan. Dengan konsumsi energi pada *reboiler* kolom distilasi yang lebih rendah menunjukkan efisiensi energi yang lebih tinggi dalam proses pemisahan [5]. Penghematan penggunaan energi juga dapat dinyatakan dalam persentase, dengan membagi nilai *heat duty* aktual dikurang *heat duty* optimasi lalu dibagi *heat duty* aktual. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai energi spesifik dan persentase penghematan energi tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$E_{spesifik} = \frac{Q_{reb}}{m_{produk}} \quad (2)$$

$$Efisiensi Penghematan = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \quad (3)$$

F. Optimasi Kondisi Operasi

Optimasi kondisi operasi dilakukan dengan dua pendekatan. Pertama, dilakukan optimasi energi (*reboiler heat duty*) untuk menemukan nilai *heat duty* yang paling efisien, dibandingkan pada kondisi aktual lapangan yang menghasilkan kemurnian propilena sebesar 99,63%, yang mana sesuai dengan kondisi operasi eksisting. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi pada kondisi aktual lapangan. Optimasi energi dilakukan dengan cara mencari *steam flowrate* yang dibutuhkan untuk menghasilkan *heat duty* yang dibutuhkan, yang telah diperoleh setelah analisis kebutuhan energi. Keperluan *heat duty* yang telah diketahui dimasukkan dalam *steam material stream*, tepatnya pada bagian *worksheet* pada kolom *conditions*. Setelah itu masukkan nilai suhu dan tekanan *steam* yang digunakan sesuai dengan data lapangan dan ketersediaan *steam*.

Kedua, dilakukan optimasi proses pemurnian untuk *raw propylene* yang awalnya pada kondisi *eksisting*, propilena konsentrasi 99,6% menjadi 99,63%, akan dioptimasi menjadi 99,8% sesuai dengan target PT X. Optimasi dilakukan dengan metode *parameter variation* (*sweep*) menggunakan simulasi Aspen HYSYS dengan *pallet distillation column*, dengan memasukkan data kondisi operasi suhu dan tekanan sebenarnya. Dalam simulasi akan diminta pula jumlah *tray*/pelat (N), yang mana dapat diperoleh dengan mengetahui nilai HETP (*Height Equivalent to a Theoretical Plate*). HETP sebanding dengan panjang kolom dibagi dengan jumlah pelat teoretis (N), dengan kolom yang efisien ditandai oleh nilai N yang relatif besar dan nilai HETP yang kecil [9]. Nilai HETP dapat diketahui dari jenis dan merek *packing* yang

digunakan. Adapun persamaan untuk pendekatan mencari jumlah *tray*/pelat teoritis dituliskan sebagai berikut:

$$N = \frac{H}{HETP} \quad (4)$$

Setelah memasukkan jumlah *tray*, simulasi dilanjutkan dengan memasukkan nilai *condenser pressure* dan *reboiler pressure*, kemudian penulis hanya memasukkan data pada *tab design* tepatnya *monitor* pada *palette distillation column*. Penulis menambahkan dua *specifications* pada *tab monitor* yaitu *component frac spec* dan *reflux rate*. Untuk nilai *component frac spec* ialah nilai fraksi yang diinginkan pada *stream* tersebut, yang mana pada kali ini adalah *bottom stream* yang mengandung propilena hasil pemisahan dari kolom *light end stripper*, dengan target 99,8% atau 0,9980. Untuk nilai *reflux rate* ialah laju cairan dari *condenser* yang dikembalikan kembali ke *top column*. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode parameter *variation (sweep)* untuk nilai *reflux rate*, pada rentang 1.000-14.000 kg/jam yang dimulai dari 1.081 kg/jam dengan kenaikan 1.000 kg/jam. Variasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi operasi optimum dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kemurnian propilena dan kebutuhan energi *reboiler*. Efisiensi pemisahan dapat diketahui dari nilai *recovery* produk, semakin tinggi nilai *recovery* maka efisiensi pemisahan kolom semakin tinggi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *recovery* tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$Recovery = \frac{m_{propylene,bottom}}{m_{propylene,feed}} \times 100\% \quad (5)$$

Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah *reflux rate* (kg/jam) dan *steam flowrate* (kg/jam) yang divariasikan dalam simulasi untuk mengamati pengaruhnya terhadap kinerja kolom. Adapun variabel terikatnya adalah kemurnian propilena pada produk bawah (*bottom product*) dan kebutuhan energi *reboiler* (*heat duty reboiler*). Hubungan antara kedua variabel tersebut digunakan untuk menentukan kondisi operasi optimum yang menghasilkan efisiensi energi dan kemurnian produk tertinggi.

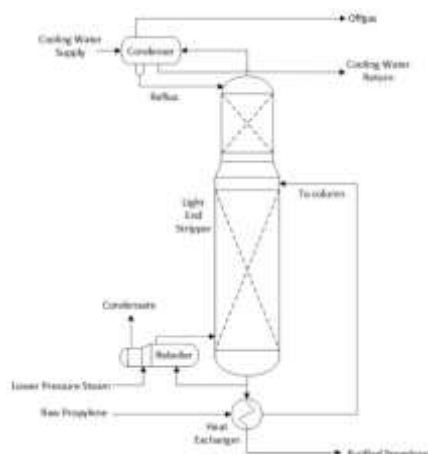
G. Batasan dan Asumsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menetapkan beberapa batasan dan asumsi untuk mempermudah pemodelan dan simulasi proses, sebagai berikut:

1. Proses diasumsikan berlangsung dalam kondisi *steady state*.
2. Kehilangan panas (*heat loss*) ke lingkungan diabaikan.
3. Jumlah *tray* yang digunakan menggunakan pendekatan dengan nilai HETP dan tinggi *packing*.
4. Nilai HETP yang digunakan berasal dari data pemilik teknologi *packing* itu sendiri (sulzer).
5. Efisiensi *packing* dianggap seragam di sepanjang kolom *light end stripper*.
6. Data termodinamika menggunakan basis data Aspen HYSYS dan dianggap mewakili kondisi aktual dengan tingkat akurasi yang memadai.

3. PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Proses



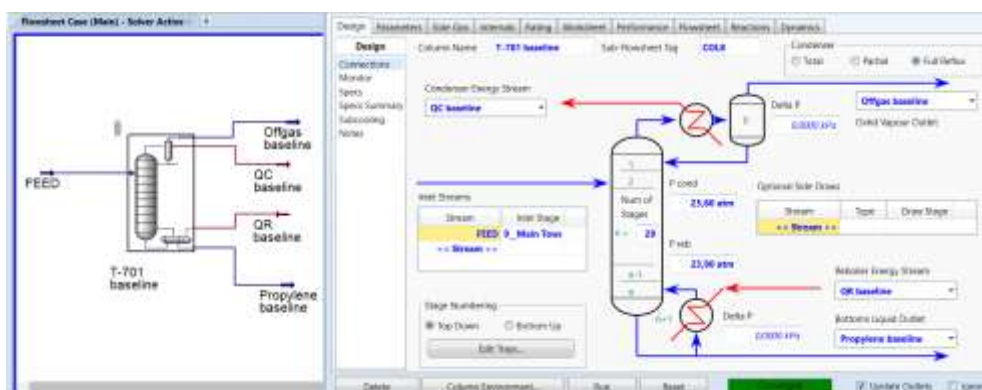
Gambar 2. Diagram Alir Kolom *Light End Stripper* PT X

Proses dimulai dari *feed/raw* propilena seperti pada Gambar 2., dari penyimpanan dialirkan menuju *heat exchanger* terlebih dahulu guna menukarkan panas antara *feed* dengan keluaran *bottom* kolom *light end stripper* itu sendiri. Sehingga *feed* dapat menyerap panas dan memasuki kolom sesuai dengan kondisi operasi yang ada di kolom. Setelah memasuki kolom yang bertipekan *packing* tersebut, *feed* propilena akan diuapkan dengan bantuan *reboiler*. *Reboiler* menguapkan *bottom product* kolom dengan bantuan *low pressure steam*, yang bertujuan untuk melucuti (*stripping*) fraksi ringan yang terkandung antara lain etana, CO, dan CO₂. Komponen yang teruapkan pada *top* kolom akan melanjutkan proses dengan memasuki *condenser* yang dibantu dengan *cooling water system*. Proses ini bertujuan untuk memaksimalkan pemisahan dengan mengkondensasi fraksi berat dan fraksi ringan yang tidak teruapkan akan menjadi *offgas*. *Condenser* juga menjadi *equipment* penting dalam kolom, dengan adanya *condenser* fraksi berat yang terkondensasi akan dikembalikan lagi ke kolom untuk memaksimalkan kontak antara fraksi ringan yang ada pada *reflux*, dan fraksi berat yang ada pada *top* kolom/ *overhead vapor* yang kemudian terjadilah *mass transfer*. Adapun kondisi operasi dan komposisi yang diketahui pada kolom *light end stripper* tercantum dalam Tabel 1. sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi Operasi Aktual Kolom *Light End Stripper* PT X

<i>Name</i>	<i>Feed</i>	<i>Top Column</i>	<i>Bottom Column</i>
<i>Vapour / Phase Fraction</i>	0	1	0
<i>Temperature [°C]</i>	58,16	29,85	57,7
<i>Pressure [atm]</i>	24,19	23,6	23,9
<i>Mass Flow Total [kg/jam]</i>	29.000	16	28.983,99
<i>Mass Flow H₂O [kg/jam]</i>	8,69	-	-
<i>Mass Flow Propilena [kg/jam]</i>	28884	-	-
<i>Mass Flow Etana [kg/jam]</i>	57,99	-	-
<i>Mass Flow CO [kg/jam]</i>	2,898	-	-
<i>Mass Flow CO₂ [kg/jam]</i>	29	-	-
<i>Mass Flow H₂S [kg/jam]</i>	17,4	-	-

B. Hasil Simulasi Kondisi Aktual Aspen HYSYS



Gambar 3. Hasil Simulasi Kondisi Aktual PT X

Seperti pada Gambar 3., simulasi kolom *light end stripper* telah berjalan dengan *converged*. *Palette distillation column* yang digunakan bertipekan *packing full reflux*, dengan *reboiler configuration* bertipekan *once-through* dan *reboiler type selection* yaitu *regular hysys reboiler* yang sesuai dengan jenis kolom di PT X. *Feed* memasuki kolom pada *tray* ke sembilan dengan jumlah *tray* sebanyak 29. Jumlah *tray* diperoleh dari pendekatan perhitungan dengan nilai HETP setinggi 0,5 m dan tinggi *packing* setinggi 14,22 m yang sesuai dengan data aktual. Sehingga diperoleh nilai jumlah *tray* teoritis (N) sebesar 28,44 yang dibulatkan ke atas menjadi 29. Adapun data kondisi operasi (aktual) yang digunakan dalam simulasi terdapat pada Tabel 2. sebagai berikut:

Tabel 2. Data Masukan Simulasi Kolom *Light End Stripper*

Parameter	Value
Condenser Pressure [atm]	23,6
Reboiler Pressure [atm]	23,9
Reflux rate [kg/jam]	1.081
Overhead rate [kg/jam]	16

C. Analisis Hasil Kebutuhan dan Penggunaan Energi Reboiler Aktual

Berdasarkan hasil simulasi, kebutuhan *heat duty reboiler* yang dibutuhkan untuk kondisi operasi aktual dengan hasil pemisahan propilena 99,63% yaitu sebesar 374.868,43 kJ/jam. Sedangkan jumlah *heat duty reboiler* yang digunakan dalam kondisi *eksisting* adalah sebesar 10.168.709,92 kJ/jam. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang digunakan dalam kondisi *eksisting* sudah mencukupi bahkan melebihi kebutuhan energi yang dibutuhkan. Sehingga ke depannya dapat dilakukan optimasi dengan mengurangi penggunaan energi melalui pengurangan laju alir uap (*steam*), dengan tetap mempertahankan kemurnian propilena sebesar 99,63%. Adapun perbandingan data antara kebutuhan energi dengan penggunaan energi dapat dilihat pada Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Data Kebutuhan Energi dengan Penggunaan Energi Aktual

Parameter	Kebutuhan Energi	Penggunaan Energi Aktual
Reboiler Heat Duty (kJ/jam)	374.868,43	10.168.709,92
Steam Flowrate [kg/jam]	24,53	665,4

Pressure [atm]	7,58	7,58
Temperature [°C]	151	151

D. Analisis Hasil Efisiensi Energi Aktual

Nilai energi spesifik aktual (*eksisting*) diperoleh sebesar 352,14 kJ/kg, sedangkan yang dibutuhkan adalah sebesar 12,98 kJ/kg. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakefisienan dalam penggunaan energi untuk menghasilkan produk propilena dengan kemurnian 99,63%. Oleh karena itu untuk menghasilkan kemurnian propilena sebesar 99,63% yang sesuai dengan kondisi *eksisting*, hanya memerlukan laju alir *steam* sebesar 24,53 kg/jam dengan nilai *heat duty* sebesar 374.868,43 kJ/jam. Hal ini juga menunjukkan adanya peningkatan efisiensi penghematan energi sebesar 96,31%, yang mana tergolong signifikan dalam peningkatan efisiensi energi. Beberapa faktor teknis dapat menjadi penyebab meningkatnya kebutuhan energi *reboiler* antara lain *flooding*, *mal-distribution*, kerusakan pada elemen *internal* kolom (*packing*) dan lainnya.

E. Hasil Optimasi Energi untuk Kondisi Aktual

Optimasi dilakukan dengan cara menurunkan laju aliran *steam reboiler*, sehingga penggunaan *steam* dapat diminimalkan. Hal tersebut sangat berpengaruh pada OPEX (*operational expenditure*) yang dikeluarkan. Harapannya dengan menurunkan laju aliran *steam*, maka dapat menghemat pengeluaran untuk biaya operasional. Berdasarkan hasil simulasi, *heat duty* yang dibutuhkan pada *reboiler* yaitu sebesar 374.868,43 kJ/jam atau dengan *flowrate* sebanyak 24,53 kg/jam. Jumlah tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan laju aliran *steam* aktual yang digunakan di lapangan yaitu sebesar 10.168.709,92 kJ/jam, atau dengan *steam* sebanyak 665,4 kg/jam. *Steam* yang digunakan memiliki kondisi operasi yang sama yaitu dengan tekanan 7,58 atm dan suhu 151°C. Adapun hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4. berikut:

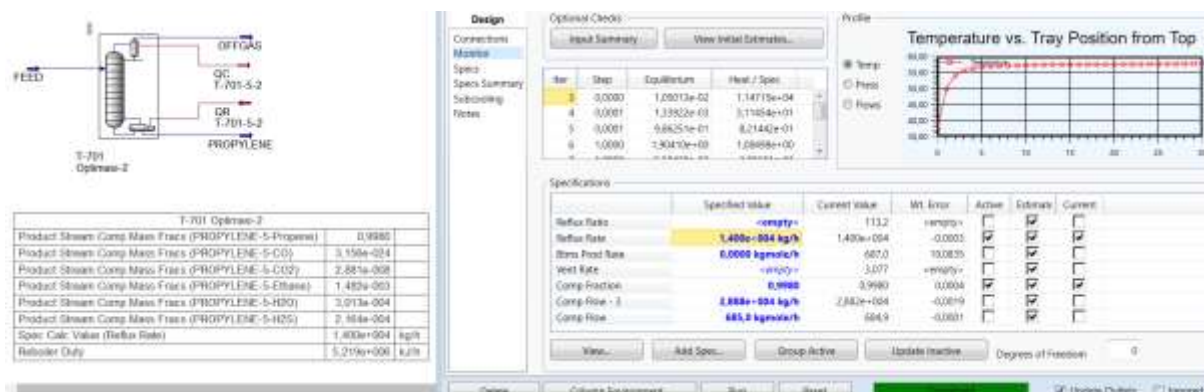
Steam Data Aktual Lapangan		Steam Optimasi Kondisi Lapangan	
Temperature	151,0 C	Temperature	151,0 C
Pressure	7,583 atm	Pressure	7,583 atm
Molar Flow	38,94 kgmole/h	Molar Flow	1,362 kgmole/h
Mass Flow	665,4 kg/h	Mass Flow	24,53 kg/h
Heat Flow	-1,017e+007 kJ/h	Heat Flow	-3,749e+005 kJ/h
Power	-2825 kW	Power	-104,1 kW

Gambar 4. Hasil Simulasi Optimasi Penggunaan *Steam* PT X

F. Hasil Optimasi Pemisahan

Pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa simulasi optimasi pemisahan telah berjalan dengan *converged* seperti pada gambar diatas. Optimasi dilakukan untuk mencapai target kemurnian dari propilena yang awalnya hanya dapat mencapai 99,63% dari 99,6%, menjadi sesuai target PT X yaitu sebesar 99,8%. Optimasi dilakukan dengan menggunakan *tools monitor* pada *pallette distillation column* dengan kondisi operasi aktual antara lain kondisi *feed inlet*, *condenser pressure* dan *reboiler pressure*. Sehingga menghasilkan kondisi *stream offgas* dan produk (propilena) seperti pada Gambar 6. Parameter yang digunakan (*active*) hanya terdiri dari dua parameter agar mencapai *degrees of freedom* senilai 0, seperti yang ada pada Gambar 5. Parameter tersebut yaitu *comp frac spec* dan *reflux rate*. Nilai *comp frac spec* dalam penelitian kali ini sebesar 0,9980, pada *bottom stream* untuk komponen propilena. Sedangkan nilai *reflux*

rate akan dimulai dari 1.081 kg/jam sesuai kondisi aktual dan dilanjutkan dengan kenaikan 1.000 kg/jam setiap percobaannya, dan *reflux rate* berhenti di angka 14.000 kg/jam.

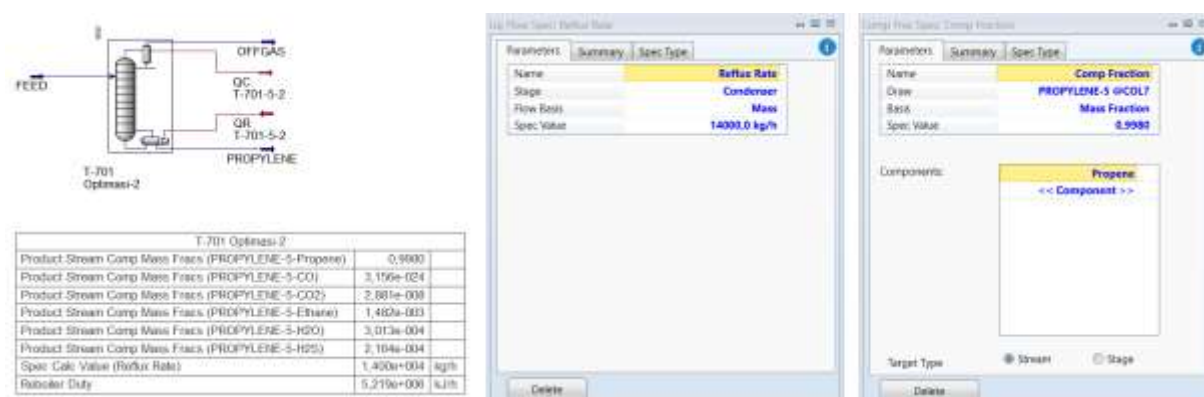


Gambar 5. Hasil Simulasi Optimasi Pemisahan Propilena 99,8%

Worksheet	Name	FEED @COL7	OFFGAS-5 @COL7	PROPYLENE-5 @COL7
Conditions	Vapour	0,0000	1,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	58,16	37,30	57,92
Compositions	Pressure [atm]	24,19	23,60	23,90
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	690,1	3,077	687,0
	Mass Flow [kg/h]	2,900e+004	120,6	2,888e+004
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	55,68	0,2153	55,46
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	7993	-9,364e+004	8464
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	121,0	162,9	120,4
	Heat Flow [kJ/h]	5,516e+006	-2,881e+005	5,815e+006

Gambar 6. Kondisi Stream Optimasi Pemisahan Propilena 99,8%

Ketika dimasukkan nilai *reflux rate* sebanyak 15.000 kg/jam, Aspen HYSYS tidak dapat berjalan *converged* atau *not solved*. Hal itu menandakan Aspen HYSYS belum mampu menemukan solusi yang memenuhi semua persamaan dan *constraint*. Adapun tampilan dari penggunaan dua parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 7. di bawah ini.



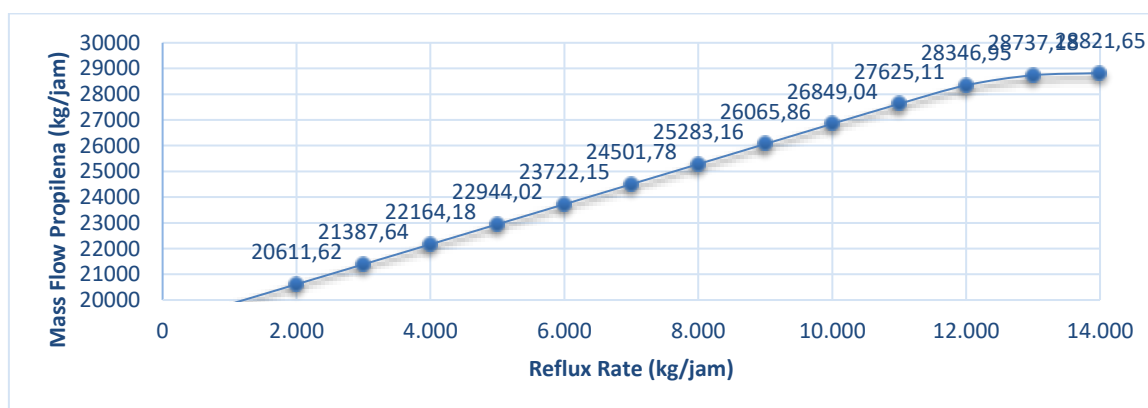
Gambar 7. Parameter Monitor Optimasi Pemisahan Propilena 99,8%

Dengan mengisi kedua parameter tersebut dan kemudian menjalankannya (*running*), Aspen HYSYS akan memproses dan menghitung untuk mendapatkan parameter penting lainnya seperti *heat duty reboiler*. Parameter tersebut sangat penting dalam menentukan hasil pemisahan yang dilakukan pada kolom *light end stripper* [10]. Pada penelitian kali ini nilai *reflux rate* yang ditetapkan sebagai kondisi operasi yang paling optimal ialah *reflux rate* yang menghasilkan nilai *recovery* propilena yang tertinggi, dikarenakan nilai *comp frac spec* yang telah diatur menjadi 0,9980 (99,8%). Sehingga semua hasil *reflux rate* yang digunakan akan menghasilkan kemurnian fraksi massa propilena sebesar 99,8%, akan tetapi banyaknya propilena yang dipisahkan dapat diketahui dari nilai *recovery*. Adapun hasil dari *parameter variation (sweep)* pada penggunaan *reflux rate* dapat dilihat pada Tabel 4. dibawah.

Tabel 4. Hasil Parameter Variation (Sweep) Reflux Rate Terhadap Mass Flow Propilena

Reflux Rate (kg/jam)	Mass Flow Propilena (kg/jam)
1.081	19.897,03
2.000	20.611,62
3.000	21.387,64
4.000	22.164,18
5.000	22.944,02
6.000	23.722,15
7.000	24.501,78
8.000	25.283,16
9.000	26.065,86
10.000	26.849,04
11.000	27.625,11
12.000	28.346,95
13.000	28.737,18
14.000	28.821,65

Berdasarkan data yang diperoleh di atas, semakin tinggi nilai *reflux rate* maka semakin banyak pula propilena yang dapat dipisahkan. Hal ini sesuai dengan landasan teori dimana semakin tinggi nilai *reflux rate*, maka semakin tinggi konsentrasi distilat atau produk yang dipisahkan [11][12]. Hasil ini dapat disajikan dalam bentuk diagram, seperti gambar dibawah.



Gambar 8. Diagram Reflux Rate dengan Mass Flow Propilena

Berdasarkan Gambar 8. di atas, dapat digambarkan bahwa semakin tinggi *reflux rate* maka semakin tinggi pula *mass flow* propilena yang dapat diambil. Hal tersebut juga berbanding lurus dengan nilai *recovery*. Dimana nilai *recovery* propilena tertinggi sebesar 99,78% dengan *mass flow* propilena *feed* sebanyak 28.884 kg/jam, *mass flow* propilena *bottom* sebanyak 28.821,65 kg/jam dan *reflux rate* sebanyak 14.000 kg/jam. Akan tetapi dengan adanya peningkatan *reflux rate* maka akan terjadi peningkatan pula pada beban panas *reboiler* (*reboiler heat duty*), yang akan meningkatkan biaya operasional [13][14]. Berdasarkan hasil simulasi pada kondisi *reflux rate* 14.000 kg/jam, *reboiler heat duty* yang diperlukan adalah sebanyak 5.219.207,95 kJ/jam. Hal itu masih dalam kondisi yang memungkinkan untuk dilakukan, dikarenakan *reboiler heat duty* yang digunakan pada kondisi aktual hampir 2 kali lebih banyak dari kondisi optimasi yaitu sebesar 10.168.709,92 kJ/jam. Hal ini secara tidak langsung juga menghemat penggunaan energi sebanyak 48,69% dari kondisi aktual. Adapun komposisi hasil optimasi pemisahan kali ini dapat dilihat pada Tabel 5. dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Komposisi Bottom Stream Optimasi

<i>Component</i>	<i>Mass Fraction</i>	<i>Mass Flow (kg/jam)</i>	<i>Mole Flow (kgmole/h)</i>
H ₂ O	0,0003	8,69	0,48
Propilena	0,9980	28.821,65	684,91
Etana	0,0015	42,79	1,42
CO	0,0000	9,11	3,25
CO ₂	0,0000	8,31	1,89
H ₂ S	0,0002	6,24	0,18

4. SIMPULAN

Kolom *light end stripper* PT X memiliki potensi peningkatan efisiensi energi yang signifikan tanpa menurunkan kemurnian produk. Melalui optimasi laju alir *steam*, kebutuhan *reboiler heat duty* untuk mempertahankan kemurnian *eksisting* 99,63% hanya sebesar 374.868,43 kJ/jam (setara dengan 24,53 kh/jam *steam*) dibandingkan kondisi aktual sebesar 10.168.709,92 kJ/jam (665,4 kg/jam *steam*). Penghematan *reboiler heat duty* dan *specific energy consumption* mencapai 96,31% dari kondisi aktual. Optimasi kondisi pemisahan dengan variasi *reflux rate* menunjukkan bahwa pada *reflux rate* 14.000 kg/jam, diperoleh kemurnian produk 99,8% dengan *recovery* propilena tertinggi yaitu 99,78%. Nilai *reboiler duty* sebesar 5.219.207,95 kJ/jam masih lebih rendah dibandingkan kondisi aktual, menunjukkan efisiensi energi meningkat hingga 48,69% pada proses pemurnian. Diperlukan verifikasi lapangan terhadap data operasi seperti *steam metering*, *reboiler duty*, serta kondisi fisik kolom (*distributor*, *packing*, HETP, dan *fouling*). Uji bertahap pengurangan aliran *steam* disertai *monitoring* kualitas produk dan analisis keekonomian (OPEX) direkomendasikan sebelum implementasi penuh di unit produksi PT X. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi kondisi *steady-state*, mengabaikan kehilangan panas, dan menganggap efisiensi *packing* seragam di sepanjang kolom. Untuk meningkatkan akurasi hasil, disarankan penelitian lanjutan meliputi:

- Analisis dinamik kolom (*dynamic simulation*).
- Studi sensitivitas terhadap parameter HETP dan kondisi *steam*.
- Validasi lapangan untuk memastikan hasil simulasi sesuai dengan kondisi operasi aktual.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ganesan, K. Arunagiri, and S. M. Jarullah, "Process optimization and control of hydrocarbon distillation towers using simulation-based optimization," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 225, art. no. 111212, 2023.
- [2] Fina Research, "Adsorbent Key to Polypropylene Catalyst Activity," *Oil & Gas Journal*, 1994. <https://www.ogj.com/home/article/17211143/adsorbent-key-to-polypropylene-catalyst-activity>. Diakses: 5 Oktober 2025.
- [3] China National Intellectual Property Administration (CNIPA), "Purification Process for Propylene," *Patent CN101255089A*, 2008. <https://patents.google.com/patent/CN101255089A/en>. Diakses: 7 Oktober 2025.
- [4] AspenTech, *Aspen HYSYS Unit Operations Guide / Operations Guide*, Aspen Technology Inc., 2016.
- [5] Z. Liu, et al., "Thermodynamics fundamentals and energy efficiency for distillation processes," *Journal of Energy Chemistry*, vol. 67, pp. 200–214, 2022.
- [6] J. Javaloyes-Antón, R. Ruiz-Femenia, J. A. Caballero, dan I. E. Grossmann, "Simulation-based optimization of distillation processes," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 157, no. 107632, pp. 1–12, Jan. 2022. doi:10.1016/j.compchemeng.2021.107632.
- [7] L. Ye, "Intelligent optimization design of distillation columns," *Processes*, vol. 11, no. 8, pp. 2386–2397, Aug. 2023. doi:10.3390/pr11082386.
- [8] P. R. Pasha, "Top product yield optimization of depropanizer column 1–2," *SCOG Journal of Oil and Gas Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 45–54, Jan. 2024. LEMIGAS, Jakarta.
- [9] R. Carta, F. Galli, L. Nocentini, & A. G. Carta, "Prediction of the performance of pre-packed purification columns," *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.928269>.
- [10] H. Saud, A. R. S. Abdullah, A. A. Al-Asadi, and B. Al Janabi, "Study and optimization of the factors affecting the crude oil distillation process using Aspen HYSYS," *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 6, 2024.
- [11] Towler and R. Sinnott, *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*, 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.
- [12] F. Fitriah and D. A. Sari, "Optimization of distillation column reflux ratio for distillate purity and process energy requirements," *International Journal of Basic & Applied Science*, vol. 12, no. 2, pp. 72–81, 2023.
- [13] S. V. Manyele, "The effect of reflux ratio and feed thermal conditions on ethanol-water distillation process performance," *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 66–90, 2024. doi:10.4314/ijest.v16i4.6.
- [14] B. Abolpour, et al., "Economic Optimization of the Reflux Ratio of Two-Component Distillation Columns," *Energy and Environment Engineering Review*, 2019.

Daftar Simbol

Q_{Reb}	=	Heat duty atau heat flow reboiler, kJ/jam
m_{vapor}	=	Laju massa uap, kg/jam
$h_{vapor,out}$	=	Entalpi uap keluar ke reboiler, kJ/kg
$h_{vapor,in}$	=	Entalpi cairan masuk ke reboiler, kJ/kg
$E_{spesifik}$	=	Energi spesifik, kJ/kg
Q_1	=	Heat duty aktual, kJ/jam
Q_2	=	Heat duty optimasi, kJ/jam
m_{produk}	=	Laju massa produk, kg/jam
N	=	Jumlah tray teoritis
H	=	Tinggi packing, m
$HETP$	=	Height Equivalent to a Theoretical Plate, m
$m_{propylene,bottom}$	=	Massa propilena outlet bottom, kg/jam
$m_{propylene,feed}$	=	Massa propilena inlet feed, kg/jam