

ANALISIS DESAIN INTERNAL *GLYCOL CONTACTOR*: STUDI PERBANDINGAN KINERJA *TRAY* DAN *PACKING* DALAM PROSES DEHIDRASI GAS ALAM

Adinda Hidayatul Fitria¹, Rizka Anggara Al Faris Zein Lubis¹, Maruli Pandapotan Purba¹, Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan gajah mada 38, Cepu , Blora, Jawa Tengah, 58315

E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Proses dehidrasi gas alam menggunakan kolom kontaktor *triethylen glykol* (TEG) merupakan tahapan penting untuk menurunkan kadar air dan meningkatkan kualitas gas. Saat ini PT. XYZ mengoperasikan kolom kontaktor TEG dengan *Bubble Cap Tray*. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja beberapa jenis *packing bed* sebagai alternatif desain untuk meningkatkan efisiensi proses. Empat jenis *packing Mellapak, Berl Saddles, Intalox-A, dan Pall Ring* disimulasikan menggunakan Aspen HYSYS V14 dengan model NRTL untuk menggambarkan keseimbangan fasa gas TEG. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Pall Ring* memberikan performa paling baik berdasarkan efisiensi transfer massa, penurunan tekanan diferensial, dan kebutuhan energi yang lebih rendah. *Pall Ring* juga menunjukkan performa lebih efisien dibandingkan *Bubble Cap Tray* yang saat ini digunakan. Oleh karena itu, *Pall Ring* direkomendasikan sebagai desain optimal kolom kontaktor TEG di PT. XYZ karena menawarkan efisiensi energi dan biaya operasional yang lebih baik.

Kata Kunci: Kolom kontaktor TEG, *packing bed*, *Bubble Cap Tray*, Aspen HYSYS, dehidrasi gas

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 70% luas wilayahnya berupa perairan memiliki potensi sumber daya alam yang sangat besar, salah satunya adalah gas alam yang menjadi komoditas energi utama. Dalam pengolahan gas alam, salah satu proses yang sangat penting adalah dehidrasi gas, yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam gas sebelum disalurkan ke konsumen atau diekspor. Proses dehidrasi ini dilakukan dengan menggunakan *triethylene glycol* (TEG), yang berfungsi menyerap uap air dalam gas alam, sehingga kualitas gas yang dihasilkan memenuhi standar yang diperlukan [1].

Proses dehidrasi sangat bergantung pada desain kolom kontaktor TEG, yang berfungsi untuk memisahkan air dari gas alam. Di dalam kolom ini, aliran gas dan cairan TEG bersentuhan, dan proses pemisahan air dari gas terjadi. Pemilihan jenis *internals* yang digunakan pada kolom, seperti *packing bed* dan *tray*, sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pemisahan. Beberapa jenis *packing bed* yang sering digunakan adalah *pall ring*, *mellapak*, dan *berl*, yang menawarkan distribusi aliran cairan dan gas yang efisien [2]. Di sisi lain, *tray* seperti *bubble cap tray* memiliki kemampuan untuk menangani aliran gas yang lebih besar, meskipun dengan konsekuensi tekanan diferensial yang lebih tinggi dan konsumsi energi yang lebih besar [3].

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan gas alam dengan kapasitas produksi tinggi, di mana kualitas gas kering menjadi faktor penting untuk menjaga kinerja jaringan distribusi dan efisiensi energi. Berdasarkan data operasional, kolom kontaktor TEG di PT. XYZ masih menggunakan *bubble cap tray* sebagai internal utama. Meskipun *tray* ini cukup andal dalam menjaga kontak antara fasa gas dan cairan, perusahaan menghadapi

beberapa permasalahan, seperti peningkatan tekanan diferensial, konsumsi energi reboiler yang tinggi, serta biaya pemeliharaan yang besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap alternatif desain internal kolom yang lebih efisien dari sisi teknis maupun ekonomis.

Dalam sistem kolom absorpsi, tray dan packing bed merupakan dua jenis *internals* yang umum digunakan untuk meningkatkan luas kontak antara gas dan cairan. Tray seperti *bubble cap tray* bekerja dengan memaksa gas melewati cairan melalui lubang-lubang tray sehingga terjadi kontak intensif, namun memiliki tekanan diferensial yang tinggi. Sebaliknya, packing bed terdiri atas elemen-elemen berpori atau berstruktur (seperti *pall ring*, *mellapak*, *berl*, dan *intalox-A*) yang memungkinkan distribusi gas dan cairan secara merata dengan tekanan diferensial lebih rendah dan efisiensi energi lebih baik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas kinerja kolom kontaktor TEG dalam proses dehidrasi gas. Menurut Smith dkk. (2017), penggunaan *Structured Packing* seperti Mellapak mampu meningkatkan efisiensi transfer massa hingga 20% dibandingkan tray konvensional pada operasi tekanan menengah [4]. Studi lain oleh Rahman dan Idris (2019) menunjukkan bahwa *Pall Ring* memberikan penurunan tekanan diferensial yang signifikan serta konsumsi energi reboiler yang lebih rendah pada unit Depresiasi TEG skala lapangan [5]. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2020) mengungkapkan bahwa *bubble cap tray* memiliki kinerja stabil untuk variasi laju alir gas tinggi, namun tidak seefisien packing dalam hal distribusi cairan dan kebutuhan energi [6]. Kajian-kajian tersebut menjadi dasar penting bahwa pemilihan kolom internal sangat mempengaruhi efisiensi energi, tekanan diferensial, serta kualitas gas kering yang dihasilkan.

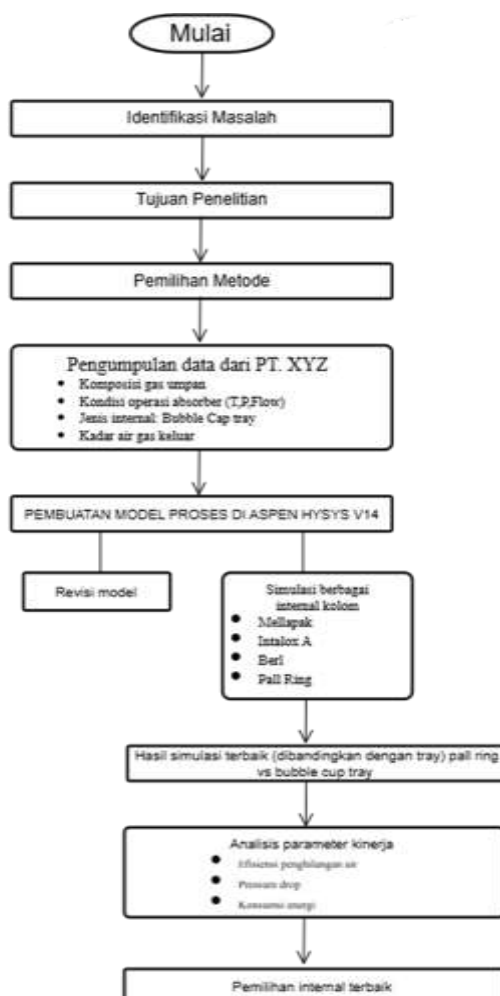
Seiring dengan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan biaya operasional, diperlukan upaya optimasi desain kolom kontaktor TEG di PT. XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan berbagai jenis *packing bed* dan tray guna menentukan jenis *internals* yang paling efisien dalam hal penggunaan energi, biaya operasional, dan kinerja dehidrasi. Empat jenis packing bed yang diuji adalah *Pall Ring*, *Mellapak*, *Intalox-A*, dan *Berl*, yang kemudian dibandingkan dengan *Bubble Cap Tray* yang saat ini digunakan di PT. XYZ. Meskipun *mellapak* dan *berl* menawarkan peningkatan kinerja dalam hal penurunan tekanan dan kapasitas aliran, keduanya tetap memiliki tantangan dari sisi biaya dan efisiensi energi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS V14 dengan metode termodinamika *NRTL (Non-Random Two-Liquid)* untuk menggambarkan keseimbangan fasa antara gas alam dan larutan TEG.

2. METODE

Studi ini dilakukan melalui pendekatan simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS V14 dengan metode termodinamika *NRTL (Non-Random Two-Liquid)*. Model NRTL dipilih karena mampu merepresentasikan interaksi molekul pada sistem non-ideal yang melibatkan komponen polar seperti *Triethylene Glycol* (TEG) dan air, serta non-polar seperti gas hidrokarbon. Model ini efektif untuk sistem cair-cair atau cair-uap yang memiliki perbedaan polaritas tinggi, sehingga memberikan perhitungan yang lebih akurat terhadap keseimbangan fasa (*vapor-liquid equilibrium*) dan entalpi campuran pada proses dehidrasi gas alam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja kolom kontak TEG dalam proses dehidrasi gas alam. Fokus penelitian ini adalah membandingkan empat jenis *packing bed* (*Mellapak*, *Berl*, *Intalox-A*, dan *Pall Ring*) serta satu jenis Tray (*Bubble Cap Tray*) guna menentukan konfigurasi internal yang paling optimal berdasarkan efisiensi dehidrasi, penurunan tekanan, dan konsumsi energi.

Langkah yang dilakukan dalam penelitian diawali dengan pengambilan data dari unit dehidrasi gas milik PT. XYZ yang menggunakan sistem TEG. Data yang dikumpulkan meliputi

komposisi gas umpan, kondisi operasi kolom absorber, jenis *tray* yang digunakan (*Bubble Cap Tray*), tekanan dan temperatur operasi, serta kadar air pada gas keluaran. Berdasarkan data tersebut, model proses dehidrasi gas kemudian dibuat menggunakan Aspen HYSYS V14 dengan memasukkan kondisi operasi dan data feed yang sama seperti pada lapangan aktual.



Gambar 1. Flow Diagram Metode Penelitian

Pada tahap simulasi, digunakan *property package Extended NRTL* untuk menggambarkan perilaku termodinamika sistem non-ideal antara TEG, air, dan hidrokarbon. Simulasi awal dilakukan menggunakan konfigurasi *bubble cap tray* yang saat ini digunakan oleh PT. XYZ, dan hasilnya dibandingkan dengan data aktual untuk memastikan kesesuaian model terhadap kondisi lapangan, khususnya pada parameter tekanan, temperatur, serta kadar air gas keluar. Setelah model tervalidasi, desain internal kolom diubah dengan menggunakan berbagai jenis *packing bed*, yaitu *mellapak*, *intalox-a*, *berl*, dan *pall ring*. Setiap konfigurasi diuji melalui simulasi untuk menganalisis parameter kinerja seperti efisiensi penghilangan air, penurunan tekanan (*pressure drop*), dan konsumsi energi. Dari hasil simulasi, jenis *packing* dengan performa terbaik yaitu *Pall Ring*, kemudian dibandingkan kembali dengan desain *bubble cap tray* aktual guna menilai peningkatan efisiensi dan potensi penghematan energi. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, ditentukan jenis internal kolom TEG yang paling efisien dan ekonomis untuk kondisi operasi di PT. XYZ.

3. PEMBAHASAN

A. Perbandingan Simulasi dan Data Aktual

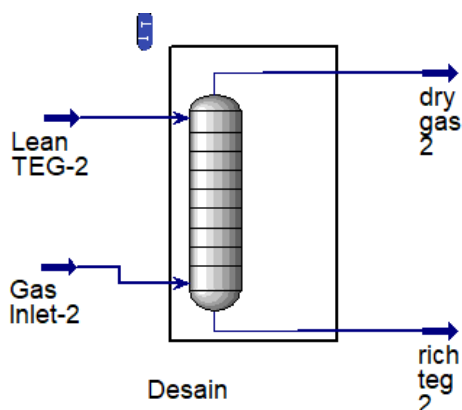
Pada penelitian ini, dilakukan optimasi desain internal kolom kontaktor TEG dengan membandingkan berbagai jenis struktur *packing bed*, termasuk perbandingan antara simulasi yang menggunakan data aktual dari PT. XYZ dan hasil simulasi desain yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses dehidrasi gas alam. Proses dehidrasi gas alam menggunakan TEG memiliki peran penting dalam pengurangan kandungan air pada gas sebelum disalurkan atau diekspor. Data yang digunakan untuk simulasi mencakup parameter teknis yang relevan, seperti suhu, tekanan, aliran molar, dan komposisi gas. Tabel 1 menyajikan hasil simulasi dari data aktual yang diperoleh dari PT. XYZ dengan kondisi operasi kolom kontaktor TEG berada pada tekanan sekitar 365 psig dan temperatur operasi 108°F, dengan laju alir gas sekitar $6,37 \times 10^6$ lbmole/jam dan kadar air keluaran maksimum 7 lb/MMscf. Kondisi ini dijadikan acuan dalam pemodelan di Aspen HYSYS untuk memastikan hasil simulasi mewakili kondisi aktual proses.

Tabel 1. Hasil Simulasi dengan Data Aktual

Parameter	Units	Design Case	Normal Case
Temperature	°F	108	108
Pressure	psig	365	365
Molar Flow	lbmole/hr	6.379.227	5.967.019
Std Gas Flow	MMSCFD	58.10.00	54.35.00
Mass Flow (Gas)	lb/hr	115464	107700
Nitrogen	% - mol	458.735	458.792
Oxygen	% - mol	0.00000	0.00000
Methane	% - mol	8.937.103	8.937.179
Ethane	% - mol	337.917	337.898
Propane	% - mol	121.848	121.847
i-Butane	% - mol	0.23435	0.24333

Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi dengan data desain. Simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengoptimasi efisiensi operasional dengan mengkaji kinerja sistem berdasarkan parameter teknis dan biaya operasional yang telah disesuaikan. Dari hasil simulasi didapatkan kolom kontaktor TEG beroperasi pada tekanan sekitar 380 psig dan temperatur keluar gas sebesar 119°F, sedikit lebih tinggi dibandingkan kondisi aktual sebesar 108°F. Laju alir gas keluaran mencapai 52 MMSCFD, menunjukkan peningkatan kapasitas alir sekitar 4% dibandingkan kondisi aktual sebesar 50,6 MMSCFD. Selain itu, efisiensi penghilangan air meningkat dengan kadar air gas keluar yang lebih rendah, serta terjadi penurunan konsumsi energi reboiler sekitar 10–15% dibandingkan kondisi aktual. Secara keseluruhan, hasil simulasi

data desain menunjukkan bahwa sistem yang disimulasikan memberikan kinerja dehidrasi yang lebih efisien dan ekonomis dibandingkan dengan kondisi aktual di PT. XYZ.



Gambar 2. Diagram Alir Sederhana Kolom Kontaktor TEG

Gambar 2 menunjukkan diagram alir sederhana kolom kontaktor TEG yang digunakan dalam proses dehidrasi gas alam. Gas basah (*Gas Inlet-2*) masuk ke kolom melalui bagian bawah dan mengalir ke atas melewati tray atau packing, sedangkan larutan glikol murni (*Lean TEG-2*) dialirkan dari bagian atas kolom dan mengalir ke bawah secara berlawanan arah dengan aliran gas. Di dalam kolom terjadi proses kontak antara gas dan larutan TEG, di mana uap air dalam gas diserap oleh TEG sehingga menghasilkan gas kering (*Dry Gas-2*) yang keluar dari bagian atas kolom. Sementara itu, larutan TEG yang telah jenuh air (*Rich TEG-2*) keluar dari bagian bawah kolom dan dialirkan menuju unit regenerasi untuk dipisahkan kembali dari air sebelum digunakan ulang.

Tabel 2. Hasil Simulasi dengan Data Desain

Parameter	Units	Lean TEG-2	Gas Inlet-2	Dry Gas-2	Rich TEG-2
Temperature	°F	110	108	119.01.00	115.02.00
Pressure	psig	385	380	380	380
Molar Flow	kmole/h	163.03.00	2894	2822	235.01.00
Std Gas Flow	MMSCFD	58.10.00	54.35.00	52.10.00	50.58.00
Mass Flow (Gas)	kg/h	38064	51954	49454	40554
Methane	% - mol	6,213194	6,289583	0,973611	1,423611
Nitrogen	% - mol	0.0000	0,31875	0,325	0.0023
Oxygen	% - mol	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethane	% - mol	0.0000	0,234722	0,229167	0,140972
Propane	% - mol	0.0000	0,084722	0,075	0,139583
i-Butane	% - mol	0.0000	0.0024	0.0017	0,069444

Untuk perbandingan antara hasil simulasi dari data Desain dengan data aktual yang diperoleh dari PT. X dan hasil simulasi desain pada Tabel 2 menunjukkan perbedaan di aliran massa gas, tekanan, dan suhu yang mempengaruhi untuk efisiensi proses.

B. Perbandingan Kinerja Berbagai Jenis *Packing Bed*

Perbandingan kinerja berbagai jenis *packing bed* dilakukan untuk mendapatkan jenis *packing bed* yang paling optimal ketika diaplikasikan pada kolom kontaktor TEG pada PT. XYZ. Jenis *packing bed* yang diuji dalam penelitian ini adalah *pall ring*, *mellapak*, *berl*, dan *intalox-A*. Keempat jenis *packing bed* ini memiliki karakteristik dan kinerja yang berbeda dalam hal distribusi aliran cairan, kapasitas pemisahan, dan konsumsi energi. Perbandingan kinerja *packing bed* dengan menggunakan Aspen Hysys V14 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Kinerja *Packing Bed*

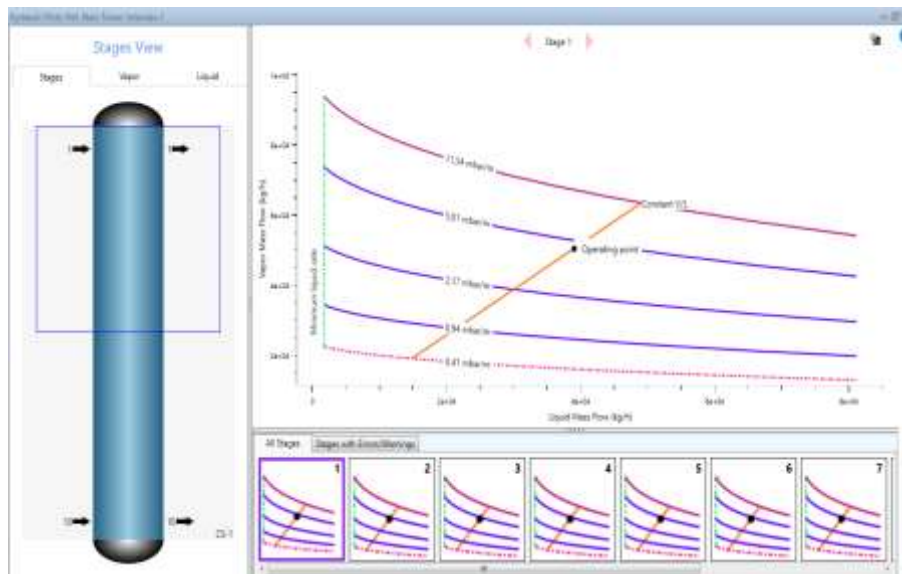
Parameter	<i>Pall Ring</i>	<i>Mellapak</i>	<i>Berl</i>	<i>Intalox-A</i>
<i>Pressure Drop (kPa)</i>	150	180	160	170
<i>Energy Consumption (kW)</i>	350	380	360	370
<i>Water Removal Efficiency (%)</i>	95	92	94	93
<i>Capacity (m³/h)</i>	2.500	2.300	2.400	2.350

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa *pall ring* menunjukkan penurunan tekanan sebesar 150 kPa. Jika dibandingkan dengan *pall ring*, *mellapak* menunjukkan penurunan tekanan tertinggi, yaitu 180 kPa, diikuti oleh *berl* (160 kPa) dan *intalox-A* (170 kPa). Penurunan tekanan yang lebih rendah terkait dengan penggunaan energi yang lebih efisien. Dalam penggunaan energi, *pall ring* (350 kW) memerlukan energi paling kecil dibandingkan dengan *mellapak* (380 kW), *intalox-A* (370 kW), dan *berl* (360 kW). *Pall Ring* juga menunjukkan performa terbaik dalam hal efisiensi penghilangan air, dengan tingkat efisiensi mencapai 95% jika dibandingkan dengan *berl* (94%), *intalox-A* (93%), dan *mellapak* (92%). *Pall Ring* memiliki kapasitas aliran gas tertinggi, yaitu 2500 m³/h. Ini berarti *Pall Ring* dapat menangani lebih banyak gas sekaligus dibandingkan jenis lainnya. *Mellapak*, *Berl*, dan *Intalox-A* masing-masing memiliki kapasitas aliran gas sebesar 2.300 m³/h, 2.400 m³/h, dan 2.350 m³/h. Berdasarkan parameter-parameter ini, *Pall Ring* menunjukkan performa terbaik dalam hal efisiensi energi, penurunan tekanan, efisiensi penghilangan air, dan kapasitas, menjadikannya pilihan yang lebih unggul dibandingkan dengan jenis *packing bed* lainnya.

C. Hasil Simulasi *Pall Ring* dan *Bubble Cap Tray*

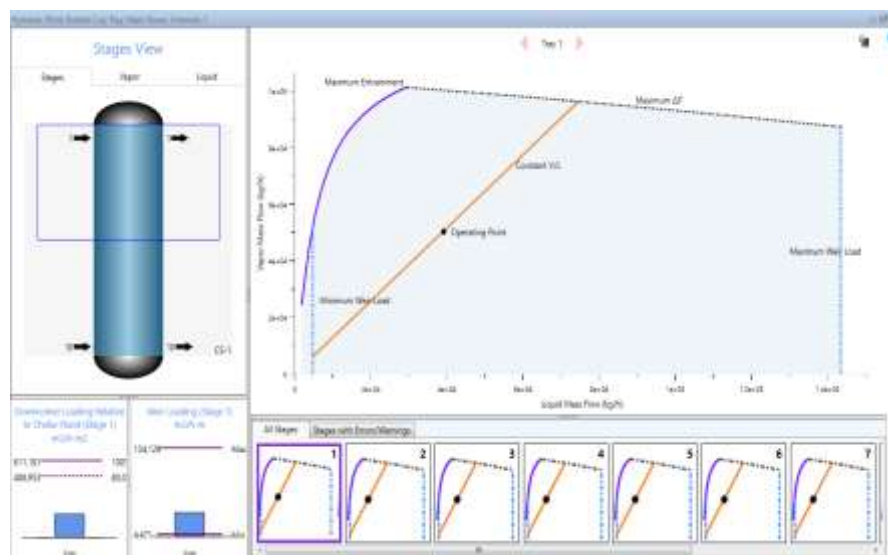
Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 2 dan 3, dapat dilihat perbandingan yang digunakan dalam desain kolom dehidrasi TEG dengan menggunakan *pall ring* dan *bubble cap tray* secara berurutan. Pada simulasi menggunakan *pall ring*, grafik yang terdapat pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara aliran massa cair dan uap dengan tekanan yang terjadi di setiap tahap. Titik operasional pada grafik ini menunjukkan aliran massa cair sebesar 3,94e+04 kg/h dan aliran massa uap sebesar 5,09e+04 kg/h. Grafik ini menunjukkan bahwa titik operasional berada pada jalur antara kurva constant V/L dan minimum *weir load*, yang mengindikasikan efisiensi dalam distribusi aliran cair dan gas. Selain itu, kolom dengan *pall ring* dapat bekerja pada kapasitas optimal tanpa melampaui batas kemampuan tekanan yang dapat ditangani oleh sistem, dengan pengaturan pembebanan yang efisien. Pada simulasi dengan *bubble cap tray* yang ditunjukkan pada Gambar 3, grafik menunjukkan titik operasional dengan nilai aliran massa cair sebesar 3,89e+04 kg/h dan aliran massa uap sebesar 5,06e+04 kg/h. *Tray* ini dapat menangani kapasitas aliran yang lebih tinggi, efisiensi operasionalnya lebih rendah dibandingkan *pall ring*, dengan peningkatan konsumsi

energi yang lebih besar dan tekanan diferensial yang lebih tinggi. Sehingga disimpulkan bahwa *pall ring* efisien dalam hal biaya operasional dan energi apabila dibandingkan dengan *bubble cap tray*, meskipun *bubble cap tray* dapat menangani kapasitas aliran yang lebih besar.



Gambar 3. Hasil Simulasi dengan *Pall Ring*

Seperti yang ditunjukkan Gambar 3 pada Simulasi dengan jenis *pall ring* menunjukkan hasil yang optimal dalam dehidrasi gas menggunakan TEG. Titik operasional pada aliran massa cair $3,94 \times 10^4$ kg/h dan aliran massa uap $5,09 \times 10^4$ kg/h memberikan kesetimbangan. Dengan pressure drop 150 kPa dan water removal efficiency 95%, *pall ring* memberikan efisiensi yang lebih baik dalam pemisahan air dari gas. Kolom dengan ukuran packing 1,5 inch dan ketinggian section packed 0,6890 meter memiliki kapasitas 2500 m³/h, sehingga lebih hemat energi dan biaya dibandingkan dengan packing bed lainnya.



Gambar 4. Hasil Simulasi dengan *Bubble Cap Tray*

Gambar pada simulasi *Bubble Cap Tray*, titik operasi terletak pada aliran cairan $3,898 \times 10^4$ kg/h dan aliran uap $5,063 \times 10^4$ kg/h. Ini menunjukkan kapasitas aliran yang tinggi

meskipun dengan tekanan diferensial yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *packing bed* seperti *pall ring*. Hasil ini mencerminkan efisiensi pemisahan yang baik, meski dengan konsumsi energi yang lebih tinggi. Proses dehidrasi tetap optimal bila aliran cairan dan uap dikendalikan dengan tepat sesuai dengan kondisi operasi pada grafik .

D. Perbandingan Kinerja antara Pall Ring dan Bubble Cap Tray

Tabel 4. Perbandingan Kinerja Pall Ring dan Bubble Cap Tray

Parameter	Pall Ring	Bubble Cap Tray
<i>Number of Stages</i>	10	10
<i>Total Height (m)</i>	10.00	10.00
<i>Total Head Loss (mm)</i>	793.2	1534
<i>Total Pressure Drop (mbar)</i>	62.50	120.8
<i>Number of Sections</i>	1	1
<i>Number of Diameters</i>	1	1

Dalam perbandingan antara *Pall Ring* dan *Bubble Cap Tray* pada kolom absorber, *Pall Ring* menunjukkan kinerja yang lebih efisien, terutama dalam hal *head loss* dan *pressure drop*. Dengan *total head loss* sebesar 793,2 mm dan *total pressure drop* yang lebih rendah (62,5 mbar), *Pall Ring* menawarkan aliran yang lebih mudah dan efisien, mengurangi beban pada sistem pompa. Hal ini dapat meningkatkan kinerja operasional kolom absorber, karena tekanan yang lebih rendah berarti lebih sedikit energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida. Efisiensi ini juga berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dalam jangka panjang.

Sebaliknya, *Bubble Cap Tray* memiliki *head loss* yang lebih tinggi (1534 mm) dan *total pressure drop* yang lebih besar (120,8 mbar), yang menunjukkan adanya lebih banyak resistensi terhadap aliran fluida. Meskipun desain *Bubble Cap Tray* memberikan kontak yang lebih baik antara uap dan cairan, meningkatkan efisiensi dalam pemisahan atau proses absorpsi, peningkatan tekanan yang lebih besar dapat menyebabkan kebutuhan daya yang lebih tinggi untuk mengatasi resistensi tersebut. Hal ini dapat mengarah pada peningkatan biaya energi dan mempengaruhi efisiensi operasional secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, *Pall Ring* memberikan keuntungan dalam hal efisiensi energi dan pengurangan *pressure drop*, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi yang mengutamakan efisiensi operasional dan pengurangan biaya energi. Namun, *Bubble Cap Tray* tetap memiliki keunggulan dalam memberikan pemisahan atau absorpsi yang lebih efektif, meskipun dengan pengorbanan pada efisiensi energi.

E. Perbandingan Ekonomi antara Pall Ring dan Bubble Cap Tray

Selain analisis teknis mengenai *water removal efficiency* dan *pressure drop*, analisis ekonomi juga penting untuk menilai optimasi desain kolom kontaktor TEG. Untuk itu, simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan biaya operasional, termasuk konsumsi energi dan biaya pemeliharaan. Perbandingan biaya operasional dan energi yang dibutuhkan antara *pall ring* dan *bubble cap tray* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Biaya Operasional dan Konsumsi Energi

Parameter	<i>Pall Ring</i>	<i>Bubble Cap Tray</i>
<i>Energy Consumption (kW)</i>	350 kW	400 kW
<i>Reboiler Heat Duty (kJ/h)</i>	2.500.000	3.000.000
<i>Operating Cost (\$million/day)</i>	1,2	1,4
<i>Maintenance Cost (\$million/year)</i>	15	18

Dari segi konsumsi energi, *pall ring* membutuhkan 350 kW, lebih rendah dibandingkan *bubble cap tray* yang memerlukan 400 kW. Hal ini menunjukkan bahwa *pall ring* lebih efisien dalam penggunaan energi. Selain itu, *pall ring* juga memiliki *reboiler heat duty* yang lebih rendah, yaitu 2.500.000 kJ/h, dibandingkan dengan *bubble cap tray* yang membutuhkan 3.000.000 kJ/h. Dengan angka yang lebih rendah ini, *pall ring* dapat mengurangi beban energi yang diperlukan dalam proses, sehingga menurunkan biaya operasional.

Dari sisi biaya, *pall ring* juga lebih ekonomis dengan biaya operasional harian yang lebih rendah, yaitu 1,2 juta USD/hari dibandingkan dengan 1,4 juta USD/hari pada *bubble cap tray*. Selain itu, biaya pemeliharaan tahunan untuk *pall ring* juga lebih murah, yaitu 15 juta USD/tahun, sedangkan *bubble cap tray* menghabiskan 18 juta USD/tahun. Dengan demikian, penggunaan *pall ring* memberikan keuntungan ekonomis yang lebih besar, yang tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga mendukung optimasi dalam jangka panjang, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk proses pengolahan glikol.

Tabel 6. Perbandingan Konsumsi Energi dan Biaya Operasional

Summary	Utilities	Unit operation	Equipment	Multi-diameter tower	
	Name	Equipment Cost [USD]	Installed Cost [USD]	Equipment Weight [LBS]	Installed Weight [LBS]
▶	Mellapak	267.800	522.500	38000	60804
▶	Berl	175.900	404.700	56700	76581
▶	Pall	105.900	318.400	20100	38360
▶	Bubble Cup Tray	188.500	420.300	33600	55125
▶	Intalox-A	306.100	564.400	57500	80304

Perbandingan konsumsi energi dan biaya operasional jenis *packing bed* dan *tray* ditampilkan pada Tabel 6. Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa desain internal pada kolom *pall ring* terbukti sebagai pilihan terbaik dalam hal efisiensi teknis dan biaya. Dari segi biaya yang telah dihitung, *pall ring* memiliki *equipment cost* yaitu sebesar 10.900 USD dan *installed cost* yaitu sebesar 318.400 USD dan jauh lebih rendah dibandingkan dengan jenis *packing* lainnya seperti *bubble cap tray* sebesar 420.300 USD dan *intalox-A* sebesar 564.400 USD. Selain itu, jenis *pall ring* juga mempunyai berat dari peralatan yang lebih ringan, yaitu 20.100 lbs, yang berdampak positif pada pengurangan biaya instalasi dan perawatan. Keunggulan lainnya adalah *pall ring* dapat menghasilkan distribusi dari cairan dan gas yang lebih merata, mengurangi risiko dari *flooding*, dan dapat menurunkan tekanan dalam kolom kemudian dari aspek keekonomian, *pall ring* memberikan penghematan biaya investasi sebesar ±101.900 USD yaitu sekitar 24% dibandingkan *bubble cap tray*, serta akan mengurangi total biaya operasional tahunan hingga 12%-15%, berkat penghematan energi pada bagian reboilernya dan

pengurangan biaya perawatan. Dengan kombinasi biaya yang lebih rendah dan performa yang lebih baik, *pall ring* menjadi opsi paling optimal baik dari segi investasi awal (CAPEX) maupun biaya operasional (OPEX), serta menghasilkan periode pengembalian investasi (*payback period*) yang lebih cepat, yakni dalam waktu 8–10 bulan lebih cepat dibandingkan dengan desain berbasis *mellapak* atau *intalox-A*.

4. SIMPULAN

Hasil simulasi dengan menggunakan Aspen HYSYS V14 telah menunjukkan bahwa *pall ring* memiliki performa yang paling optimal dibandingkan dengan jenis *packing* lainnya, dengan efisiensi dehidrasi tertinggi dan konsumsi energi yang paling rendah. Jika dibandingkan dengan *bubble cap tray* yang saat ini digunakan di PT. XYZ, *pall ring* memang telah memberikan penghematan energi dan biaya operasional yang signifikan serta penurunan tekanan kolom yang lebih kecil dibandingkan jenis-jenis lainnya. Dari sisi keekonomian dapat dilihat *pall ring* menunjukkan biaya pada investasi awal (CAPEX) dan biaya operasional (OPEX) yang memang lebih rendah, serta waktu pengembalian investasi yang lebih cepat. Dengan demikian, *pall ring* direkomendasikan sebagai desain internal kolom TEG yang paling efisien untuk meningkatkan kinerja unit dehidrasi gas di PT. XYZ.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Towler, G., & Sinnott, R., *Chemical Engineering Design: Principles, Practice, and Economics of Plant and Process Design*, 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2022, hal. 120-145.
- [2] Kister, K. S., "Packed Column Design and Performance," *Chemical Engineering Progress*, vol. 91, no. 10, pp. 45–53, 1995.
- [3] Mokhatab, M., Poe, W. A., & Speight, J. G., *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing*, 4th ed. Burlington: Gulf Professional Publishing, 2019, hal. 220-240.
- [4] Qyyum, M. A., Yaashuwanth, Z., & Lee, S., "Modeling and Optimization of TEG Dehydration System for Natural Gas Processing," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 83, pp. 104518–104527, 2020.
- [5] Liu, Q., & Zhang, Y., "Optimization of Triethylene Glycol Dehydration Systems in Gas Processing," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 175, pp. 38-44, 2020.
- [6] Arya, S., et al., "Effect of Packing Bed Design on Gas Absorption Efficiency," *Journal of Chemical Engineering*, vol. 58, no. 24, pp. 2218–2225, 2021.
- [7] Kumar, A., Jain, P., & Gupta, S. K., "Comparative Performance of Structured and Random Packings in Absorption Columns," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 58, no. 24, pp. 10567–10575, 2019.
- [8] Luyben, W. L., *Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2021, hal. 201-218.
- [9] Aspen Technology Inc., *Aspen HYSYS® Simulation Basis: Property Methods and Fluid Package Selection Guide*, Burlington, MA: AspenTech, 2023.
- [10] Pertamina EP Cepu, *Laporan Operasional CPP Gundih – Unit Dehidrasi Gas TEG*, Internal Technical Report, 2023, hal. 1-10.