

OPTIMASI SUBSTITUSI *TRAY* PADA PT XYZ DENGAN *STRUCTURED PACKING* GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI DAN KEEKONOMIAN PADA KOLOM *DEPROPANIZER*

Mohammad Alfian Maulana¹, Dhuha Fajriansyah¹, Margareta Videllia Chika R.¹, Tun Sriana^{1*}

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

*E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Kajian ini dilakukan dengan perbandingan kinerja *tray* dan *structured packing* pada kolom *depropanizer* dengan peninjauan efisiensi energi, dan keekonomian proses. Simulasi dilakukan pada kondisi operasi eksisting dan kondisi yang sudah dioptimasi, dengan perbandingan desain awal untuk mengevaluasi perubahan kebutuhan energi, distribusi tekanan, kualitas produk, serta biaya utilitas. Dari hasil simulasi, menunjukkan bahwa *structured packing* (*packed column*) memberikan *pressure drop* sebesar 3,692 mbar dan *head loss* hanya 83,28 mm, jauh lebih rendah dibandingkan *sieve tray* (269,7 mbar; 6082 mm), *bubble cap tray* (415,9 mbar; 93,84 mm), maupun *valve tray ballast* (488,1 mbar; 11.010 mm). Dari sisi keekonomian, *packed column* juga menghasilkan total biaya terendah sebesar 1.200.644 USD, sedangkan *sieve tray*, *valve tray ballast*, dan *bubble cap tray* berturut turut mendapatkan *cost* sebesar 2.065.916 USD, 2.160.416 USD, dan 2.288.416 USD sebelum optimasi. Setelah dilakukan optimasi, biaya peralatan lain meningkat (misalnya *bubble cap tray* naik hingga 2.855.580 USD), sementara *packed column* tetap stabil pada 1.200.644 USD dengan efisiensi operasi terbaik. Berdasarkan analisis keseluruhan, *packed column* terbukti memberikan efisiensi energi tertinggi, kualitas pemisahan yang lebih baik, serta biaya operasi paling rendah. Oleh karena itu, *packed column* dipilih sebagai desain kolom *depropanizer* yang paling optimal untuk aplikasi di industri PT XYZ.

Kata kunci: *Depropanizer, Tray, Packed Column, Efisiensi Energi, Optimasi Keekonomian*

1. PENDAHULUAN

Industri pengolahan minyak dan gas bumi memiliki peranan strategis dalam penyediaan energi dan bahan baku petrokimia. Salah satu unit penting di kilang adalah kolom *depropanizer*, yaitu kolom distilasi yang berfungsi untuk memisahkan propana dari campuran hidrokarbon ringan (C_3^+ , C_2^+ , dan komponen lainnya). Kinerja kolom *depropanizer* sangat menentukan kualitas produk serta efisiensi energi secara keseluruhan, mengingat distilasi merupakan proses yang menyerap konsumsi energi terbesar dalam kilang, yaitu mencapai 30–40% dari total energi [1]. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi kolom *depropanizer* menjadi fokus utama dalam optimasi kilang.

Efisiensi kolom distilasi sangat bergantung pada desain internals yang digunakan. Dua tipe internals yang umum diaplikasikan adalah *tray* (*plate*) dan *structured packing*. *Tray* banyak digunakan secara konvensional karena sederhana, relatif mudah dipasang, serta cukup fleksibel terhadap variasi beban operasi. Namun, *tray* memiliki kelemahan berupa *pressure drop* yang tinggi, kapasitas pemisahan yang terbatas, dan kebutuhan energi yang besar [2].

Sebaliknya, *structured packing* dirancang dengan geometri yang lebih teratur sehingga mampu memberikan luas permukaan kontak gas-cair yang tinggi, *pressure drop* rendah, serta distribusi aliran yang lebih merata. Kondisi ini membuat *structured packing* sering dianggap lebih unggul dalam hal efisiensi energi dan kapasitas pemisahan multikomponen [3]. Walau

demikian, implementasi structured packing memerlukan investasi awal lebih tinggi serta sensitivitas terhadap distribusi cairan yang tidak merata. Oleh karena itu, perbandingan kinerja tray dan structured packing pada kolom depropanizer perlu dilakukan secara komprehensif.

Kajian ini menjadi semakin relevan karena peningkatan efisiensi energi di kilang bukan hanya berdampak pada penghematan biaya operasional, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon. Dengan semakin ketatnya regulasi energi dan lingkungan, pemilihan desain internals yang tepat menjadi langkah strategis dalam mendukung keberlanjutan operasi kilang [4].

Penelitian ini berfokus pada pengoptimasian desain internal kolom depropanizer guna meningkatkan kinerja hidrolika, keekonomian proses dan efisiensi energi yang digunakan. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan beberapa jenis internal melalui simulasi Aspen Hysys. Perbandingan dilakukan pada kondisi operasi yang sama, sekaligus dilakukan evaluasi antara desain awal dan desain baru untuk melihat potensi perbaikan performa. Dari perubahan desain yang dilakukan, akan dicari perolehan konfigurasi kolom yang paling efisien baik dari perpindahan panas dan massa, pressure drop paling minim, serta total capital yang akan diinvestasikan.

2. METODE

Alat yang digunakan meliputi tiga software yaitu Ms. Excel. Ms Word dan ASPEN HYSYS Versi 14 dengan fluid package Peng-Robinson. Prosedur yang dilaksanakan meliputi studi literatur, pengumpulan data, simulasi dan optimasi dengan menggunakan software ASPEN HYSYS serta pencatatan percobaan trial error dengan Ms. Excel. Selanjutnya pembuatan literatur final ditulis dengan Ms. Word. spesifikasi dan kondisi operasi kolom depropanizer ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa jenis tray yang digunakan pada kolom depropanizer LS-T-1 adalah sieve tray dengan jumlah tray sebanyak 42 buah dan diameter kolom sebesar 1,524 m. Posisi vertikal pada kolom depropanizer ini umum digunakan untuk pemisahan fraksi ringan seperti propane. Nilai tray spacing sebesar 61 cm menunjukkan jarak antar tray yang berpengaruh pada efisiensi kontak antara gas-cair. Desain tekanan 26,4 kg/cm² dan temperatur 424,4 °F menunjukkan bahwa kolom ini beroperasi pada kondisi tekanan tinggi, sesuai untuk sistem hidrokarbon C₂–C₄. Sementara itu, temperatur operasi feed sebesar 167 °F dengan temperatur top kolom 127,4 °F menggambarkan profil suhu aktual yang digunakan dalam simulasi, sehingga hasil analisis dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Rincian spesifikasi kolom ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi dan Kondisi Operasi Kolom Depropanizer LS-T-1

Kolom Depropanizer LS-T-1	
Bentuk Kolom	Silinder
Posisi Kolom	Vertikal
Diameter Kolom	1,524 m
Jumlah Tray	42 Buah
Tipe Plate Tray	Sieve Tray
Tray Spacing	61 cm
Desain Tekanan	26,4 Kg/cm ²
Temperature Operasi Feed	167 oF
Temperature Operasi Top Kolom	127,4 oF
Temperature Operasi Bottom	222,8 oF

Kolom	
Tekanan Operasi Feed	23 Kg/cm ²
Tekanan Operasi Top Kolom	19,78 Kg/cm ²
Tekanan Operasi Bottom Kolom	21 Kg/cm ²
Flowrate Operasi Feed	487,5 Ton/hari
Flowrate Operasi Top Kolom	198,7 Ton/hari
Flowrate Operasi Bottom Kolom	288,8 Ton/hari
Flowrate Operasi Refluks	428,6 Ton/hari
Desain Temperature	424,4 °F

Data komposisi umpan pada kolom *depropanizer* LS-T-1 ditampilkan pada Tabel 2. Dari tabel dapat dilihat bahwa komposisi utama didominasi oleh fraksi propana (C₃) dan butana (C₄). Kandungan komponen propana (C₃ total) mencapai 44,3% mol (gabungan dari C₃ = dan C₃), sedangkan total fraksi butana (iC₄, nC₄, C₄=, C₄-Tr, dan C₄-Cis) mencapai sekitar 55,3% mol. Kemudian sisanya terdiri dari hidrokarbon yang lebih berat seperti iC₅ dan C₅= dalam jumlah kecil, masing-masing 0,37% dan 0,03% mol.

Tabel 2. Data Komposisi Umpan Kolom Depropanizer LS-T-1

Komponen	Umpan (%mol)
C ₃ =	33,10
C ₃	11,20
iC ₄	26,53
nC ₄	5,27
C ₄ =	13,87
C ₄ -Tr	5,77
C ₄ -Cis	3,87
iC ₅	0,37

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan simulasi proses untuk menganalisis perbandingan kinerja kolom *depropanizer* dengan penggunaan *tray* sebagai desain awal dan *structured packing* sebagai desain baru. Desain percobaan dirancang dengan membandingkan kedua konfigurasi internals tersebut pada kondisi operasi yang sama, sehingga hasil yang diperoleh dapat menunjukkan perbedaan performa secara objektif. Parameter yang dievaluasi meliputi efisiensi energi, yang dihitung dari kebutuhan panas reboiler dan beban pendinginan kondensor, serta kemampuan pemisahan multikomponen yang dianalisis berdasarkan komposisi fraksi produk dan *recovery* propana.

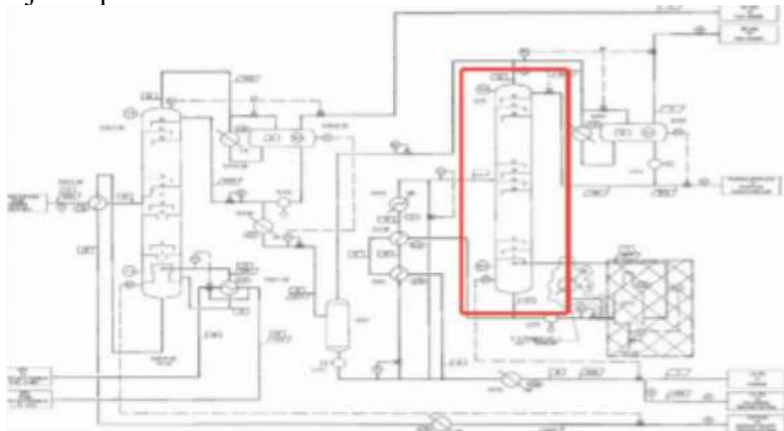
Untuk menjaga validitas perbandingan, dilakukan pengendalian variabel dengan menetapkan kondisi operasi identik pada kedua desain, seperti tekanan, temperatur, komposisi umpan, dan laju alir. Selain itu, produk yang dihasilkan dari proses juga diidentifikasi sesuai dengan kondisi existing sebelumnya. Model termodinamika yang digunakan juga disamakan, yaitu *equation of state Peng-Robinson*, serta jumlah stage teoritis dibuat setara agar perbedaan kinerja hanya disebabkan oleh perbedaan jenis internals. Hasil simulasi kemudian dianalisis

secara kuantitatif untuk membandingkan konsumsi energi, efisiensi pemisahan, serta potensi keuntungan desain baru dibandingkan desain awal. Dengan metode ini diharapkan diperoleh gambaran yang jelas mengenai efektivitas penggunaan *tray* dan *structured packing* pada kolom *depropanizer*, sehingga dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan desain kolom yang optimal pada skala industri.

3. PEMBAHASAN

A. Flow Diagram Proses

Kolom *depropanizer* merupakan unit pemisahan dalam industri pemrosesan gas yang berfungsi untuk mengisolasi fraksi propana (C_3) dari campuran hidrokarbon ringan (C_2 – C_4). Proses pemisahan ini mengandalkan prinsip distilasi fraksionasi, yang memanfaatkan perbedaan titik didih masing-masing komponen [5]. Detail *flow diagram* proses unit kolom *depropanizer* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Process Flow Diagram* Unit Kolom *Depropanizer*

Umpan yang merupakan campuran *etana* (C_2), *propana* (C_3), dan *butana* (C_4) diumpankan ke bagian tengah kolom. Di dalam kolom, terjadi kontak antara fase uap dan cair. Uap yang dihasilkan oleh *reboiler* di dasar kolom akan bergerak naik, membawa komponen yang lebih ringan dan lebih mudah menguap seperti propana. Sementara itu, komponen yang lebih berat, terutama *butana* (C_4), akan terkondensasi dan turun ke bawah untuk kemudian dikeluarkan sebagai produk bawah (*bottom product*) [6].

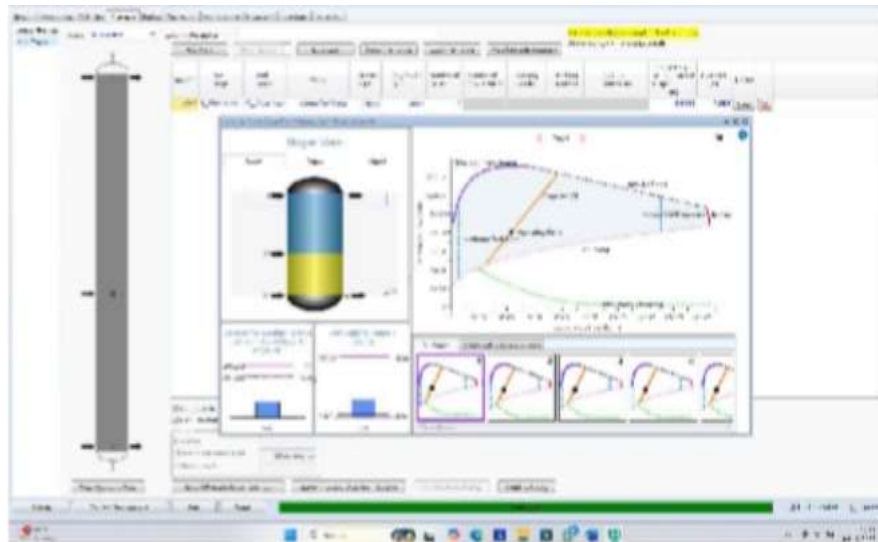
Uap yang mencapai puncak kolom kemudian dialirkan ke kondensor untuk diembunkan. Hasil kondensat ini sebagian dikembalikan ke kolom sebagai *reflux*; yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pemisahan dengan menyediakan aliran cairan yang kontak balik dengan uap yang naik. Sebagian lagi produk kondensat diambil sebagai produk atas (*overhead product*) yang merupakan *propana* dengan tingkat kemurnian tinggi [7].

Untuk menjamin efektivitas dan optimalisasi proses, parameter operasi seperti suhu, tekanan, dan laju alir *reflux* dikendalikan secara ketat. *Propana* murni yang dihasilkan dari proses ini selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai komponen utama dalam pembuatan LPG (*liquefied petroleum gas*) atau sebagai bahan baku untuk berbagai proses dalam industri petrokimia [8].

B. Optimasi Kegagalan Dalam Kolom

Pada kolom *depropanizer*, meskipun kondisi kegagalan operasi tersebut tidak terjadi secara aktual, hasil simulasi hidrolis menunjukkan bahwa titik operasinya berada sangat dekat dengan batas terjadinya *weeping*. Posisi operasi yang berdekatan dengan *weeping* ini mengindikasikan bahwa kolom beroperasi pada kondisi yang rentan. Fluktuasi kecil dalam laju umpan, komposisi, atau kondisi operasi (seperti tekanan dan suhu) berpotensi dengan mudah mendorong kolom ke dalam zona *weeping* (jika laju uap turun) [9].

Dalam hal ini optimasi desain kolom internal menjadi suatu keharusan. Desain awal yang menggunakan *sieve tray* dengan jarak antar tray 0,61 meter dan diameter kolom 1,5 meter serta *number of passes* awalnya 1 harus dilakukan optimasi. Hasil simulasi dari desain awal ini mengonfirmasi perlunya penyesuaian parameter, seperti mengoptimasi jumlah dan diameter lubang *tray*, meninjau ulang jarak antar *tray* (*tray spacing*), atau mengevaluasi kembali laju uap dan cairan yang diizinkan, untuk menciptakan *margin of safety* yang memadai. Tujuannya adalah untuk menjamin stabilitas operasi, mencegah kolom memasuki zona kegagalan, dan mempertahankan efisiensi pemisahan serta energi yang tinggi secara konsisten. Hasil simulasi kolom internal sebelum dilakukan optimasi disajikan pada Gambar 2.

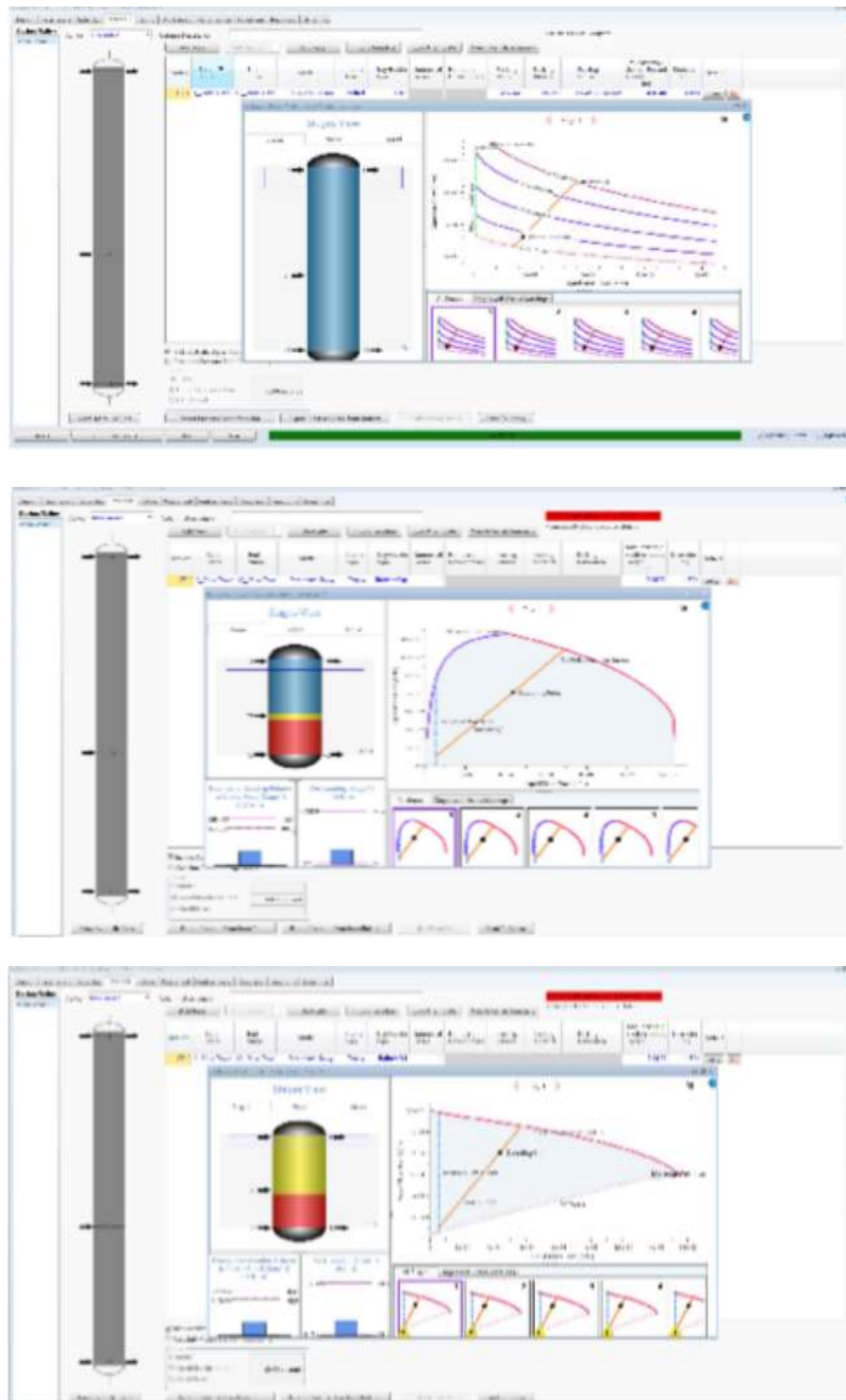


Gambar 2. Simulasi Kolom Internal Sebelum Optimasi

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa kolom *depropanizer* menunjukkan performa *hidraulik* yang belum stabil. Hasil simulasi memperlihatkan adanya indikasi mendekati batas *weeping*, dimana ini merupakan kondisi maldistribusi cairan pada *tray* kolom distilasi yang menyebabkan sebagian cairan (*liquid*) bocor melalui lubang *tray* tanpa sempat berinteraksi (berkontak) dengan uap yang naik sehingga perpindahan massa *liquid* kurang efektif dengan uap. Akibatnya, efisiensi *tray* menurun, jumlah stage teoritis yang efektif berkurang, dan pemisahan komponen tidak optimal. Hal ini dapat menyebabkan kemurnian produk atas maupun bawah berkurang, *yield* menurun, serta kinerja kolom secara keseluruhan menjadi tidak ekonomis karena energi dan utilitas terbuang tanpa menghasilkan kualitas pemisahan yang diinginkan. *Head loss* yang dihasilkan pun tinggi hingga mencapai 6082 mm dan *pressure drop* nya mencapai 269,7 mbar.

Untuk mengatasi *weeping* dan permasalahan lainnya pada kolom *depropanizer*, optimasi bagian internal kolom dilakukan. Perubahan parameter optimasi terhadap internal kolom dilakukan untuk mengetahui dan meningkatkan efisiensi dari hidrolika dalam kolom. Para-

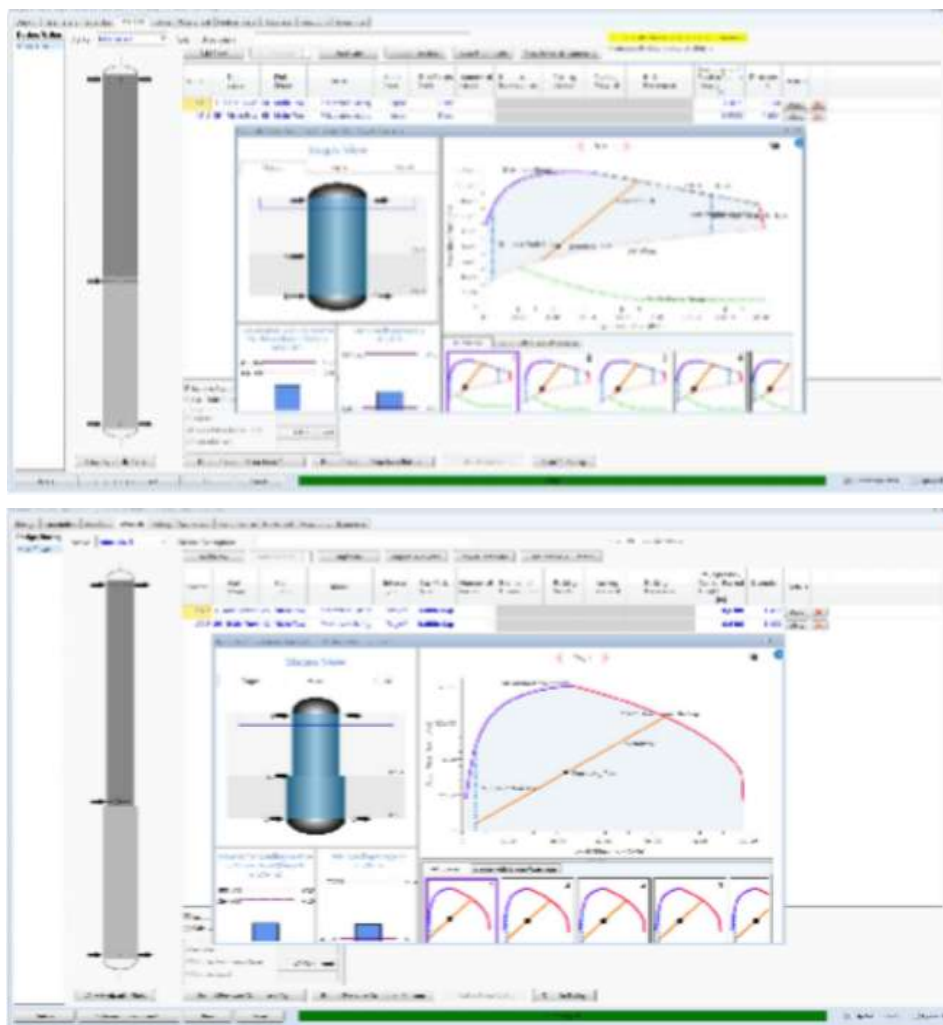
meter optimasi yang akan dilakukan diantaranya adalah perubahan jenis *tray* yang awalnya *sieve tray* diubah menjadi *bubble cap tray*, *valve tray ballast* dan *structure packed*. Perbandingan hasil simulasi *bubble cap tray*, *valve tray ballast* dan *structure packed* ditunjukkan pada Gambar 5.

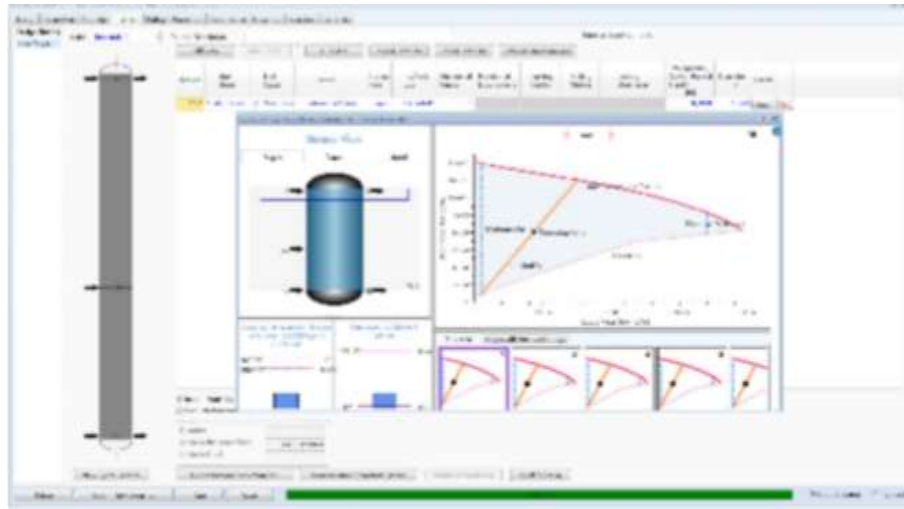


Gambar 3. Perbandingan hasil simulasi menggunakan *structure packed*, *bubble cap tray*, dan *valve tray ballast*

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa hanya pada *structure packed* yang sudah sesuai dengan hidrolika proses. Kondisi internal pada *bubble cap tray* mengalami *downcomer flooding*, sedangkan pada *valve tray ballast* mengalami *pressure drop* yang tinggi disertai dengan *downcomer flooding*. *Pressure drop* untuk *bubble cap tray* (415,9 mbar) dan *valve tray ballast* (488,1 mbar), mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan *packed column* (3,69 mbar). Jika dibandingkan dengan *valve ballast* (11.010 mm) *head loss* dari *packed column* (83,28 mm) dan *bubble cap tray* (93,84) mempunyai nilai yang lebih rendah.

Setelah didapatkan kondisi internal pada masing-masing *tray*, kemudian dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan kondisi hidrolika yang sesuai. Dari beberapa pengujian *trial and error* yang telah dilakukan didapatkan kondisi dari masing-masing internal kolom. Perbandingan hasil optimasi penggunaan *sieve tray*, *bubble cap tray*, dan *valve ballast tray* ditunjukkan pada Gambar 4. Penggunaan *bubble cap tray* dan *valve ballast tray* mendapatkan kondisi yang sesuai dengan hidrolika namun tidak untuk *sieve tray*.





Gambar 4. Perbandingan hasil optimasi Penggunaan *sieve tray*, *bubble cap tray*, dan *valve tray ballast*

Setelah dilakukan optimasi desain dan sizing alat, kolom *depropanizer* menunjukkan perbaikan kinerja yang signifikan. Perpindahan titik operasi pada kondisi *satisfactory* dan diagram *hidraulik* menuju zona aman antara garis “*minimum load*” dan “*ultimate capacity*” menandakan bahwa aliran uap dan cairan telah berada dalam keseimbangan yang lebih baik. Optimasi pada *sieve tray* dengan melakukan pembagian *tray spacing* menjadi 0,61 m pada tray 1-24 dan 0,7 pada tray 25-42. Hasil optimasi menunjukkan kondisi hidrolika dari *sieve tray* berada pada *satisfactory operation*. Meskipun kondisi operasi berada pada *satisfactory operation*, *head loss* dan *pressure drop* nya naik menjadi 6217 mm dan 272,5 mbar. Pada *structure packed* sendiri, setelah dilakukan beberapa trial simulasi, kondisi *existing* telah menunjukkan kondisi yang optimal. Untuk *bubble cap tray* setelah dilakukan optimasi mengalami peningkatan diameter menjadi 1,7 m pada tray 1-25 dan 2,1 m pada tray 26-42. Dari peningkatan diameter tersebut membuat *head loss* nya naik menjadi 7698 mm, namun untuk *pressure drop* nya turun menjadi 341,3 mbar. Peningkatan *tray spacing* menjadi 0,7 terjadi setelah dilakukan optimasi pada internal *valve tray ballast*. Dengan peningkatan *tray spacing* menyebabkan *head loss* dan *pressure drop* nya turun menjadi 9249 mm dan 410 mbar.

Kondisi-kondisi optimasi tersebut menghasilkan distribusi fase yang lebih stabil di sepanjang kolom, sehingga proses pemisahan antara *propana* dan *fraksi hidrokarbon* yang lebih berat menjadi lebih efisien. Selain itu, konsumsi energi pada sistem *reboiler* dan *kondensor* juga dapat ditekan karena kolom tidak lagi beroperasi di area mendekati batas *hidraulik*. Kemudian dari segala pengujian yang telah dilakukan, *packed column* terbukti memiliki efisiensi proses yang lebih baik daripada kolom yang lain. Hal ini dapat terlihat dari *head loss* yang minim dan *pressure drop* yang minim pula. Dengan demikian, hasil ini memberikan peningkatan efisiensi proses secara keseluruhan serta memperpanjang umur operasional kolom.

C. Optimasi Keekonomian

Dalam upaya meningkatkan efisiensi biaya dan kinerja operasional, dilakukan analisis perbandingan keekonomian antara kondisi *existing* dan kondisi setelah optimasi pada beberapa unit peralatan proses. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana optimasi mampu menurunkan total biaya melalui penyesuaian biaya peralatan, biaya instalasi, berat

peralatan, serta konsumsi utilitas [10]. Data kondisi awal sistem sebelum dilakukan proses optimasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Kondisi Awal Sistem sebelum Proses Optimasi

<i>Cost Simulasi Existing</i>						
<i>Name</i>	<i>Equipment Cost [USD]</i>	<i>Installed Weight [LBS]</i>	<i>Installed Cost [USD]</i>	<i>Equipment Weight [LBS]</i>	<i>Utility Cost [USD/HR]</i>	<i>Total Cost</i>
<i>Sieve Tray Column</i>	538900	184812	1239500	102610	93,7373	2065916
<i>Valve Tray Ballast Column</i>	583500	187312	1284400	105110	93,6814	2160416
<i>Packed Column</i>	230900	103240	828300	38110	93,6814	1200644
<i>Bubble Cap Tray Column</i>	643100	191512	1344400	109310	93,6814	2288416

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan optimasi, total biaya tahunan masing-masing peralatan masih cukup tinggi. Contohnya, *Bubble Tray Column* memiliki *total cost* sebesar 2.288.416 USD, *Packed Column* sebesar 1.200.644 USD, *Valve Ballast Column* sebesar 2.160.416 USD, dan *Sieve Tray Column* sebesar 2.065.916 USD. Nilai ini dipengaruhi oleh biaya peralatan, biaya instalasi, berat peralatan, dan konsumsi utility yang masih kurang efisien. Selain itu, perbedaan utility cost per jam antar peralatan menunjukkan bahwa sistem belum optimal secara operasional. Tabel 4 menampilkan data kondisi setelah dilakukan proses optimasi

Tabel 4. Cost Simulasi Optimasi

<i>Cost Simulasi Optimasi</i>						
<i>Name</i>	<i>Equipment Cost [USD]</i>	<i>Installed Weight [LBS]</i>	<i>Installed Cost [USD]</i>	<i>Equipment Weight [LBS]</i>	<i>Utility Cost [USD/HR]</i>	<i>Total Cost</i>
<i>Bubble Tray Column</i>	852700	248576	1597200	157010	93,6822	2855580
<i>Packed Column</i>	230900	103240	828300	38110	93,6814	1200644
<i>Valve Ballast Column</i>	599000	195704	1310800	111410	93,6822	2217008
<i>Sieve Tray Column</i>	571100	189743	1275600	106810	94,7308	2187724

Setelah dilakukan optimasi, terjadi perubahan signifikan pada beberapa parameter. Pada kondisi ini, terdapat penyesuaian pada *equipment weight* dan *installed weight* untuk meningkatkan efisiensi. Dampaknya, *total cost* pada peralatan mengalami peningkatan, seperti *Valve Ballast Column* (2.217.008 USD), *Sieve Tray Column* (2.187.724 USD), *Bubble Cap Tray* (2.855.580 USD), dan untuk *Packed Column total cost* yaitu sebesar (1.200.644 USD). Meskipun *total cost* dari peralatan naik setelah optimasi, optimasi ini memberikan efisiensi yang lebih baik secara operasional dan menunjukkan bahwa peralatan tertentu menjadi jauh lebih ekonomis setelah optimasi. Secara keseluruhan, optimasi berhasil menghasilkan sistem yang lebih efisien dengan pembagian biaya yang lebih tepat sasaran dan

pengurangan biaya pada unit-unit yang paling berpengaruh.

Berdasarkan hasil perbandingan antara kondisi *existing* dan setelah optimasi, *packed column* terbukti sebagai pilihan paling efisien secara ekonomi karena menawarkan keseimbangan terbaik antara biaya peralatan, biaya instalasi, berat peralatan, dan konsumsi utilitas. Seluruh skenario operasi telah disimulasikan secara menyeluruh menggunakan ASPEN HYSYS, termasuk variasi kondisi proses dan *trial and error*, dan hasilnya menunjukkan bahwa kondisi optimal yang diperoleh tetap konsisten, di mana *packed column* memberikan total biaya terendah dan efisiensi operasional tertinggi. Oleh karena itu, *packed column* dipilih sebagai alternatif terbaik dalam desain proses ini.

4. SIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa jenis internal kolom sangat memengaruhi performa hidrolika, efisiensi energi, pemisahan multikomponen, serta keekonomian pada kolom *depropanizer*. Pada kondisi *existing*, penggunaan *sieve tray* menunjukkan posisi operasi mendekati batas *weeping* dengan *heat loss* 6082 mm dan *pressure drop* 269,7 mbar, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi pemisahan. Setelah dilakukan optimasi dan perbandingan empat jenis internal (*sieve tray*, *bubble cap tray*, *valve tray ballast*, dan *structured packing*), *packed column* memberikan hasil paling unggul dengan *pressure drop* hanya 3,692 mbar dan *head loss* turun drastis menjadi 83,28 mm, menunjukkan stabilitas aliran uap-cair yang jauh lebih baik. Internal lain seperti *bubble cap* dan *valve tray* mengalami masalah *downcomer flooding* atau *pressure drop* tinggi (hingga 488,1 mbar) meskipun telah dioptimasi. Dari sisi keekonomian, sebelum optimasi *packed column* memiliki *total cost* terendah sebesar (1.200.644 USD), jauh lebih rendah dibanding *bubble cap tray* (2.288.416 USD), *valve tray ballast* (2.160.416 USD), dan *sieve tray* (2.065.916 USD). Setelah optimasi, *packed column* tetap konsisten sebagai opsi paling ekonomis dengan biaya yang tetap 1.200.644 USD, sedangkan peralatan lain mengalami kenaikan biaya hingga 2.855.580 USD pada *bubble cap tray*. Seluruh skenario operasi dan variasi kondisi proses yang diuji melalui ASPEN HYSYS menunjukkan bahwa *packed column* selalu memberikan kombinasi terbaik antara efisiensi energi, kualitas pemisahan, stabilitas hidrolika, dan total biaya. Secara umum, substitusi tray dengan *structured packing* terbukti menjadi strategi optimal untuk peningkatan performa kolom *depropanizer* karena memberikan jumlah produk yang tetap sama dengan efisiensi yang lebih optimal dari berbagai aspek dan layak diimplementasikan pada skala industri, serta dapat dijadikan acuan dalam desain kolom distilasi di kilang dan petrokimia lainnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. DAHMANE, *Étude De Dimensionnement De Dépropaniser Dans L'unité De GPL De Oued Noumer*. dspace.univ-ghardaia.edu.dz, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.univ-ghardaia.edu.dz/xmlui/handle/123456789/7972>
- [2] M. Mojto, K. L'ubušký, and M. Fikar, "Input Structure Selection for Soft-Sensor Design: Does It Pay Off?," 2023 24th International, 2023, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10217528/>
- [3] W. L. Luyben, "Control of distillation columns with dual steam and hot-oil reboilers," *Chemical Engineering and Processing-Process*, 2022, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270122002781>
- [4] Z. J. G. Qiang, "SELECTION OF C3 CUTTING SCHEME FROM LPG FOR PRODUCING HIGH PURITY ISOBUTANE," *PETROLEUM PROCESSING*, 2019, [Online]. Available: <http://www.sylzyhg.com/EN/abstract/abstract2830.shtml>
- [5] F. A. Rahmatika, Y. N. Ariq, S. Susianto, and F. Taufany, *Pra-desain pabrik LPG dari gas alam*. neliti.com, 2020. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/503606/pra-desain->

- pabrik- lpg-dari-gas-alam
- [6] J. C. Gentry, M. Bhargava, and C. Nelson, "Maximize LPG recovery from fuel gas using a dividing wall column, " *Hydrocarbon*, 2015, [Online]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA422196773&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00188190&p=ONE&sw=w>
 - [7] C. C. Tiong and J. Nandong, "Optimisation of Design and Operation Parameters for Multicomponent Separation via Improved Lewis-Matheson Method," *Chemical Product and Process*, 2017, doi: 10.1515/cppm-2017-0025.
 - [8] Y. Alcheikhhamdon, I. Pinnau, and M. Hoorfar, "Propylene-propane separation using Zeolitic-Imidazolate Framework (ZIF-8) membranes: Process techno-commercial evaluation," *Journal of Membrane*, 2019, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738819303096>
 - [9] F. Ahmad, N. Ahmad, and A. A. Z. Al-Khazaal, "Machine Learning-assisted Prediction and Optimization of Exergy Efficiency and Destruction of Cumene Plant under Uncertainty," *Engineering, Technology*, 2024, [Online]. Available: <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/6654>
 - [10] S. Gunasekaran, A. Jakkulwar, and S. Pradhan, "Low Cost Solution to Increase the C2 & C3 Product Recovery from LNG Feed," *International*, 2021, [Online]. Available: <https://onepetro.org/IPTCONF/proceedings-abstract/21IPTC/7-21IPTC/D071S022R003/460584>