BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Petroleum

Petroleum merupakan bahan bakar fosil yang umumnya dikenal sebagai minyak bumi. Minyak bumi termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan memiliki peranan penting sebagai sumber energi dalam kehidupan. Minyak bumi terbentuk dari sisa-sisa organisme tumbuhan dan hewan berukuran mikroskopis yang mati, kemudian tertimbun pasir dan lumpur di dasar laut hingga membentuk lapisan zat organik yang kaya akan hidrokarbon. Untuk memperoleh minyak bumi dari dalam tanah diperlukan proses pengeboran. Hasil pengeboran berupa minyak mentah atau *crude oil* yang dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Salah satu fraksi minyak bumi yang terdapat pada aliran dari sumur gas atau sumur minyak bercampur gas adalah *condensate*.

Bahan baku utama yang digunakan oleh PT TPPI meliputi *condensate* dan *naphtha*. *Condensate* merupakan campuran hidrokarbon cair ringan yang mirip dengan *crude oil* namun jauh lebih ringan dengan nilai *API (American Petroleum Institute)* yang tinggi. *Condensate* biasanya dipisahkan dari aliran gas alam ketika suhu dan tekanan gas diturunkan ke kondisi atmosfer. Komponen utamanya terdiri dari *Natural Gas Liquid* dan *naphtha*, dengan nilai *API* berkisar antara 45 hingga lebih dari 70. Setelah dipisahkan dari gas alam, *condensate* umumnya diperlakukan seperti minyak mentah, yaitu dapat dicampur dengan aliran *crude oil* yang lebih berat atau langsung dikirim ke pasar melalui pipa maupun kapal tanker. *Condensate* dapat diolah di kilang apabila dicampur dengan minyak mentah konvensional atau diproses langsung di *condensate splitter* untuk dipisahkan menjadi komponen-komponennya. *Condensate* biasanya memiliki harga lebih rendah dibandingkan minyak mentah karena kandungan fraksi ringannya yang menghasilkan banyak *LPG* dan *naphtha* ringan bernilai rendah serta sulit diolah dalam jumlah besar di kilang (Mc Kinsey, 2019). Dalam industri PT TPPI, *petroleum* diproduksi di unit

platforming dengan produk yang dihasilkan antara lain *mogas 90*, *mogas 92*, *LPG*, *gas oil*, *kerosene*, *light naphtha*, *reformate*, dan *PTCF*.

II.2 Petrochemical

Petrokimia merupakan bahan atau produk yang dihasilkan dari minyak dan gas bumi. Secara umum, industri petrokimia dapat didefinisikan sebagai industri yang menggunakan produk minyak dan gas bumi sebagai bahan baku utamanya. Industri petrokimia secara umum terbagi menjadi dua bagian besar, yaitu industri petrokimia hulu dan industri petrokimia hilir. Industri petrokimia hulu berfokus pada pengolahan produk dasar (*produk primer*) menjadi produk setengah jadi (*produk antara*) seperti *Methanol*, *Ethylene*, *Propylene*, *Butadiene*, *Benzene*, *Toluene*, *Xylene*, *Fuel Coproducts*, *Pyrolysis Gasoline*, dan *Pyrolysis Fuel Oil*. Sementara itu, industri petrokimia hilir mengolah produk setengah jadi menjadi produk akhir yang siap digunakan, seperti plastik, pelarut (*Solvent*), zat peledak, karet sintetis, nilon, dan lainnya (Sulistyono, 2015). Produk petrokimia dihasilkan oleh PT TPPI melalui unit *Aromatic*. Produk yang dihasilkan meliputi *Benzene*, *Toluene*, *Orthoxylene*, *Heavy Aromatic*, dan *Paraxylene*.

II.3 Uraian Proses

II.3.1 Distilasi Fraksinasi

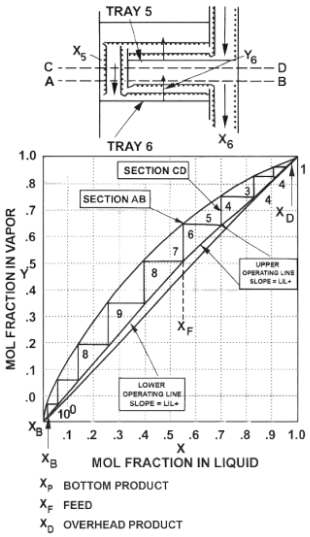
Prinsip pemisahan dengan metode distilasi didasarkan pada perbedaan titik didih dari masing-masing komponen dalam suatu campuran. Istilah yang umum digunakan dalam proses ini adalah *Volatilitas relatif* (α), yaitu konstanta rasio kesetimbangan antara dua komponen, misalnya $\alpha = K_1/K_2$. Nilai α berperan penting karena menentukan tingkat kesulitan (*degree of difficulty*) dari suatu proses pemisahan. Perbedaan titik didih tidak selalu menjadi penentu mudah atau sulitnya suatu pemisahan. Sebagai contoh, jika dua komponen memiliki titik didih yang hampir sama, maka *Volatilitas relatif* akan lebih besar apabila keduanya memiliki titik didih rendah dibandingkan jika titik didihnya tinggi. Oleh karena itu, lebih mudah memisahkan dua komponen dengan titik didih 30 °C dan 40 °C daripada

dua komponen dengan titik didih 320 °C dan 330 °C. Nilai α untuk pasangan pertama sekitar 1,27, sedangkan untuk pasangan kedua sekitar 1,1. Proses distilasi dapat digambarkan secara grafis menggunakan diagram *McCabe-Thiele*, yaitu metode representasi klasik yang memvisualisasikan solusi grafis dari proses distilasi. Diagram *McCabe-Thiele* merupakan plot hubungan kesetimbangan antara komposisi cairan (*x*) dan komposisi uap (*y*) pada sistem biner. Selain kurva kesetimbangan, tiga garis lain juga digambarkan, yaitu garis 45° (di mana *x* = *y*) dan dua *garis operasi* (*operating lines*).

Disebut *garis operasi* karena setiap titik pada kurva merepresentasikan kondisi operasi aktual dalam kolom distilasi. Terdapat dua garis operasi yang digunakan, yaitu *garis operasi atas* (*upper operating line*) yang menggambarkan kondisi kolom di atas titik umpan, dan *garis operasi bawah* (*lower operating line*) yang menggambarkan kondisi kolom di bawah titik umpan. Garis operasi menunjukkan hubungan antara laju *reflux*, komposisi umpan, serta kualitas produk *overhead* dan *bottom*. Kemiringan (*slope*) dari *garis operasi atas* secara numerik sama dengan rasio *L/V* pada bagian atas kolom. Oleh karena itu, rasio *reflux* akan menentukan nilai *slope* dari garis operasi, sedangkan komposisi umpan dan *distillate* akan menentukan posisi garis operasi. Umumnya, rasio *reflux* dinyatakan sebagai perbandingan *reflux* terhadap *distillate* (*R/D*), yang berkaitan dengan nilai *L/V* sesuai dengan persamaan :

$$R/D = \frac{L/V}{(1-\frac{L}{V})} \quad \text{.....(1)}$$

Garis operasi atas berpotongan (*intersects*) dengan garis 45° (*x* = *y*) pada titik *x* = *xD*. Sementara itu, *garis operasi bawah* berpotongan dengan *garis operasi atas* pada titik *x* = *xF* dan memotong garis 45° pada titik *x* = *xB*.



Gambar II. 1 Diagram Mc Cabe-Tiele

IBP (Initial Boiling Point) adalah pembacaan termometer yang diperoleh saat tetesan pertama dari *condensate* mulai keluar dari ujung tabung kondensor. Sementara itu, *FBP (Final Boiling Point)* merupakan pembacaan termometer tertinggi yang diperoleh selama proses pengujian, yang umumnya terjadi setelah seluruh cairan dalam labu distilasi menguap (Tatag, 2010).

II.3.2 Ekstraksi Cair-Cair

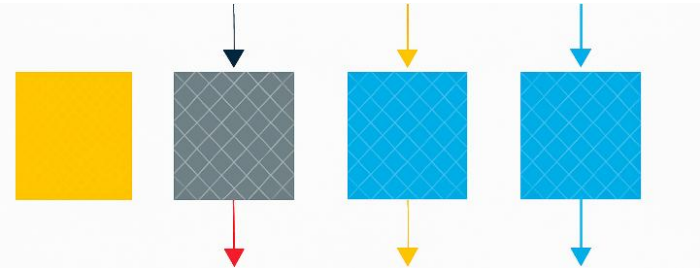
Ekstraksi cair-cair, atau disebut juga *ekstraksi dengan solvent* (pelarut), merupakan metode pemisahan suatu komponen berdasarkan perbedaan kelarutannya dalam dua cairan yang tidak saling bercampur. Dalam proses ini, komponen akan berpindah dari campuran pertama yang memiliki kelarutan lebih rendah menuju campuran kedua yang kelarutannya lebih tinggi. Pada operasi unit *sulfolane*, proses ekstraksi terbagi menjadi tiga tahap utama, yaitu ekstraksi utama, *backwash extraction*, dan distilasi atau *extractive stripping*.

Ekstraksi utama berlangsung di dalam *Raindeck Extractor* (*205-C-001*), dimulai dari bagian atas kolom hingga *tray* tempat umpan masuk. Fungsi utama tahap ini adalah menyerap komponen aromatik dari campuran, di mana komponen aromatik akan larut ke dalam *solvent*. Namun, dalam kondisi yang tidak ideal,

sebagian komponen non-aromatik juga dapat ikut larut ke dalam *solvent*. *Backwash extraction* terjadi di bagian bawah *Raindeck Extractor*, dimulai dari *tray* tempat umpan masuk hingga dasar kolom. Tahap ini berfungsi untuk menggantikan atau mendorong keluar komponen non-aromatik berat yang terlarut dalam *solvent* dengan komponen non-aromatik ringan, karena komponen ringan memiliki kelarutan lebih tinggi dalam *solvent* dibandingkan komponen berat. *Extractive stripping* berlangsung di dalam *Stripper* (*205-C-002*). Tujuan utamanya adalah menghilangkan komponen non-aromatik ringan yang masih terlarut dalam *solvent*. Dengan adanya proses ini, diperoleh campuran antara *solvent* dan komponen aromatik dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Supriyanto, 2025).

II.3.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan metode pemisahan di mana gas atau cairan berinteraksi dan terakumulasi pada permukaan suatu padatan. Padatan tersebut memiliki interaksi (*afinitas*) yang lebih kuat terhadap salah satu komponen tertentu. Pada unit *Parex*, adsorben memiliki urutan *afinitas* dari yang tertinggi hingga terendah sebagai berikut: air > *benzene* > *toluene* > *ethylbenzene* > *p-xylene* > *desorbent* > *m-xylene* > *o-xylene*. Perbedaan *afinitas* dan ukuran molekul ini memungkinkan adsorben memisahkan *p-xylene* dari komponen lainnya. Secara umum, proses adsorpsi berlangsung ketika umpan dialirkan ke dalam adsorben. Semua komponen dapat masuk ke dalam pori-pori makro, namun hanya sebagian kecil yang dapat memasuki pori-pori mikro karena dipengaruhi oleh *afinitas* dan ukuran molekul. Setelah adsorben jenuh oleh umpan, *desorbent* dalam jumlah kecil dialirkan ke dalam adsorben. Aliran ini menyebabkan komponen yang berada di dalam pori-pori makro keluar dari adsorben, dan aliran keluaran tersebut disebut *raffinate*. Setelah pori-pori makro bersih dari komponen yang tidak diinginkan, *desorbent* dalam jumlah besar dialirkan ke dalam adsorben. Aliran ini akan melepaskan seluruh komponen yang tersimpan di dalam pori-pori mikro adsorben.



Gambar II. 2 Diagram Alir Adsorbsi Mc Cabe-Tiele

Keterangan:

a = Adsorben yang mengandung desorben di dalamnya (dari siklus adsorpsi sebelumnya).

b = Umpan dialirkan melalui adsorben. Komponen dengan afinitas besar dan ukuran molekul kecil tersimpan di pori-pori mikro sedangkan komponen lainnya keluar dari adsorben sebagai *Rafinate*.

c = Desorben dalam jumlah kecil dialirkan ke adsorben sehingga menghilangkan sisa-sisa *Rafinate* yang masih tertinggal di dalam pori-pori makro. Setelah pembilasan ini yang tersisa dalam adsorben adalah desorben dan komponen yang diinginkan.

d = Desorben dalam jumlah besar dialirkan me adsorben sehingga mendesak semua komponen, termasuk yang ada di pori-pori mikro. Tahap dari a ke d merupakan 1 siklus adsorpsi.

(Supriyanto, 2025)

II.3.4 Reaktor

Di dalam reaktor, reaksi kimia berlangsung dengan bantuan katalis yang berperan mengkonversi umpan *platforming* menjadi produk. Fungsi utama reaktor adalah mengoptimalkan penggunaan katalis sehingga dihasilkan *yield* produk yang maksimal. Pada reaktor *platforming*, umpan dapat berinteraksi langsung dengan katalis, namun katalis tidak ikut keluar bersama aliran produk. Oleh karena itu, *catalyst containment* menjadi aspek penting dalam desain reaktor. Selain itu, bagian internal reaktor harus dirancang sedemikian rupa agar tidak merusak katalis saat

melewati ruang reaksi, sehingga seluruh permukaan yang bersentuhan dengan katalis perlu didesain secara hati-hati.

Struktur *reactor stack* terdiri dari empat reaktor (*203-R-001/002/003/004*) yang disusun dalam satu *Vessel* besar. Bagian bawah (*head*) dari setiap reaktor dan *hopper* berfungsi memisahkan *Vessel* menjadi empat reaktor yang berdiri sendiri. Setiap reaktor dirancang dengan aliran radial dan *pressure drop* yang rendah, karena kesetimbangan reaksi *platforming* lebih kondusif pada tekanan rendah. *Reactor stack* diposisikan berdekatan dengan *heater* (*203-H-001/002/003/004*) untuk meminimalkan kebutuhan pipa penghubung antara reaktor dan *heater*.

Pada setiap reaktor, hidrokarbon masuk dari bagian atas, kemudian mengalir ke bawah melewati *scallop* dan melalui *catalyst bed* dari bagian luar menuju bagian dalam reaktor. *Effluent* dari reaktor kemudian mengalir ke atas melalui *pipe center* hingga keluar dari reaktor. Proses reaksi kimia di dalam reaktor sebagian besar bersifat endotermis, sehingga suhu keluaran reaktor lebih rendah dibandingkan suhu masukannya. Oleh karena itu, *interheater* (*203-H-002, 203-H-003, dan 203-H-004*) digunakan untuk meningkatkan kembali suhu *effluent* dari setiap reaktor hingga mencapai suhu reaksi yang diinginkan (desain: 519 °C) sebelum memasuki reaktor berikutnya (Goto, 2005).

II.3.5 Kondensasi

Kondensasi merupakan proses perubahan fase uap dari *Vapour* menjadi *liquid*. Proses ini terjadi ketika uap air di udara bersentuhan dengan permukaan yang suhunya lebih rendah dari titik embun uap tersebut, sehingga terbentuk titik-titik air atau embun yang kemudian berubah menjadi cairan. Proses kondensasi di PT TPPI dilakukan menggunakan *fin fan cooler*, *exchanger*, dan *cooler*. Prinsip kerja *fin fan cooler* adalah memanfaatkan udara dingin dari lingkungan sekitar untuk mendinginkan pipa, sehingga suhu yang awalnya tinggi dapat diturunkan. Umumnya, *fin fan cooler* mampu menurunkan suhu dalam rentang 70 °C hingga 160 °C. Sementara itu, prinsip kerja *exchanger* didasarkan pada perbedaan suhu antara dua fluida. Jenis *heat exchanger* yang umum digunakan adalah tipe *shell &*

tube. Dalam sistem ini, media pendingin yang digunakan berupa *cooling water* yang akan dikontakkan secara tidak langsung dengan *Vapour* atau uap panas untuk menurunkannya menjadi fase cair.