

Destilasi dan Jenis-jenis Destilasi

by shanti lestari

Submission date: 06-May-2025 07:28PM (UTC+0700)

Submission ID: 2639904768

File name: BAB_1_Destilasi_dan_Jenis-jenis_Destilasi.docx (705.37K)

Word count: 4043

Character count: 25019

BAB 1

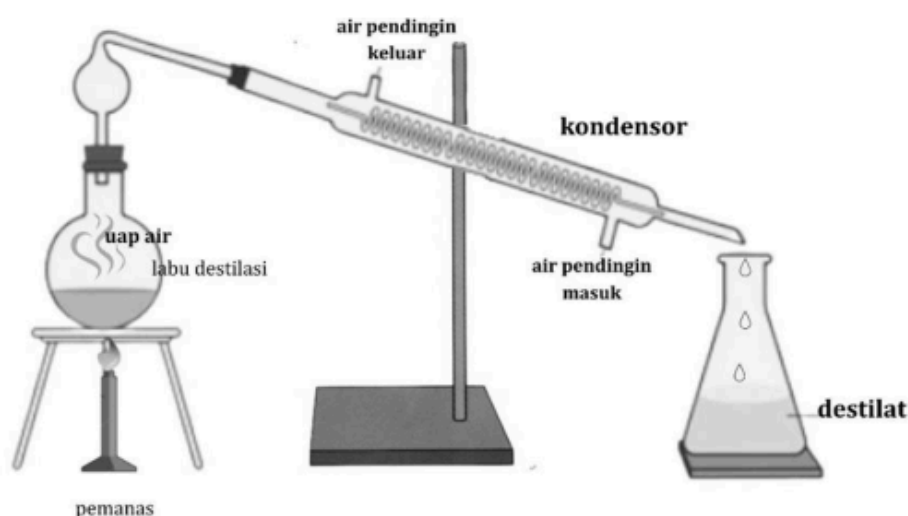
Destilasi dan Jenis-jenis Destilasi

Oleh Shanti Dwita Lestari

1.1 Pengertian Destilasi

Campuran adalah gabungan dari dua atau lebih zat yang dicampur secara fisik tanpa mengalami reaksi kimia. Setiap zat dalam campuran tetap mempertahankan sifat-sifat aslinya dan tidak berubah secara kimia. Oleh karena itu, campuran bisa dipisahkan dengan proses fisik sederhana seperti filtrasi atau sedimentasi. Campuran dapat bersifat homogen atau heterogen. Larutan merupakan salah satu bentuk campuran homogen di mana zat terlarut (*solute*) tercampur sempurna dalam pelarut (*solvent*), menghasilkan suatu fase tunggal yang konsisten. Karena komponen-komponennya telah terikat secara merata, diperlukan metode pemisahan tertentu untuk mengisolasi kembali zat-zat pembentuk larutan tersebut. Destilasi adalah salah satu teknik yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut.

Destilasi merupakan salah satu metode pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kemudahan menguap (volatilitas) komponen-komponennya (Bolles & Fair, 1970). Proses ini melibatkan pemanasan campuran, penguapan selektif dan kondensasi yang menghasilkan destilat dengan fraksi yang lebih murni. Destilasi merupakan teknik penting dalam industri karena memungkinkan pemisahan dan pemurnian bahan dari campuran yang kompleks. Gambar 1.1 menunjukkan skema proses destilasi larutan campuran.



Gambar 1.1 Proses destilasi campuran

Pada gambar di atas, pemanasan campuran dalam labu destilasi akan mengakibatkan komponen yang memiliki titik didih lebih rendah mengalami penguapan terlebih dahulu. Uap bergerak melewati kondensor dan didinginkan oleh air dingin yang mengalir berlawanan arah sehingga mengembun menjadi cairan. Cairan kondensat hasil destilasi (destilat) ditampung dalam *receiving flask* dan terpisah dari senyawa lainnya yang masih tertinggal di labu destilasi.

Volatilitas merupakan kemampuan suatu zat untuk berubah dari fase cair menjadi uap. Zat dengan volatilitas tinggi akan mudah menguap bahkan tanpa perlu mendidih. Suatu zat akan mendidih ketika tekanan uap zat sama dengan tekanan atmosfer di atasnya dan peristiwa tersebut terjadi pada suhu tertentu yang disebut titik didih. Umumnya, komponen dengan titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu. Semakin tinggi volatilitas suatu zat maka akan semakin rendah titik didihnya. Sebaliknya, semakin rendah volatilitas suatu zat, titik didihnya akan semakin tinggi. Tabel 1.1 menampilkan volatilitas dan titik didih berbagai senyawa.

Tabel 1.1 Volatilitas dan titik didih berbagai senyawa kimia

Senyawa	Volatilitas	Titik didih (°C)
Air	Sedang	100
Aseton	Sangat tinggi	56
Benzena	Tinggi	80
Butanol	Sedang	117
Etanol	Tinggi	78
Etil asetat	Tinggi	77
Heksan	Sangat tinggi	69
Kloroform	Sangat tinggi	61
Metanol	Sangat tinggi	65
Petroleum eter	Sangat tinggi	30-70 (tergantung fraksi)
Toluena	Sedang	111

Titik didih menentukan suhu dimana zat akan berubah dari fase cair menjadi uap. Air memiliki titik didih tinggi yaitu 100°C pada tekanan 1 atm (101,3 kPa). Pada kondisi vakum, titik didih suatu zat akan mengalami penurunan. Ikatan hidrogen antar molekul air sangat kuat sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan tersebut dan mengubah fase air dari cair menjadi uap. Meskipun memiliki titik didih yang lebih tinggi, yaitu 111°C, namun volatilitas senyawa non polar toluena lebih tinggi dari air. Hal ini disebabkan oleh ikatan antar molekul toluene yang lebih lemah sehingga memudahkan perubahan fase dari cair ke gas.

1.2 Prinsip Dasar Destilasi

Menurut Bolles & Fair (1970), prinsip dasar destilasi meliputi perbedaan titik didih, kesetimbangan uap-cair dan volatilitas relatif (α).

1.2.1 Titik didih

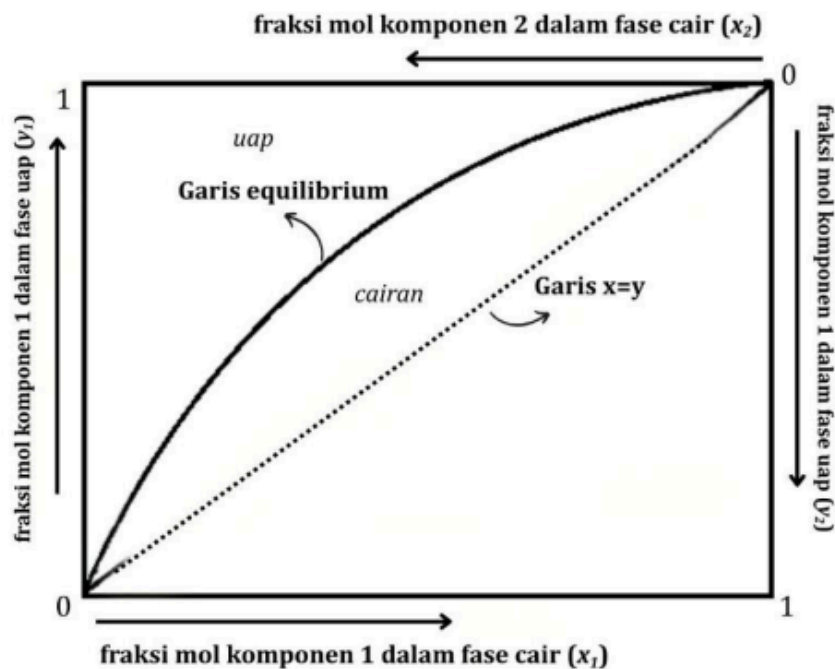
Dalam destilasi, zat ³ dengan titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dulu sehingga bisa dipisahkan dari zat lain yang titik didihnya lebih tinggi. Perbedaan titik didih antar komponen yang

cukup besar akan memudahkan proses pemisahan. Dalam destilasi sederhana, campuran dipanaskan hingga komponen-komponennya mulai menguap. Jika perbedaan titik didih antara dua komponen cukup besar (sekitar $40\text{--}50^\circ\text{C}$), komponen yang lebih volatil akan terpisah dan menghasilkan uap yang hampir murni. Namun, bila perbedaan titik didih kecil (sekitar $5\text{--}20^\circ\text{C}$), uap yang terbentuk masih mengandung campuran kedua zat, sehingga destilasi sederhana tidak efektif untuk pemisahan dalam satu tahap. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan metode khusus seperti destilasi bertingkat atau destilasi fraksional. Teknik ini memungkinkan penguapan dan pengembunan terjadi berulang kali di dalam kolom destilasi. Proses berulang ini membantu memisahkan komponen berdasarkan volatilitasnya sehingga selama proses zat yang lebih volatil akan terus naik dan terkonsentrasi di bagian atas kolom sedangkan zat yang kurang volatil cenderung tetap di bagian bawah atau kembali mengalir ke labu pemanas. Dengan banyaknya tahapan penguapan dan pengembunan ini, kemurnian hasil destilasi akan meningkat.

1.2.2 Kesetimbangan uap-cair

Kesetimbangan uap-cair (*Vapor-Liquid Equilibrium/VLE*) terjadi ketika jumlah molekul yang menguap sama banyaknya dengan jumlah molekul yang mengembun kembali. Pada suhu tertentu, komponen-komponen dalam campuran bisa mencapai kondisi seimbang antara bentuk uap dan cair. Dalam kondisi ini, komponen yang lebih volatil akan lebih banyak berada di fase uap dibandingkan di fase cair. Destilasi memanfaatkan perbedaan komposisi antara fase uap dan fase cair ini untuk memisahkan komponen-komponen dalam campuran.

VLE adalah kondisi termodinamika di mana suatu campuran cairan dan uapnya berada dalam keadaan stabil. Pada keadaan ini, laju penguapan dan pengembunan berlangsung seimbang, sehingga komposisi fase uap dan fase cair tetap konstan pada suhu dan tekanan tertentu. Kurva VLE antara fase uap dan fase cairan dalam campuran dua komponen (biner) disajikan dalam Gambar 1.2.

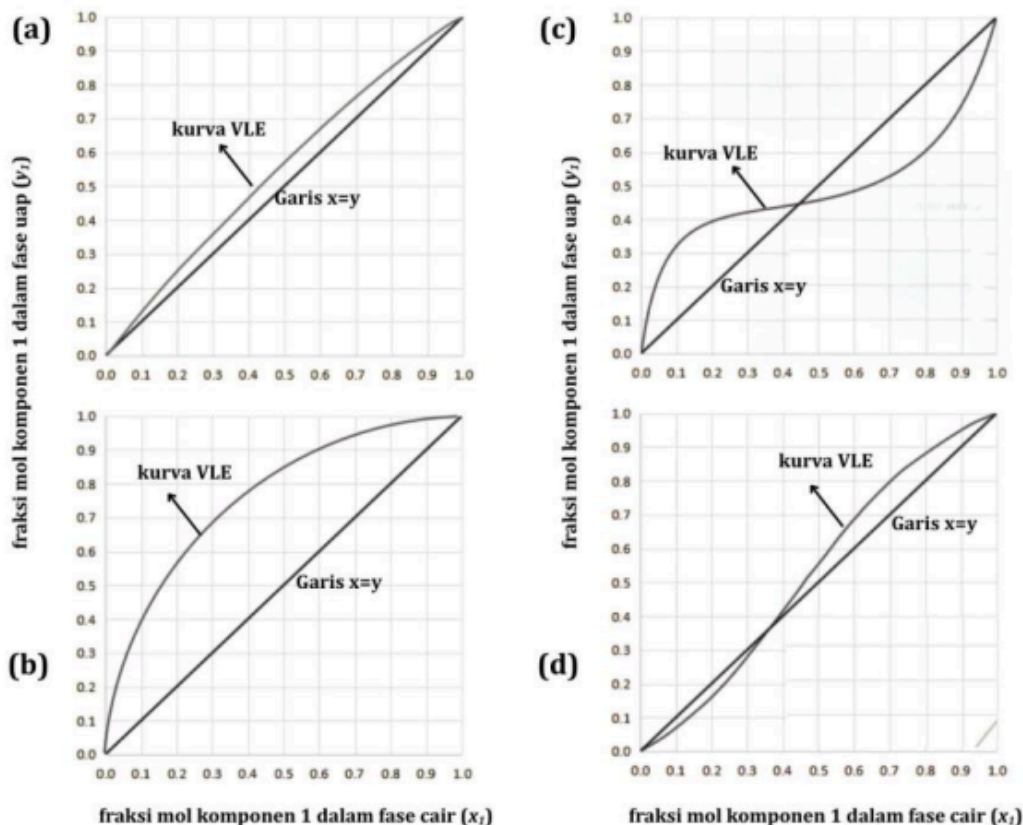


Gambar 1.2. Kurva kesetimbangan uap-cair

Kurva melengkung pada Gambar 1.2 menunjukkan keseimbangan antara komposisi cairan dan uap sedangkan garis diagonal menunjukkan kondisi ketika komposisi cairan sama persis dengan komposisi uap. Setiap titik di kurva VLE menghubungkan komposisi cairan (x_1) dan komposisi uap (x_2) yang setimbang. Area di bawah kurva VLE didominasi oleh cairan. Fraksi mol komponen 1 di fase cair lebih besar daripada di fase uap. Area di atas VLE didominasi oleh uap dan fraksi mol komponen 1 di fase uap lebih besar daripada di fase cair. Pada saat kesetimbangan tercapai, jumlah molekul komponen 1 yang menguap sama dengan yang mengembun.

Bentuk kurva VLE dapat merepresentasikan apakah dua komponen penyusunnya mudah atau sulit dipisahkan dengan destilasi (Gambar 1.3). Kurva VLE yang berdekatan dengan garis $x = y$ menunjukkan bahwa perbedaan antara komposisi uap dan cairan kecil, demikian juga halnya dengan volatilitas relatif (α) kedua senyawa (Gambar 1.3a). Sebagai akibatnya, pemisahan campuran melalui destilasi menjadi sulit dan dibutuhkan banyak tahap kolom

destilasi untuk mencapai pemisahan yang efektif. Sebaliknya, jika kurva VLE berjauhan dari garis $x = y$, maka uap dan cairan memiliki komposisi yang sangat berbeda dengan nilai α yang besar dan destilasi lebih mudah dilakukan (Gambar 1.3b).



Gambar 1.3 Variasi bentuk kurva VLE

Kurva VLE yang berpotongan dengan garis $x = y$ menandakan terbentuknya titik azeotrop, yaitu kondisi di mana komposisi uap sama dengan komposisi cairan. Dalam kondisi azeotrop, destilasi biasa tidak bisa lagi memisahkan komponen ketika titik ini telah tercapai. Terdapat dua jenis azeotrop, yaitu azeotrop minimum dan azeotrop maksimum yang secara lebih jauh akan dibahas di subbab berikutnya. Kurva VLE yang menyilang dari atas ke bawah melewati garis $x=y$ biasanya terjadi pada azeotrop minimum (Gambar 1.3c), sedangkan kurva VLE yang menyilang dari bawah ke atas melewati garis $x = y$ menandakan azeotrop maksimum (Gambar 1.3d).

VLE menjadi dasar dalam destilasi karena konsep ini menguraikan distribusi komponen campuran antara fase uap dan cair berdasarkan karakteristik penguapannya. Korelasi antara komposisi zat dalam fase cair dan uap pada tekanan dan suhu tertentu mengikuti prinsip-prinsip termodinamika dan sangat bergantung pada tingkat keidealan suatu larutan.

1.2.3 Volatilitas relatif

Volatilitas relatif merupakan salah satu parameter penting dalam proses destilasi yang mengukur seberapa mudah dua komponen dalam campuran cair dapat dipisahkan berdasarkan perbedaan kecenderungan mereka untuk menguap (Richardson *et al.*, 2003). Volatilitas menunjukkan hubungan antara komposisi uap (y_A) dan komposisi cairan (x_A). Volatilitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial suatu komponen terhadap fraksi mol komponen tersebut dalam fase cair. Secara matematis, volatilitas komponen A = P_A/x_A sedangkan volatilitas komponen B = P_B/x_B . Untuk membandingkan kecenderungan A dan B untuk menguap, digunakan konsep volatilitas relatif (α) yang dihitung sebagai rasio volatilitas A terhadap volatilitas B.

$$\alpha = \frac{P_A \times x_B}{P_B \times x_A}$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat dikatakan bahwa jika nilai α lebih besar dari 1, maka komponen A lebih mudah menguap dibandingkan B. Selain itu, semakin besar nilai α , maka komponen A dan B akan semakin mudah dipisahkan melalui destilasi.

1.3 Larutan Ideal

Dalam sebuah larutan campuran AB yang terdiri dari komponen A dan B, larutan dikatakan ideal apabila interaksi antar molekul-molekul yang berbeda (A dan B) sama kuat dengan interaksi antar molekul sejenis (A-A dan B-B). Hal ini berarti bahwa molekul A menarik molekul B dengan kekuatan yang sama seperti molekul A

menarik A, dan B menarik B. Sifat larutan ini mengikuti hukum Raoult secara sempurna dan memenuhi asumsi berikut:

- a. tidak ada perubahan entalpi (pelepasan atau penyerapan panas) saat pencampuran ($\Delta H_{\text{mix}} = 0$)
- b. tidak ada perubahan volume saat pencampuran ($\Delta V_{\text{mix}} = 0$)
- c. tekanan uap campuran sebanding langsung dengan fraksi mol komponen
- d. tidak ada gaya tarik tambahan atau tolak-menolak yang mengubah perilaku campuran.

Hukum Raoult yang ditemukan oleh François-Marie Raoult (1830-1901) menjelaskan hubungan antara tekanan uap suatu larutan dengan zat pelarutnya. Hukum ini menjadi dasar untuk memahami empat sifat khusus larutan. Ketika sebuah zat terlarut ditambahkan ke dalam pelarut, sifat-sifat fisika pelarut murni akan berubah. Larutan dapat mengalami kenaikan titik didih, penurunan tekanan uap yang mengakibatkan pelarut sukar menguap, penurunan titik beku dan peningkatan tekanan osmotik. Sifat-sifat yang dikenal sebagai sifat koligatif larutan tersebut bergantung pada jumlah partikel zat terlarut, bukan pada jenis partikelnya.

Setiap cairan memiliki tekanan uap yaitu tekanan yang muncul akibat molekul-molekul yang menguap dari permukaan cairan. Semakin tinggi suhu, energi kinetik molekul akan meningkat, tekanan uap yang muncul dari molekul-molekul pelarut yang akan berubah ke fase gas juga semakin besar. Ketika zat terlarut ditambahkan, tekanan uap akan menurun karena jumlah molekul pelarut di permukaan berkurang, molekul pelarut menjadi lebih sulit menguap dan akibatnya, titik didih larutan menjadi lebih tinggi dibanding pelarut murni. Dengan demikian, penurunan tekanan uap berkaitan langsung dengan kenaikan titik didih larutan.

Raoult menemukan bahwa pada larutan ideal, hubungan antara tekanan uap pelarut dan fraksi mol pelarut adalah sebagai berikut:

$$P_A = x_A \times P_A^\circ$$

P_A = Tekanan uap parsial komponen A di fase uap.

x_A = fraksi mol komponen A di fase cair

P_A° = tekanan uap murni komponen A

Dalam bentuk persamaan linear, rumus tersebut bisa ditulis sebagai $Y = mX$ dimana Y adalah tekanan uap, m adalah tekanan uap murni, dan X adalah fraksi mol pelarut.

Pada larutan ideal, hubungan antara jumlah suatu komponen di fase cair dengan kontribusinya di fase uap sangat teratur. Semakin banyak jumlah komponen A di dalam cairan yang ditunjukkan dengan fraksi mol yang semakin besar, maka semakin besar pula tekanan parsial komponen A di fase uap. Menurut hukum Raoult, tekanan uap suatu komponen dalam campuran ideal berbanding lurus dengan fraksi molnya di fase cair. Dengan kata lain, komposisi antara fase cair dan fase uap sejalan. Jika zat A lebih banyak di cairan, maka A juga akan memberikan kontribusi lebih besar terhadap tekanan total di uap.

Sebagai ilustrasi, suatu larutan campuran terdiri dari zat A dan zat B dengan x_A dan x_B masing-masing adalah fraksi mol zat A dan B dalam campuran (seberapa banyak komposisi A atau B dibanding total campuran). Ketika campuran ini berada dalam kesetimbangan antara fase cair dan fase uapnya, maka zat A akan memberikan tekanan uap parsial (P_A) yang sebanding dengan fraksi mol A (x_A) dan tekanan uap murni A (P_A°). Demikian pula halnya dengan zat B yang memberikan tekanan uap parsial sebanding dengan fraksi mol dan tekanan uap murninya. Sesuai dengan hukum Raoult dimana:

$$P_A = x_A \times P_A^\circ$$

$$P_B = x_B \times P_B^\circ$$

maka, semakin banyak A dalam larutan, semakin besar kontribusi A terhadap tekanan uap total, demikian pula halnya dengan zat B. Tekanan uap total (P) adalah jumlah dari kedua tekanan parsial:

$$P = P_A + P_B = (x_A \times P_A^\circ) + (x_B \times P_B^\circ)$$

Contoh soal:

Suatu larutan terdiri dari campuran benzena (A) dan kloroform (B) dengan $x_A = 0.3$ dan $x_B = 0.7$. Jika pada suhu tertentu, $P_A^\circ = 100$ mmHg dan $P_B^\circ = 50$ mmHg, hitunglah tekanan uap totalnya!

Pembahasan:

Dengan memasukkan nilai fraksi mol dan tekanan uap parsial benzene dan toluena ke dalam persamaan diatas, maka diperoleh nilai tekanan uap total sebesar 65 mmHg. Nilai tersebut menunjukkan bahwa benzena (30 mmHg) dan kloroform (35 mmHg) berkontribusi secara proporsional sesuai fraksi molnya. Selain itu, volatilitas kloroform yang tinggi dengan tekanan uap murni lebih rendah mengakibatkan uap lebih kaya akan benzene. Pada larutan yang ideal seperti ini, hubungan antara komposisi dan tekanan uap bersifat linier dan mudah diprediksi. Selain itu, perbedaan volatilitas yang signifikan antara komponen membuat proses pemisahan lebih efisien.

5

1.4 Larutan Non Ideal

Larutan non-ideal adalah larutan yang tidak sepenuhnya mengikuti hukum Raoult. Pada larutan non-ideal, interaksi antar molekul membuat sifat fisik campuran berbeda dari larutan ideal, baik dari segi energi, volume, maupun perilaku penguapan. Perbedaan yang terjadi meliputi:

- Perubahan entalpi campuran ($\Delta H_{\text{mix}} \neq 0$), dimana campuran bisa melepaskan panas (terjadi reaksi eksoterm) atau menyerap panas (terjadi reaksi endoterm).
- Perubahan volume campuran ($\Delta V_{\text{mix}} \neq 0$), yang berarti bahwa volume total setelah pencampuran tidak sama dengan jumlah volume masing-masing komponen sebelum dicampur.

- c. Tekanan uap campuran menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan tekanan uap yang diprediksi berdasarkan hukum Raoult.

Larutan non-ideal bisa mengalami dua jenis penyimpangan dari Hukum Raoult, yaitu penyimpangan positif atau penyimpangan negatif. Kekuatan interaksi antar molekul yang berbeda (A dan B) pada larutan non-ideal tidak sama dengan interaksi antar molekul sejenis (A-A atau B-B). Ketika daya tarik antara molekul A dan B lebih kuat dibandingkan daya tarik A-A atau B-B, maka campuran menjadi lebih stabil dan molekul-molekul sulit menguap. Akibatnya, tekanan uap total dari campuran menjadi lebih kecil daripada yang diperkirakan oleh hukum Raoult. Kondisi ini disebut penyimpangan negatif. Sebaliknya, jika daya tarik antar molekul A dan B lebih lemah daripada daya tarik antar molekul sejenis, maka molekul lebih mudah melepaskan diri ke fase uap, sehingga tekanan uap total menjadi lebih besar dibandingkan prediksi larutan ideal. Kondisi ini disebut penyimpangan positif. Perbedaan kekuatan interaksi antar molekul menjadi penentu arah penyimpangan. Semakin kuat ikatan antar molekul campuran, maka semakin sulit molekul tersebut menguap, dan sebaliknya.

Contoh soal:

Suatu campuran cairan A dan B menunjukkan penyimpangan terhadap hukum Raoult. Tekanan uap murni komponen A pada 60°C adalah 400 mmHg sedangkan tekanan uap murni komponen B adalah 600 mmHg. Jika fraksi mol A dalam campuran adalah 0,5 dan ternyata tekanan uap total yang diukur adalah 450 mmHg, tunjukkan apakah campuran ini bersifat ideal atau non-ideal dan tentukan apakah terjadi penyimpangan positif atau negative!

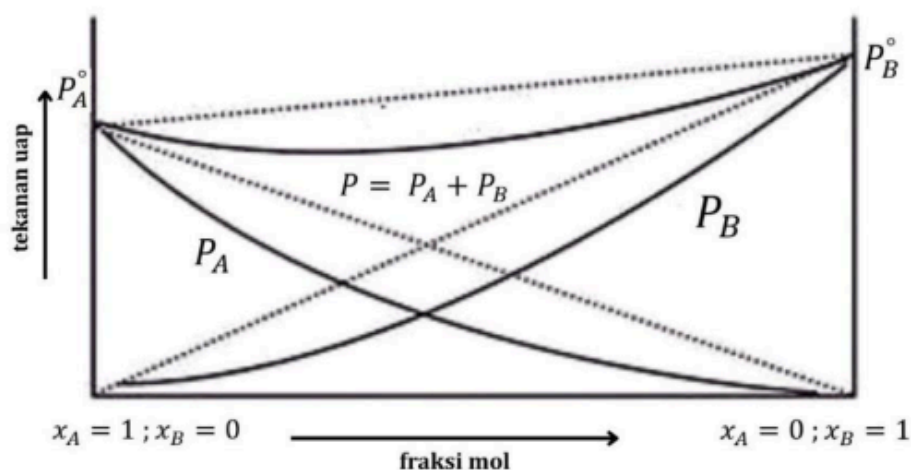
Pembahasan:

Dengan menentukan $x_B = 1 - x_A$ dan menggunakan rumus:

$$P = P_A + P_B = (x_A \times P_A^\circ) + (x_B \times P_B^\circ)$$

akan diperoleh nilai P sebesar 500 mmHg. Karena tekanan uap total yang diukur adalah 450 mmHg, dan nilai tersebut lebih kecil dari nilai P yang diprediksi menggunakan hukum Raoult, maka dapat disimpulkan bahwa larutan campuran ini bersifat non-ideal dengan penyimpangan negatif.

Campuran etanol-heksana dan eter- CCl_4 merupakan contoh penyimpangan positif yang terjadi karena interaksi antar molekul lebih lemah dibanding interaksi molekul sejenis. Pencampuran eter dan CCl_4 merupakan reaksi endotermis yang membentuk campuran azeotrop minimum, artinya pencampuran keduanya menghasilkan campuran dengan titik didih tertentu yang lebih rendah daripada titik didih masing-masing zat murninya. Pada kondisi ini, komposisi campuran di fase cair sama dengan komposisi campuran di fase uap. Ini menyebabkan destilasi biasa tidak bisa memisahkan kedua komponen tersebut secara sempurna, karena saat campuran mencapai titik azeotrop, uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan cairannya. Akibatnya, pemisahan tidak lagi berjalan efektif hanya dengan destilasi sederhana. Pencampuran antara aseton dan kloroform melalui reaksi yang bersifat eksotermis menghasilkan azeotrop maksimum, yaitu jenis campuran yang memiliki titik didih lebih tinggi dibandingkan titik didih kedua komponen murninya. Hal ini terjadi karena adanya ikatan hidrogen kuat antara molekul aseton dan kloroform, sehingga gaya tarik-menarik antar molekul menjadi sangat kuat. Akibatnya, molekul-molekul lebih sulit untuk menguap, dan campuran mendidih pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan masing-masing zat penyusunnya sebagaimana yang terjadi pada penyimpangan negatif hukum Raoult. Kurva penyimpangan negatif hukum Raoult ditampilkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Penyimpangan negatif hukum Raoult

Gambar 1.4 menunjukkan perbedaan perilaku larutan ideal (garis putus-putus) dengan larutan non-ideal (garis melengkung). Dalam larutan ideal, hubungan antara tekanan uap, fraksi mol dan tekanan uap murni bersifat linear. Penyimpangan dari garis ideal mengindikasikan adanya interaksi spesifik antar molekul dalam larutan. Garis tebal melengkung ke atas atau ke bawah dibanding garis lurus menunjukkan perilaku larutan non-ideal. Kurva yang melengkung ke bawah mengindikasikan terjadinya penyimpangan negatif, sedangkan kurva yang melengkung ke atas menunjukkan penyimpangan positif. Kurva tersebut penting untuk memahami fenomena seperti pembentukan azeotrop, di mana tekanan uap total minimum atau maksimum tercapai. Azeotrop adalah campuran dua atau lebih cairan yang, saat dididihkan, menghasilkan uap dengan komposisi yang sama dengan cairan aslinya. Konsekuensinya, campuran tersebut tidak bisa dipisahkan lagi dengan destilasi biasa karena fase cair dan fase uapnya identik dalam komposisi. Larutan non-ideal yang membentuk azeotrop membutuhkan pendekatan destilasi khusus misalnya dengan menambahkan entrainer pada proses destilasi azeotropik atau menggunakan pelarut ketiga seperti pada proses destilasi ekstraktif.

1.5 Hukum Henry

Hukum Henry menjelaskan hubungan kuantitatif antara tekanan gas dan kelarutannya dalam sebuah pelarut (Anandharamakrishnan

& Ishwarya, 2019). Kelarutan gas di sini diartikan sebagai konsentrasi gas yang terlarut dalam cairan ketika sistem berada dalam keadaan setimbang dengan konsentrasi gas tersebut di fase uap. Pada kondisi kesetimbangan ini, laju molekul gas yang keluar dari larutan ke fase gas sama dengan laju molekul gas yang kembali masuk ke dalam larutan. Hukum Henry menyatakan bahwa pada suhu konstan, jumlah gas yang dapat larut dalam volume dan jenis cairan tertentu berbanding lurus dengan tekanan parsial gas tersebut di atas permukaan cairan. Oleh karena itu, semakin besar tekanan parsial gas di atas cairan akan semakin banyak gas yang dapat larut di dalam cairan. Hubungan antara komposisi fase cair dan uap pada kondisi tertentu menurut hukum Henry adalah sebagai berikut:

$$P_A = k_H \times x_A$$

P_A = Tekanan parsial zat A di atas larutan

x_A = fraksi mol komponen A dalam larutan

k_H = konstanta Henry, nilainya berbeda untuk zat dan suhu tertentu

Hukum Henry digunakan untuk menggantikan hukum Raoult saat menjelaskan perilaku zat terlarut di larutan non-ideal, terutama saat zat terlarut ada dalam konsentrasi rendah. Konstanta (k_H) menunjukkan seberapa sulit atau mudah zat terlarut berpindah ke fase gas. Nilai konstanta yang besar menunjukkan bahwa zat sulit menguap, sedangkan nilai yang kecil menjadi indikasi bahwa zat mudah menguap.

1.6 Jenis-jenis Destilasi

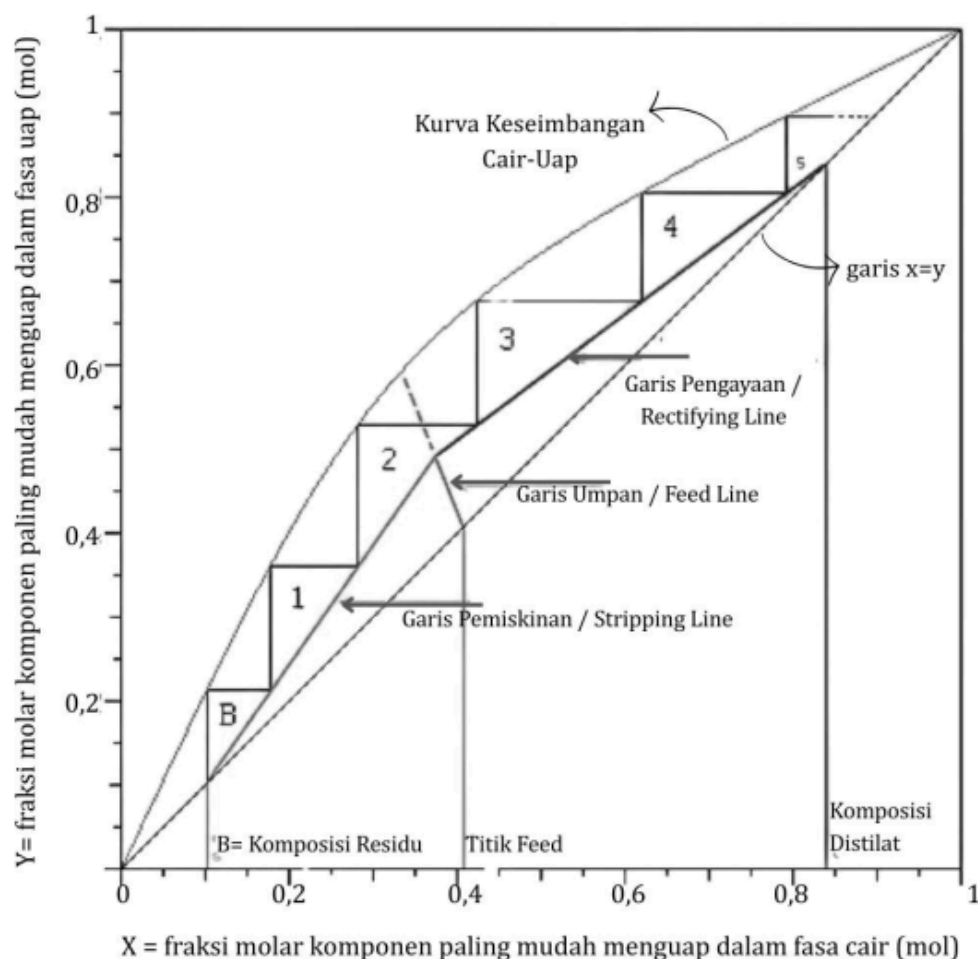
Secara umum, destilasi terbagi ke dalam beberapa jenis berdasarkan kompleksitas dan tujuan pemisahannya, yaitu: destilasi sederhana, destilasi bertingkat, destilasi vakum, destilasi membran, destilasi vakum membran, destilasi flash, destilasi uap dan juga destilasi molekuler.

1.6.1 Destilasi sederhana

Stichlmair (2010) mengklasifikasikan destilasi sederhana (*simple distillation*) dan destilasi fraksional (*rectification*) sebagai dua proses fundamental dalam pemisahan campuran cair. Destilasi sederhana merupakan proses satu tahap yang sesuai untuk pemisahan awal campuran dengan perbedaan titik didih yang besar. Sebagai proses tunggal, penguapan dan kondensasi terjadi hanya sekali. Proses ini menghasilkan pemisahan yang tidak sempurna karena tidak adanya kontak balik antara fase uap dan cair.

1.6.2 Destilasi bertingkat

Pada destilasi fraksional, kontak antara uap yang naik dan cairan yang turun dalam kolom fraksinasi terjadi secara berulang (multitahap). Proses ini memungkinkan pemisahan campuran dengan perbedaan titik didih yang kecil. Kunci efisiensi destilasi fraksional terletak pada penggunaan *tray* atau *packing* dalam kolom fraksinasi yang menciptakan serangkaian tahap kesetimbangan, dimana setiap tahap berfungsi seperti satu unit destilasi sederhana. Penggunaan kolom ini memperbaiki pemisahan melalui proses penguapan-kondensasi berulang hingga pada akhirnya uap yang lebih kaya akan komponen dengan titik didih lebih rendah mencapai kondensor. Sementara, senyawa yang lebih banyak mengandung komponen dengan titik didih lebih tinggi akan kembali ke labu destilasi. Grafik McCabe-Thiele (Gambar 1.5) digunakan untuk merancang dan menganalisis operasi destilasi fraksionasi bertingkat terutama dalam menentukan jumlah tahap teoritis yang diperlukan untuk memisahkan dua komponen dalam campuran serta menganalisis hubungan antara efisiensi pemisahan, rasio refluks, dan jumlah tahap.



Gambar 1.5 Grafik McCabe-Thiele

Kurva keseimbangan konsentrasi komponen di fase cair dan fase uap yang ditunjukkan oleh garis lengkung dari (0,0) ke (1,1) pada grafik McCabe-Thiele. *Rectifying line* menunjukkan hubungan uap-cairan saat destilat kaya akan komponen volatil. Semakin curam garis ini maka akan semakin banyak refluks yang digunakan. Sebaliknya, *stripping line* menunjukkan hubungan uap-cairan saat bagian bawah kolom (residu) mengandung sedikit komponen volatil. *Feed line* menunjukkan kondisi umpan (*feed*) yang masuk ke dalam kolom. Kemiringan *feed line* tergantung pada fase umpan, apakah cair atau padat. Setiap anak tangga yang terdiri dari garis horizontal dan vertikal mewakili satu tahap destilasi yaitu pertukaran massa antara cairan-uap. Berdasarkan grafik McCabe-Thiele, jumlah tahapan destilasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan destilat dengan kemurnian tertentu dapat ditentukan.

1.6.3 Destilasi vakum

Destilasi vakum (*vacuum distillation*) adalah teknik pemisahan yang sesuai untuk campuran cairan dengan titik didih tinggi ($>350^{\circ}\text{C}$) atau yang bersifat sensitif terhadap panas dan mudah terurai pada suhu normal. Destilasi vakum dilakukan dengan menurunkan tekanan sistem untuk mengurangi titik didih komponen, sehingga pemisahan bisa terjadi tanpa kerusakan termal. Prinsip utama metode ini adalah penurunan tekanan dan penurunan titik didih. Penggunaan pompa vakum akan mengurangi tekanan sehingga energi yang dibutuhkan untuk penguapan berkurang. Dengan demikian, komponen dengan titik didih tinggi dapat menguap pada suhu lebih rendah. Kolom yang digunakan pada destilasi vakum dilengkapi packing atau plate untuk meningkatkan kontak uap-cair dan beroperasi pada tekanan rendah berkisar 1–100 mmHg.

1.6.4 Destilasi membran

Menurut Lawson dan Lloyd (1997), destilasi membran adalah teknik pemisahan berbasis panas yang menggabungkan proses penguapan dan membran. Dengan menggunakan teknik ini, cairan dipanaskan sehingga uapnya melewati membran hidrofobik dan permeat tersebut terkondensasi di sisi lain membran. Membran yang dipakai pada teknik ini hanya memungkinkan senyawa dalam fase gas untuk bergerak melintasinya karena adanya perbedaan tekanan uap antara dua sisi membrane yang muncul karena perbedaan suhu.

1.6.5 Destilasi vakum membran

Destilasi vakum membrane (*Vacuum-membrane distillation/VMD*) merupakan teknik destilasi membran dimana sisi permeat dari membran diberi tekanan rendah atau divakum (Abu-Zeid *et al.*, 2015). Pemberian vakum memungkinkan penurunan tekanan uap di sisi permeat sehingga memperbesar perbedaan tekanan uap antara sisi umpan (*feed*) dan sisi permeat. Proses separasi dilakukan dengan memanaskan campuran hingga mendekati titik didih. Uap air yang terbentuk akan menembus membran mikropori yang

bersifat hidrofobik sedangkan molekul air dalam bentuk cair tidak bisa menembusnya. Uap yang berhasil melewati membran (permeat) kemudian dikondensasi di luar membran. Perbandingan antara destilasi vakum, membran dan vakum membran disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Perbandingan karakteristik destilasi vakum, membran dan vakum membran

Aspek	Destilasi Vakum	Destilasi Membran	VMD
Prinsip	Menurunkan tekanan sistem untuk menurunkan titik didih cairan.	Uap air melewati membran hidrofobik karena perbedaan tekanan uap akibat perbedaan suhu	Kombinasi membran hidrofobik dan vakum untuk memperbesar perbedaan tekanan uap.
Tekanan	Tekanan rendah di seluruh sistem (vakum).	Tekanan mendekati atmosfer (tanpa vakum)	Tekanan sangat rendah di sisi permeat membran.
Proses	Uap dikondensasikan langsung setelah menguap	Uap melewati membran, lalu langsung dikondensasikan	Uap melewati membran di bawah vakum, lalu dikondensasikan.

1.6.6 Destilasi flash

Destilasi flash (*equilibrium distillation*) adalah metode pemisahan campuran cairan berdasarkan perbedaan titik didih komponennya melalui penguapan mendadak (*flash vaporization*). Prinsip pemisahan ini adalah pemanasan cairan campuran pada tekanan tinggi diikuti dengan pengaliran campuran tersebut ke ruangan bertekanan rendah secara tiba-tiba. Penurunan tekanan ini menyebabkan suhu turun drastis dan memicu penguapan mendadak. Sebagai hasilnya, komponen lebih volatil dengan titik didih rendah akan menguap menjadi fase uap yang kemudian akan mengalami kondensasi menjadi destilat. Komponen kurang volatil

yang memiliki titik didih tinggi tetap berada sebagai cairan dan dikeluarkan sebagai *bottom product*.

Berdasarkan hal-hal yang telah dibahas sebelumnya dapat disimpulkan bahwa destilasi tidak hanya bergantung pada perbedaan titik didih, tetapi juga pada desain sistem seperti tekanan atau efisiensi kontak uap-cair. Pemilihan jenis destilasi (sederhana, fraksional, vakum, atau flash) harus disesuaikan dengan sifat campuran dan tujuan pemurnian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Zeid, M. A. E. R., Zhang, Y., Dong, H., Zhang, L., Chen, H. L., & Hou, L. (2015). A comprehensive review of vacuum membrane distillation technique. *Desalination*, 356, 1-14.
- Altay, Ö., Aydın, Ö. K., Öner, H. B., Filiz, Ö., & Ertekin, F. K. (2025). Principles of distillation process. *Mass Transfer Operations in the Food Industry*, 45-81.
- Anandharamakrishnan, C., & Padma Ishwarya, S. (2019). Mass transfer (Chapter 6). In C. Anandharamakrishnan & S. Padma Ishwarya (Eds.), *Essentials and applications of food engineering* (1st ed., pp. 802). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429430244>
- Bolles, W. L., & Fair, J. R. (1970). Distillation. *Industrial & Engineering Chemistry*, 62(11), 81-90.
- Górak, A., & Sorensen, E. (Eds.). (2014). *Distillation: fundamentals and principles*. Academic Press.
- Lawson, K. W., & Lloyd, D. R. (1997). Membrane distillation. *Journal of membrane Science*, 124(1), 1-25.
- Lei, Z., Dai, C., Chen, B., & Ding, Z. (2021). *Special distillation processes*. Elsevier.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., & Backhurst, J. R. (2003). Chapter 11 - Distillation. In J. F. Richardson, J. H. Harker & J. R. Backhurst (Eds.), *Chemical engineering: Volume 2: Particle technology and separation processes* (5th ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-049064-9.50022-9>
- Seader, J. D., Henley, E. J., & Roper, D. K. (2016). *Separation process principles: With applications using process simulators*. John Wiley & Sons.
- Sorensen, E. (2014). Principles of binary distillation. In *Distillation* (pp. 145-185). Academic Press.
- Stichlmair, J. G., Klein, H., & Rehfeldt, S. (2021). *Distillation: principles and practice*. John Wiley & Sons.
- Vogelpohl, A. (2021). *Distillation: The Theory*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Destilasi dan Jenis-jenis Destilasi

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	geograf.id	1%
Internet Source		

2	idoc.pub	1%
Internet Source		

3	artikelpendidikan.id	1%
Internet Source		

4	www.slideshare.net	1%
Internet Source		

5	es.scribd.com	1%
Internet Source		

6	rizqifachrudin.wordpress.com	1%
Internet Source		

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On