

BAB X

TUGAS KHUSUS

X.1 Latar Belakang

Produksi Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) di PT Chandra Asri Pacific melibatkan penggunaan monomer etilena dan comonomer seperti butene-1 atau hexene-1 melalui proses polimerisasi. Selama proses berlangsung, terbentuk aliran gas buang (vent stream) dari unit reaktor, degasser, tangki penyimpanan, hingga sistem pemurnian. Gas buang ini umumnya mengandung hidrokarbon ringan dan monomer yang tidak bereaksi, sehingga apabila langsung dilepas ke atmosfer dapat menimbulkan permasalahan dari sisi ekonomi, keselamatan, maupun lingkungan. Dari sisi ekonomi, hilangnya monomer melalui vent berarti terdapat kehilangan bahan baku yang bernilai tinggi dan berpengaruh terhadap efisiensi produksi. Dari sisi keselamatan, akumulasi hidrokarbon dalam jumlah tertentu dapat menimbulkan potensi bahaya kebakaran atau ledakan jika tidak ditangani dengan baik. Sementara dari sisi lingkungan, emisi volatile organic compounds (VOC) yang dilepaskan secara langsung ke udara dapat menyebabkan pencemaran, meningkatkan pembentukan ozon troposferik, serta berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Seiring dengan meningkatnya tuntutan regulasi lingkungan serta kebutuhan industri untuk menekan biaya produksi, penerapan Vent Recovery System (VRS) menjadi sangat penting. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan, mendinginkan, memisahkan, serta mengompresi kembali aliran vent agar komponen hidrokarbon di dalamnya dapat dipulihkan dan dikembalikan ke proses utama. Melalui VRS, pabrik tidak hanya mampu mengurangi emisi ke lingkungan, tetapi juga memperoleh kembali monomer yang bernilai ekonomi tinggi. Hal ini berdampak positif terhadap penghematan bahan baku, pengurangan frekuensi penggunaan flare, serta peningkatan citra perusahaan dalam komitmennya terhadap prinsip keberlanjutan (sustainability).

Bagi PT Chandra Asri Pacific Tbk sebagai salah satu produsen petrokimia terbesar di Indonesia, penerapan VRS di plant LLDPE merupakan langkah strategis

untuk menjaga daya saing. Selain mendukung efisiensi operasional, keberadaan sistem ini juga memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan internasional serta kebijakan pemerintah terkait pengendalian emisi industri. Jadi, implementasi Vent Recovery System tidak hanya memberikan manfaat ekonomis, tetapi juga menjadi solusi komprehensif untuk mengatasi tantangan lingkungan dan keselamatan yang melekat pada industri polimer modern.

X.2 Dasar Teori

X.2.1 Gas Venting & Recovery Concept

Gas venting merupakan proses pelepasan gas buang dari suatu unit proses, baik untuk mengurangi tekanan berlebih maupun untuk menjaga stabilitas operasi. Dalam industri petrokimia, aliran vent ini biasanya mengandung senyawa organik volatil (VOC) seperti monomer, hidrokarbon ringan, dan inert gas. Jika dilepas langsung ke atmosfer, hal ini dapat menimbulkan kerugian ekonomi, risiko keselamatan, serta pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, konsep vent recovery dikembangkan untuk memulihkan kembali komponen berharga dari aliran vent sehingga dapat dikembalikan ke proses utama atau dimanfaatkan kembali (Mok et al., 2014).

Vent Recovery System (VRS) adalah rangkaian unit proses yang dirancang untuk menangkap dan memanfaatkan kembali uap/hidrokarbon yang biasanya dibuang melalui vent atau flare pada pabrik petrokimia dan kilang. Secara ekonomi, VRS mengurangi kehilangan bahan baku bernilai (mis. olefin) dan, secara lingkungan, menurunkan emisi VOC serta mengurangi flaring; kajian industri menunjukkan potensi penghematan energi dan pengurangan limbah substansial bila vent gas dipulihkan. Dalam praktiknya VRS menggabungkan tahap pendinginan/condensation, pemisahan fasa (flash/accumulator), dan sistem pemompaan atau kompresi untuk mengembalikan produk cair atau gas ke proses utama. Pilihan teknologi (kondensasi kriogenik, kondensasi konvensional, adsorpsi, membran, atau kombinasi/hybrid) ditentukan oleh komposisi gas, fraksi jejak komponen berharga, dan pertimbangan ekonomi-energi (Soltanieh et al., 2016)

X.2.2 Vapour Liquid Equilibrium

Prinsip kesetimbangan gas–cair menjelaskan kondisi ketika dua fase (gas dan cair) berada pada keadaan stabil sehingga tidak ada perubahan jumlah molekul bersih antara keduanya. Dalam praktik industri, prinsip ini diaplikasikan melalui proses flash separation, yaitu pendinginan atau penurunan tekanan aliran gas untuk memisahkan hidrokarbon berat ke fase cair, sementara komponen ringan tetap berada pada fase gas (Seader et al., 2011). Flash separation sangat penting dalam pengolahan gas buang karena memungkinkan pemulihan monomer seperti butene-1 dan hexene-1 melalui pengendalian kondisi suhu dan tekanan yang tepat.

X.2.3 Refrigeration System

Sistem refrigerasi adalah rangkaian proses yang digunakan untuk menurunkan temperatur suatu fluida atau ruang dengan cara memindahkan panas dari daerah bertemperatur rendah ke daerah bertemperatur tinggi. konteks industri petrokimia, sistem ini digunakan untuk mendinginkan aliran gas buang (*vent stream*) hingga mencapai titik embun hidrokarbon, sehingga komponen yang lebih berat dapat terkondensasi dan dipisahkan dari gas ringan. Prinsip kerja sistem refrigerasi mengacu pada siklus termodinamika, misalnya siklus kompresi uap (*vapor compression cycle*), yang melibatkan empat komponen utama: kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Melalui siklus ini, refrigerant menyerap panas dari aliran gas pada evaporator, kemudian melepaskan panas tersebut ke lingkungan pada kondensor.

Pemilihan refrigerant harus mempertimbangkan aspek termodinamika, keselamatan, dan lingkungan. Dalam *Vent Recovery System* (VRS), refrigerant yang sering digunakan adalah ethylene glycol untuk pendinginan moderat atau refrigerant kriogenik jika dibutuhkan suhu sangat rendah. *Heat exchanger* berperan penting dalam memfasilitasi perpindahan panas antara aliran vent gas dengan refrigerant. Desain yang tepat memastikan kapasitas pendinginan cukup untuk mencapai dew point komponen

hidrokarbon target tanpa konsumsi energi berlebih. Dengan demikian, sistem refrigerasi tidak hanya mendukung efisiensi pemisahan gas–cair, tetapi juga memastikan operasi VRS berjalan dengan stabil dan ramah lingkungan (Bolaji, B. O., & Huan, Z., 2013)

X.3 Pengumpulan Data

X.3.1 Proses Pengumpulan Data

Pengambilan data pengerjaan tugas khusus di lakukan di field dan DCS (*Distributed Control System*) room *Polyethylene Plant* UCC 1 pada periode waktu 1 September – 30 September 2025.

X.3.2 Data yang Diketahui

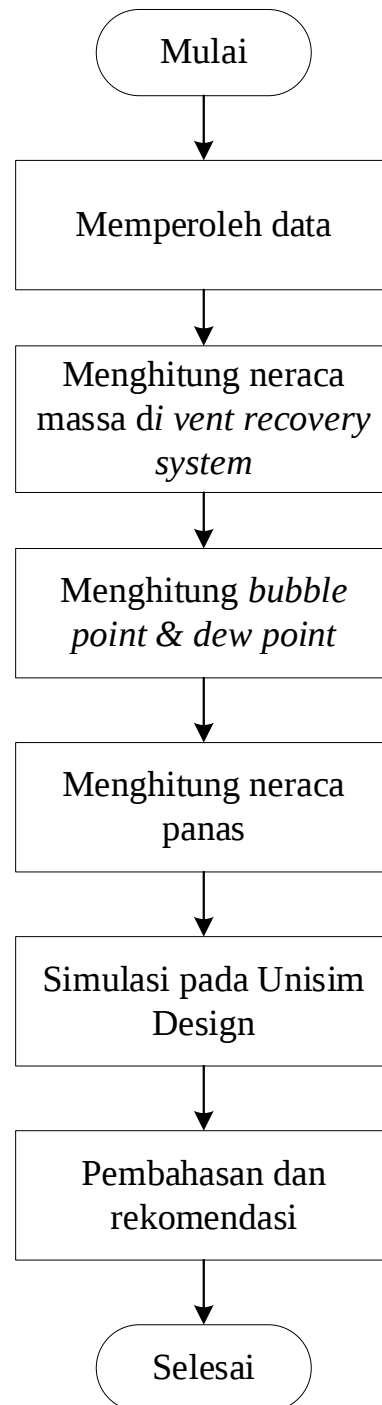
1. Suhu Gas *Product Purge Bin* (PPB) *Vent* : 102 °C
2. Tekanan Gas *Product Purge Bin* (PPB) *Vent* : 23,01 kg/cm²
3. Laju Alir Gas *Product Purge Bin* (PPB) *Vent* : 1000 kg/h
4. Fraksi mol gas
 - Etilen : 0,521892129551102
 - Hidrogen : 0,022697999914650
 - Nitrogen : 0,450760280243362
 - Butane-1 : 0,004649590290886
5. Laju Alir Refrigerant : 22000 kg/h
6. Suhu Refrigerant : -22 °C
7. Kondisi operasi alat

Tabel X. 1 Kondisi Operasi Alat

No	Alat	Kondisi Operasi
1.	Low pressure cooler	<i>Shell:</i> T In/Out = 33/40°C P = 4,5 kg/cm ² <i>Tube:</i> T In/Out = 102/40°C P In/Out = 0,064 kg/cm ²
2.	Low pressure accumulator	T = 40 °C P = 0,064 kg/cm ²

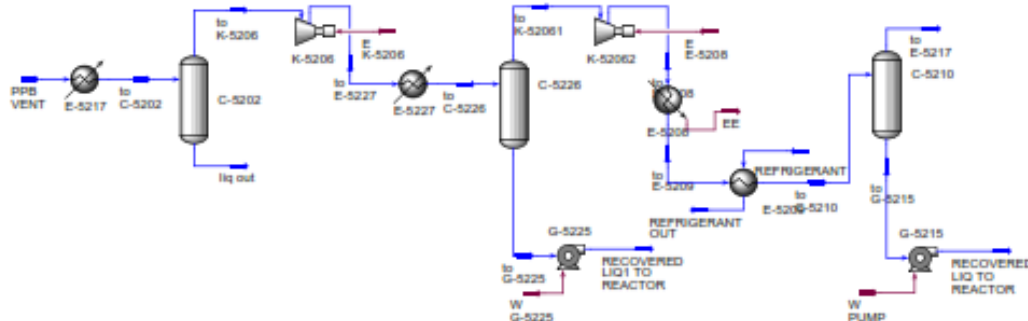
3.	1st Stage Vent Recovery Compressor	T = 476°C P Suct./Disc. = 0,064/3,5 kg/cm ²
4.	Interstage cooler	Shell: T In/Out = 33/40°C P = 4,5 kg/cm ² Tube: T In/Out = 476,4/40°C P In/Out = 3,5 kg/cm ²
5.	Interstage accumulator	T = 40 °C P = 3,5 kg/cm ²
6.	2nd Stage Vent Recovery Compressor	T = 148,3°C P Suct./Disc. = 3,5/10,6 kg/cm ²
7.	Interstage condensate return pump	P Suct./Disc. = 3,5/35 kg/cm ²
8.	High pressure cooler	Shell: T In/Out = 33/40°C P = 4,5 kg/cm ² Tube: T In/Out = 148,3/40°C P In/Out = 10,6 kg/cm ²
9.	High pressure condenser	Shell: T In/Out = -20/-14°C Tube: T In/Out = 125/28°C
10.	High pressure accumulator	T = -10 °C P = 10 kg/cm ²
11.	High pressure condensate return pump	P Suct./Disc. = 10,6/35 kg/cm ²

X.4 Skema Proses Perhitungan

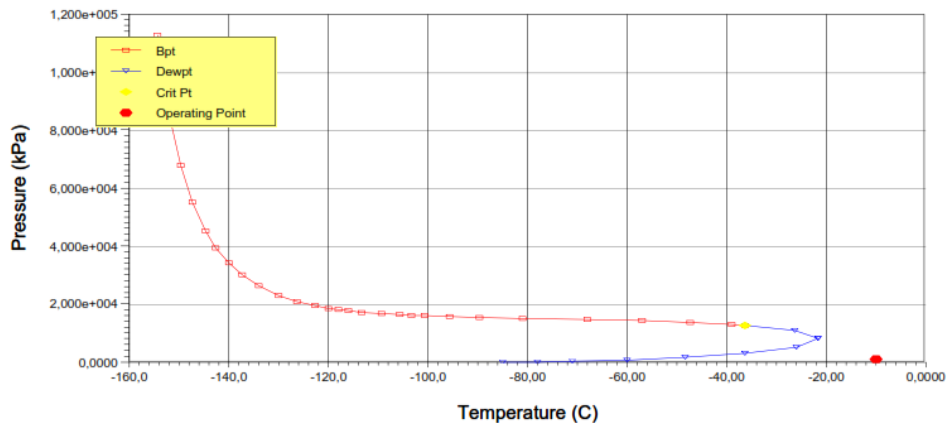


Gambar X. 1 Skema Proses Perhitungan

X.6 Hasil dan Pembahasan



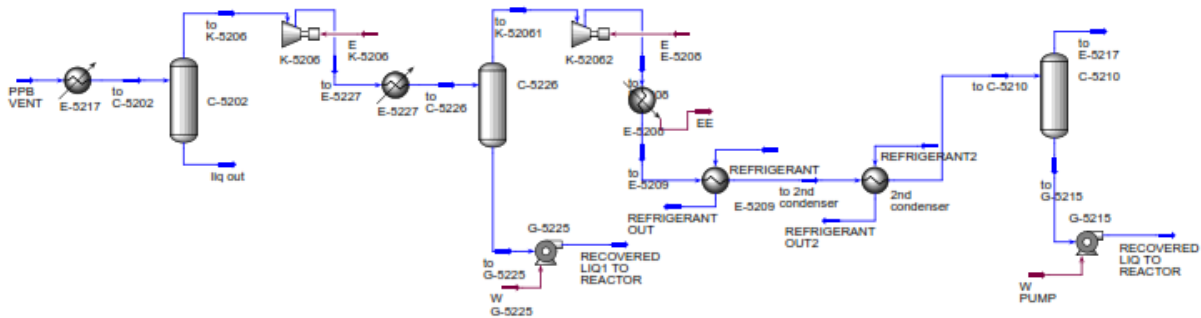
Gambar X. 3 Hasil Simulasi UNISIM Design



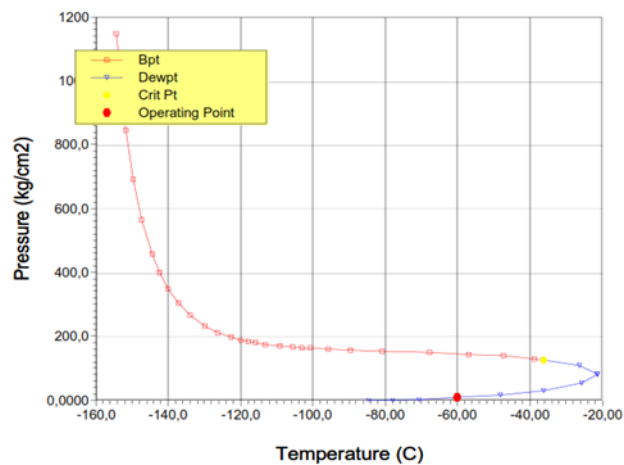
Gambar X. 2 Grafik Envelope Simulasi Aktual

Berdasarkan hasil simulasi dengan *UniSim Design*, terlihat bahwa komposisi 1-butene ($C_4=1$) di aliran *vent recovery system* tetap sekitar 0,465% dan tidak pernah muncul dalam fasa cair. Hal ini bisa dilihat dari data keluaran simulasi, di mana bagian *liquid out* maupun *recovered liquid* menunjukkan nilai 1-butene sama dengan 0. Artinya, sepanjang proses pendinginan dan pemisahan tidak ada 1-butene yang berhasil terkondensasi. Hasil ini juga sesuai dengan analisis pada *phase envelope* (C-5210). Pada grafik envelope tersebut, titik operasi sistem (*operating point*) berada di luar daerah *dew point*. Dengan demikian suhu pendinginan yang dicapai oleh sistem refrigerasi oleh *ethylene glycol* (sekitar $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada tekanan 10,4 bar) belum cukup rendah untuk masuk ke daerah dua fasa (gas-cair). Akibatnya, 1-butene tetap berada dalam fasa gas dan tidak bisa terkondensasi. Secara sederhana, penyebab utama tidak adanya kondensasi 1-butene dalam

simulasi adalah karena suhu operasi sistem refrigerasi tidak mampu mencapai kondisi dew point campuran. Jadi meskipun 1-butene memiliki sifat mudah terkondensasi dibanding gas ringan lain (seperti H_2 atau N_2), pada kondisi operasi yang ada saat ini dia tetap berada dalam bentuk gas.



Gambar X. 4 Hasil Simulasi Trial Penambahan Second Condensor



Gambar X. 5 Grafik Envelope Simulasi Trial Penambahan Condensor

Berdasarkan hasil simulasi trial, penambahan second condenser dengan menggunakan refrigerant R-23 (trifluorometana) pada kondisi operasi yang telah ditetapkan mampu menurunkan suhu sistem hingga $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga titik operasi sistem masuk ke dalam daerah dew point campuran. Pada kondisi ini, 1-butene berhasil mengalami kondensasi dan terbentuk fasa cair. Hasil ini membuktikan bahwa keterbatasan pada simulasi awal di mana sistem refrigerasi hanya dapat mencapai $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan belum mampu melewati kurva dew point dan dapat diatasi dengan menambahkan tahap kondensasi kedua menggunakan refrigerant bertitik

didih sangat rendah. Optimasi sistem refrigerasi menjadi strategi penting karena pendinginan dengan refrigerant eksisting terbukti tidak cukup untuk mencapai suhu dew point yang diperlukan. Oleh sebab itu, diperlukan upaya peningkatan kapasitas pendinginan atau penggantian fluida refrigerant dengan jenis yang lebih sesuai. Literatur menyebutkan bahwa refrigerant seperti R-23 atau hidrokarbon ringan seperti etana (R-170) dapat digunakan pada sistem kaskade untuk mencapai suhu hingga sekitar $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rajmane & Bhokare, 2017; Lu et al., 2019). Alternatif lain adalah penggunaan mixed refrigerant cycle atau cairan kriogenik (LN_2) yang mampu mencapai suhu di bawah $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Edeskuty & Williamson, 1983). Dengan strategi ini, temperatur keluaran pendinginan dapat diatur sehingga melampaui kurva dew point campuran dan memungkinkan 1-butene terkondensasi secara efektif.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, penambahan sistem refrigerasi dengan R-23 pada second condenser menghasilkan tambahan laju kondensasi 1-butene sebesar 0,22527 kg/jam dari total aliran 9,4607 kg/jam. Meskipun secara teknis unit tambahan ini berhasil menurunkan suhu sistem dan memfasilitasi terbentuknya fasa cair 1-butene, hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa implementasi sistem ini belum layak secara ekonomi dalam kondisi saat ini. Dengan asumsi harga butene sekitar USD 1.200/ton, potensi pendapatan tambahan dari 1-butene yang berhasil direcover hanya sekitar USD 2.100 per tahun. Selain itu, biaya investasi untuk pemasangan unit kondensor tambahan dan sistem refrigerasi tahap bawah juga cukup besar. Estimasi CAPEX diperkirakan mencapai sekitar USD 700.000, mengacu pada harga pasar peralatan kondensasi industri (Edeskuty & Williamson, 1983). Biaya pengadaan awal refrigerant R-23 pun relatif tinggi, yaitu sekitar USD 50–200/kg, tergantung harga pasar (Rajmane & Bhokare, 2017; Lu et al., 2019). Jika dibandingkan dengan pendapatan tahunan yang sangat kecil dan persentase recovery yang rendah, periode pengembalian investasi (Pay Out Time/POT) menjadi sangat panjang sehingga proyek ini tidak layak secara finansial. Dengan demikian, meskipun penggunaan R-23 secara teknis dapat menurunkan suhu sistem dan memungkinkan kondensasi 1-butene, manfaat ekonomi dari butene yang berhasil direcover tidak sebanding dengan biaya investasi yang diperlukan.