

BERBAGAI TEKNOLOGI PROSES PEMISAHAN

Wahyudi Budi Sediawan
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik - UGM

ABSTRAK

Proses-proses pemisahan dalam industri senantiasa berkembang sepanjang waktu. Di samping pengembangan teknologi atau proses-proses baru, peningkatan unjuk kerja proses-proses yang telah lama dikenal juga terus dilakukan. Akhir-akhir ini, dengan dukungan teknologi yang semakin maju, ada kecenderungan untuk lebih berani menggunakan kondisi operasi yang hebat, misalnya suhu tinggi dan *pressure drop* besar. Berdasarkan analisis biaya total, pabrik cenderung memilih alat yang walaupun harganya agak mahal, tetapi biaya operasinya murah. Selain itu, kesadaran lingkungan mendorong industri untuk mengembangkan proses-proses yang *environmentally friendly*. Untuk merancang suatu proses pemisahan, perlu dipilih teknologi yang paling *feasible* dan paling efisien untuk kisaran kondisi operasi yang dikehendaki. Dalam hal ini, diperlukan latar belakang teori yang mantap dan dukungan data yang memadai. Secara umum, teori dan data yang diperlukan dapat dikategorikan menjadi dua konsep pokok, yaitu keseimbangan dan proses-proses kecepatan. Untuk dapat melakukan perhitungan dan analisis fundamental berdasarkan kedua konsep tersebut, diperlukan juga penguasaan pemodelan matematis dan penyelesaian persamaan-persamaan matematis yang dewasa ini lebih sering dilakukan secara numeris dengan bantuan komputer. Untuk memberikan gambaran tentang proses-proses pemisahan di industri, baik yang sudah lama dikembangkan maupun yang relatif baru, dibahas secara singkat sejumlah proses pemisahan.

PENGANTAR

Proses pemisahan merupakan proses penting dalam industri kimia dan menjadi semakin menarik untuk dikaji lebih jauh dengan makin berkembangnya permasalahan di lapangan serta makin banyaknya pilihan teknologi yang bisa digunakan. Beberapa kecenderungan terakhir proses-proses pemisahan dalam industri adalah sebagai berikut :

1. Pemakaian proses yang sudah lama dikenal (misalnya distilasi, ekstraksi, dan lain-lain) tetapi dengan unjuk kerja yang lebih baik, misalnya dalam hal :
 - a. kebutuhan energi yang lebih rendah
 - b. harga peralatan yang lebih murah, misalnya peralatan lebih kecil
 - c. limbah yang lebih sedikit atau tidak berbahaya
 - d. kondisi operasi yang tidak terlalu hebat
 - e. kebutuhan bahan pemroses, misalnya solven pada ekstraksi, yang lebih kecil
 - f. kualitas produk yang lebih baik, karena kemurnian yang lebih tinggi, kerusakan bahan tak banyak terjadi, dan lain-lain.
2. Pemakaian teknologi atau proses yang baru dalam arti belum lama dikembangkan

Dalam memilih proses pemisahan atau proses-proses pada umumnya, ada sejumlah hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Untuk suatu keperluan pemisah atau proses yang lain, pada umumnya tersedia sejumlah pilihan teknologi sehingga sifatnya *open-ended*. Dengan demikian harus dicari teknologi yang paling *feasible*. Jadi ada dua hal yang perlu dilakukan, yaitu mencari sebanyak mungkin teknologi yang bisa dipakai (semacam *brain storming*) dan pemilihan proses mana yang paling *feasible* (*process assessment*).
2. Suatu teknologi pemisah bisa bekerja efisien hanya pada batas-batas kisaran *keadaan* tertentu, misalnya sifat bahan, kadar, dan bahkan keadaan fasa seringkali berubah sangat nyata. Misalnya susu segar berkadar air 90% bersifat cair encer, jika dihilangkan airnya sampai kadar air menjadi 50%, keadaannya menjadi cair kental, dan jika kadar air tinggal 3%, keadaannya berubah padatan (serbuk).
3. Nomor 1 dan 2 mengakibatkan bahwa seringkali tidak bisa dipakai satu alat atau proses yang efisien untuk sepanjang proses pemisahan sehingga perlu dipakai beberapa alat atau proses berbeda secara berurutan. Misalnya :

- a. Pada pengeringan kain yang selesai dicuci, mula-mula dilakukan proses pemerasan (dengan tangan misalnya), lalu baru dijemur (*drying*). Pemerasan sampai kering tidak mungki dilakukan, sedangkan penjemuran secara langsung tanpa diperas akan makan waktu yang jauh lebih lama.
 - b. Pada pembuatan susu bubuk dari susu segar yang pada prinsipnya adalah pemisahan air dari padatan, dewasa ini pada umumnya dipakai tiga tahapan proses yaitu evaporasi, *spray drying*, dan terakhir *vibro-fluizer*. Perlu diingat bahwa pengembangan proses pembuatan susu bubuk sampai ke tahap sekarang ini memerlukan waktu kira-kira 100 tahun dan sekarang masih terus berkembang.
4. Pemisahan bahan *impurities* yang kadarnya tinggal sedikit (tahap terakhir) pada umumnya sangat sulit dan memerlukan "pengorbanan" yang banyak. Sebagai contoh, ongkos penghilangan air dari susu dengan *drying* kira-kira sembilan kali biaya penghilangan air dengan evaporator (untuk setiap kg air yang diuapkan).
- Kondisi operasi yang hebat, misalnya tekanan atau suhu tinggi, dewasa ini tidak terlalu ditakuti atau dihindari. Sebagai contoh, *splitting* minyak nabati (misalnya kelapa sawit), dahulu cenderung memakai suhu dan tekanan yang tidak begitu tinggi, tetapi dengan bantuan katalisator, misalnya NaOH. Sekarang industri cenderung memakai suhu dan tekanan tinggi tetapi tanpa katalisator.
6. Untuk suatu proses pemisahan, pada umumnya diperlukan kontak antar fasa yang baik, yang bisa dicapai dengan membuat gerak aliran dengan turbulensi tinggi. Untuk memperoleh turbulensi tinggi, pada umumnya diperlukan *pressure drop* yang tinggi, sehingga diperlukan energi pompa atau kompresor yang tinggi. Diperlukan optimasi untuk memilih kondisi yang memberikan turbulensi yang cukup tinggi (kecepatan perpindahan cukup tinggi) tetapi *pressure drop* tidak terlalu tinggi. Dewasa ini industri cenderung lebih berani memakai *pressure drop* tinggi untuk mencapai kontak antar fasa yang lebih baik.

Pemakaian sieve tray pada menara distilasi, kolom pulsa untuk ekstraksi, dan penambahan penghalang aliran adalah contoh-contoh kecenderungan ini.

7. Analisis biaya total, pada umumnya memmake-up biaya peralatan (*fixed cost*) dan biaya operasi. Untuk mencapai biaya produksi seminimal mungkin, diperlukan optimasi. Dewasa ini ada kecenderungan untuk memilih alat atau teknologi yang walaupun biaya peralatannya agak mahal tetapi biaya operasinya murah. Untuk menekan biaya peralatan, ada kecenderungan memilih alat yang kapasitasnya besar karena biaya tiap satuan produk menjadi lebih rendah. Tentunya ini jika modal, bahan baku, dan pasar memungkinkan.
8. Kesadaran lingkungan mendorong industri untuk menghindari proses-proses yang menggunakan bahan kimia atau jika terpaksa perlu diusahakan recycle atau daur ulang bahan-bahan kimia yang dipakai. Jika terpaksa ada limbah, perlu dilakukan *waste treatment* yang memadai.

Untuk meningkatkan unjuk kerja proses-proses yang sudah lama dikenal, diperlukan *back up* teori yang mantap dan data-data yang memadai. Teori dan data yang diperlukan untuk perancangan alat pemisah dan yang perlu diteliti atau dipelajari biasanya dapat dikategorikan menjadi dua konsep pokok, yaitu :

1 Kesetimbangan

Untuk jenis-jenis alat tertentu, keadaan setimbang sudah hampir tercapai misalnya pada ekstraksi dengan *mixer-settler* dan menara distilasi dengan plat-plat, sehingga teori atau data kesetimbangan dapat dimanfaatkan untuk perhitungan peralatan-peralatan tersebut. Untuk jenis-jenis alat yang lain, di mana keadaan masih jauh dari setimbang, perhitungan memerlukan konsep kecepatan perpindahan massa (sering disertai perpindahan panas). Kecepatan perpindahan pada umumnya tergantung jauhnya keadaan dari keadaan setimbang. Dengan demikian, teori dan data kesetimbangan juga diperlukan.

2. Proses-proses kecepatan

Proses pemisahan pada umumnya melibatkan peristiwa perpindahan massa dan

panas. Untuk itu, teori atau data tentang kecepatan perpindahan sangat diperlukan. Bentuk umum persamaan kecepatan perpindahan pada umumnya adalah sebagai berikut :

$$\left(\begin{matrix} \text{Kecepatan} \\ \text{perpindahan} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Koefisien} \\ \text{Bidang} \\ \text{kontak} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} \text{Luas} \\ \text{Kadar} - \left(\begin{matrix} \text{kadar} \\ \text{setimbang} \end{matrix} \right) \end{matrix} \right)$$

Jadi parameter-parameter yang penting untuk dipelajari adalah :

- a. koefisien perpindahan
- b. luas bidang kontak
- c. kadarsetimbang (kesetimbangan)

Kadang-kadang koefisien digabung dengan luas bidang kontak dan hasilnya adalah koefisien perpindahan volumetris, yaitu :

$$\left(\begin{matrix} \text{Koefisien} \\ \text{perpindahan} \\ \text{volumetris} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Koefisien} \\ \text{perpindahan} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{luas} \\ \text{bidang kontak} \\ \text{tiap volum} \end{matrix} \right)$$

Perlu diingat bahwa untuk bisa menghasilkan ukuran alat yang diperlukan, pertimbangan selalu melibatkan konsep-konsep kecepatan. Oleh karena itu, dikatakan bahwa proses-proses kecepatan adalah *the soul of chemical engineering*.

Untuk bisa melakukan hitungan atau analisis fundamental berdasarkan proses-proses kecepatan dan kesetimbangan, diperlukan penguasaan pemodelan matematis dan juga penyelesaian persamaan-persamaan matematis (pada umumnya persamaan diferensial) yang saat ini lebih sering dijalankan secara numeris dengan bantuan komputer.

TEKNOLOGI PEMISAHAN

Berikut ini akan dibahas secara singkat sejumlah proses pemisahan, baik yang sudah lama dikembangkan maupun yang relatif "baru". Proses-proses yang dibahas hanya yang menyangkut pemisahan komponen kimia dari campuran homogen dan tidak mencakup proses-proses pemisahan mekanis (filtrasi, sedimentasi, dekantasi, dan lain-lain).

1 Distilasi

Distilasi adalah salah satu proses pemisahan komponen-komponen kimia yang sudah sangat lama dikenal. Proses ini

memanfaatkan perbedaan komposisi setimbang pada fasa uap dan cair. Operasinya berupa penguapan dan pengembunan dan pada umumnya dijalankan berkali-kali (bertingkat). Karena melibatkan penguapan dan panas laten penguapan biasanya besar, maka proses ini memerlukan banyak energi. Meskipun distilasi sudah cukup lama dikenal, pengembangan proses ini dan penelitian-penelitian yang terkait masih banyak dilakukan. Studi-studi terakhir banyak mengarah kepada :

1. penghematan energi
2. memperbesar faktor pemisahan yang bisa dicapai, antara lain dengan
 - a. *azeotropic distillation*
 - b. *extractive distillation*

Pada distilasi azeotrop, ditambahkan zat volatil yang bisa berinteraksi lebih kuat dengan suatu komponen dibanding dengan komponen lainnya dan zat volatil tersebut akan ikut sebagai distilat (perlu dipisahkan lebih lanjut). Pada distilasi ekstraktif, ditambahkan zat non volatil yang bisa berinteraksi lebih cepat dengan suatu komponen dibanding dengan komponen lainnya. Zat non-volatil tersebut akan ikut ke hasil dasar dan selanjutnya perlu dipisahkan.

2. Distilasi Uap (*Steam Distillation*)

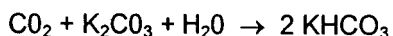
Distilasi uap adalah suatu proses di mana *steam* dikontakkan langsung, dengan sistem distilasinya (*open steam*). Salah satu kasus khusus adalah pengambilan cairan yang tidak bercampur dengan air (*immiscible*) dari padatan, misalnya pengambilan minyak cengkeh dari daun cengkeh. Dalam hal ini, daun cengkeh dikontakkan dengan *steam*. Karena minyak cengkeh dan air bersifat *immiscible*, maka kedua zat tersebut akan mendidih bersama pada suhu yang lebih rendah dari titik didih minyak cengkeh dan air. Hal ini sangat menguntungkan karena suhu operasi menjadi rendah sehingga kerusakan bahan bisa lebih sedikit. Uap yang terbentuk diembunkan sehingga terbentuk dua cairan yaitu air dan minyak cengkeh yang *immiscible* dan mudah dipisahkan. Apabila dikembangkan dengan baik, distilasi uap ini akan sangat bermanfaat untuk mengambil minyak-minyak atsiri dari hasil tumbuh-tumbuhan Indonesia. Minyak-minyak atsiri ini umumnya mahal harganya. Distilasi uap yang dilakukan oleh petani, pada

umumnya dijalankan dengan kurang baik sehingga kualitas hasil minyak atsririnya sangat rendah dan akibatnya tidak memenuhi kualitas ekspor. Kalaupun bisa diekspor, harganya sangat rendah. Pengembangan distilasi uap di Indonesia akan sangat menunjang pengembangan industri agrokimia yang sangat menguntungkan.

3. Absorpsi

Absorpsi, yaitu pengambilan komponen-komponen dari campuran gas dengan penyerapan menggunakan solven, sudah lama dikenal dalam industri kimia. Proses ini pada umumnya dijalankan pada tekanan tinggi dan suhu rendah. Komponen yang sudah terserap tadi biasanya dipisahkan kembali dengan cara *stripping*. Jadi, kebanyakan absorber selalu dikombinasikan dengan stripper. Solven diharapkan dapat dipakai berulang-ulang. Usaha yang selalu dilakukan adalah mencari cara untuk menyediakan kontak gas-cair sebaik-baiknya, tanpa mengakibatkan *pressure drop* yang terlalu tinggi. Kontak yang baik mencakup dua aspek, yaitu luas bidang kontak yang besar dan gerak relatif yang makin cepat (turbulen).

Untuk meningkatkan unjuk kerja penyerapan, dapat pula ditempuh cara absorpsi reaktif, di mana komponen dari gas, setelah terserap dalam cairan, berikatan/bereaksi kimia dengan zat yang ada dalam solven. Terjadi dua proses seri, yaitu perpindahan massa dan reaksi kimia. Kecepatan proses keseluruhan ditentukan oleh proses yang paling lambat. Dengan demikian, dikenal resin dinamis, resin kimia, dan resin campuran. Kesetimbangannya juga mencakup dua aspek, yaitu kesetimbangan fasa gas-cair dan kesetimbangan kimia di fasa cair. Contoh absorpsi reaktif dalam industri adalah absorpsi CO₂ dari gas hasil reformer (misalnya pada pabrik amonia). Dipakai penyerap berupa air yang mengandung K₂CO₃. Gas CO₂ yang terserap ke dalam air bereaksi dengan K₂CO₃ menurut reaksi



Absorpsi reaktif memerlukan suhu yang lebih tinggi daripada absorpsi biasa karena reaksi kimia akan berjalan lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi. Dewasa ini, penelitian-penelitian mengenai absorpsi reaktif banyak dilakukan.

4. Adsorpsi (Penjerapan)

Adsorpsi adalah pengambilan komponen dari gas atau cairan dengan penjerapan oleh suatu padatan. Pada penjerapan, zat yang diserap menempel pada permukaan padatan, tidak sampai ke dalam padatan. Kapasitas adsorpsi ini biasanya kecil, tetapi bisa mengambil komponen-komponen yang jumlahnya sangat kecil (*traces*) dari gas atau cairan. Ikatan adsorpsi bisa berupa ikatan fisis ataupun ikatan kimia. Proses *ion-exchange* dapat pula digolongkan ke dalam adsorpsi kimiawi. Pada adsorpsi, permukaan penjerap bukan hanya permukaan padatan saja, tetapi juga permukaan pori-pori padatan. Oleh karena itu, dalam adsorpsi terjadi proses perpindahan massa dan penjerapan di permukaan (fisis atau kimiawi).

Langkah-langkah yang terjadi pada adsorpsi menggunakan adsorben padatan berpori adalah :

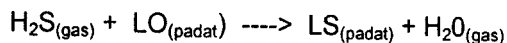
- Perpindahan zat dari cairan atau gas ke permukaan luar butir adsorben.
- Perpindahan massa zat (difusi) dari permukaan padatan ke bagian dalam padatan melewati cairan/gas dalam pori.
- Perpindahan massa zat dari cairan/gas dalam pori ke permukaan dinding pori.
- Penjerapan pada permukaan pori.

Analisis teoritis proses adsorpsi mencakup langkah-langkah proses tersebut. Persoalan menjadi lebih kompleks jika pori terdiri atas pori primer, sekunder, tersier, dan seterusnya. Selain itu, kesetimbangan adsorpsi masih perlu banyak diteliti pula. Model-model yang sudah dikembangkan (Langmuir, Freundlich, BET, dan sebagainya) sering belum bisa dipakai untuk banyak kasus. Selain itu, perlu dilakukan usaha-usaha untuk mendapatkan luas permukaan tiap satuan massa butir yang besar tanpa mengganggu proses aliran gas/cairan. Di samping itu, pembuatan struktur pori yang mudah dilewati oleh zat yang diadsorpsi juga banyak dilakukan. Salah satu contoh pemakaian adsorpsi adalah pengambilan zat-zat beracun yang jumlahnya sangat kecil dalam cairan (misalnya fenol).

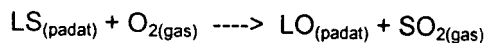
5. Absorpsi Reaktif dengan Padatan

Pengambilan suatu komponen dalam gas suhu tinggi, untuk selanjutnya gas sisa

akan diproses lebih lanjut pada suhu tinggi pula, kurang efisien jika menggunakan absorpsi biasa karena pada umumnya absorpsi harus berlangsung pada suhu rendah. Gas suhu tinggi harus didinginkan dulu, baru diabsorpsi, kemudian gas sisa harus dipanaskan lagi untuk diproses lebih lanjut. Dengan demikian dibutuhkan banyak energi sehingga diinginkan absorpsi yang bisa berjalan pada suhu tinggi. Cara yang bisa ditempuh adalah reaksi dengan padatan. Misalnya, pengambilan H_2S dari campuran gas bersuhu tinggi, bisa dijalankan dengan oksida logam :



Oksida logam selanjutnya bisa diperoleh kembali dengan oksidasi :



Proses semacam ini sedang banyak dikembangkan.

6. Ekstraksi Cair-Cair (Ekstraksi)

Ekstraksi cair-cair atau sering disebut ekstraksi saja, sudah lama dikenal dan dipakai dalam industri. Pada proses ini, campuran cair A dan C diambil C-nya dengan penambahan cairan B yang tidak/sedikit saling melarutkan dengan A tetapi bisa melarutkan C. Terbentuk dua fasa cair *immiscible*, yang pertama kaya A, yang lain kaya B, sedangkan C terdistribusi pada kedua fasa tersebut. Diperoleh ekstrak berupa larutan C dalam B dan rafinat berupa larutan C dalam A.

Studi yang banyak dilakukan adalah mencari persamaan-persamaan fundamental proses ekstraksi untuk mendukung perancangan alat ekstraksi yang lebih efisien/optimal. Konsep dasar yang terlibat adalah kesetimbangan fasa cair-cair dan perpindahan massa cair-cair.

Ada kecenderungan baru untuk mencoba menggunakan ekstraksi reaktif. Solven yang dipakai mengandung zat yang bisa berikatan kimia atau membentuk senyawa kompleks dengan zat yang diserap sehingga kemampuan solven mengekstraksi meningkat. Salah satu contoh adalah ekstraksi asam sitrat dari air (hasil fermentasi) dengan solven metil isobutilketon (MIBK) yang mengandung trisooktilamin (TIOA). Di fasa ekstrak (MIBK), asam sitrat

bereaksi dengan TIOA membentuk senyawa kompleks, sehingga asam sitrat bebas di fasa MIBK tinggal sedikit. Akibatnya terjadi lagi perpindahan massa asam sitrat dari fasa air ke fasa MIBK. Studi teoritis masalah ini mencakup perpindahan massa cair-cair diikuti reaksi kimia, serta studi kesetimbangan (kesetimbangan fasa cair-cair dan kesetimbangan kimia). Selain itu, ada juga usaha mengembangkan ekstraksi dengan membran cair, dimana terbentuk tiga fase cair.

7. Leaching (Ekstraksi Padat-Cair)

Misalnya ada campuran fasa padat A dan C yang akan diambil C-nya, maka ditambahkan solven B cair yang bisa melarutkan C tetapi tidak melarutkan A. Diperoleh ekstrak berupa larutan C dalam B. Selanjutnya B dipisahkan dari C, biasanya dengan penguapan, dan dipakai lagi untuk *leaching*. Proses ini juga bisa dipakai untuk pengambilan minyak atsiri dari hasil-hasil tanaman Indonesia. Industri rakyat umumnya masih belum bisa memanfaatkan teknologi ini karena kelayakan proses ini sangat ditentukan oleh keberhasilan pengambilan kembali (*recovery*) solven, yang membutuhkan peralatan yang relatif baik. Harga solven ini biasanya relatif mahal, sehingga kehilangan solven akan sangat merugikan.

Kelemahan lain proses ini adalah adanya sedikit solven yang tertinggal dalam produk. Untuk produk-produk tertentu, terutama bahan makanan, adanya sedikit solven tersisa tersebut perlu dihindari. Usaha-usaha penghilangan solven dalam produk merupakan masalah pemisahan yang perlu dipelajari lebih lanjut.

Proses *leaching* umumnya memerlukan suhu agak tinggi karena daya larut akan naik dengan naiknya suhu. Suhu agak tinggi ini sering menimbulkan kerusakan bahan, sehingga kualitas produk turun. Masalah lain yang timbul adalah bahwa solven pada umumnya tidak sempurna selektivitasnya sehingga ada zat-zat lain yang ikut terambil dalam ekstrak. Setelah solven diuapkan, masih diperoleh campuran sejumlah zat yang perlu dimurnikan lebih lanjut. Misalnya pada ekstraksi minyak atsiri dari bunga-bunga, diperoleh produk yang disebut *concrete*, yang masih perlu dimurnikan lagi.

8. Ekstraksi Superkritis

Fluida yang kondisinya berada di atas tekanan dan suhu kritis (keadaan superkritis), mempunyai sifat di antara cairan dan gas. Fluida dalam keadaan ini bisa dimanfaatkan sebagai solven pada ekstraksi dengan beberapa kelebihan, antara lain :

- Kekuatan solven dapat diatur sesuai keperluan, dengan mengatur kondisi operasinya.
- Daya larutnya bisa tinggi karena bersifat seperti cairan.
- Karena mempunyai sifat seperti gas, maka viskositasnya rendah sehingga koefisien perpindahan massanya bisa tinggi.
- Pemisahan kembali solven dari ekstrak cukup cepat dan sempurna, karena pada keadaan normal, fluida tersebut berupa gas (misalnya CO₂). Dengan demikian, dengan penurunan tekanan, solven otomatis keluar sebagai gas.
- Dapat memakai fluida yang tidak mencemari lingkungan dan tidak mudah terbakar (misalnya CO₂).
- Difusi dalam padatan bisa cepat.
- Suhu operasi bisa rendah, meski-pun tekanan tinggi.

Solven yang sering dipakai adalah CO₂. Suhu kritis CO₂ adalah 31,3°C, sedangkan tekanan kritisnya sekitar 74 atm. Dengan solven ini, ekstraksi superkritis dapat dijalankan pada suhu rendah dan tekanannya juga tidak terlalu tinggi.

Ekstraksi superkritis ini sangat menjanjikan (*promising*) untuk pemungutan minyak atsiri dari tanaman-tanaman Indonesia, sehingga perlu diteliti dan dikembangkan.

9. Pemisahan Berbasis Perpindahan Massa Padat-Cair

Operasi pemisahan ini analog dengan distilasi. Perbedaannya adalah kalau pada distilasi fasa-fasa yang terlibat adalah cair dan uap, pada operasi pemisahan ini yang terlibat adalah fasa padat dan cair. Dari segi kebutuhan energi, operasi padat-cair lebih menguntungkan dibanding uap-cair karena panas laten peleburan biasanya lebih kecil daripada panas laten penguapan.

Pemisahan berbasis perpindahan massa padat-cair dapat dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu :

- Kristalisasi dari larutan atau dikenal sebagai kristalisasi. Proses ini sudah lama dikenal dan sudah banyak dipakai dalam industri. Bahan-bahan larut dalam suatu solven, kemudian diambil dengan kristalisasi.
- Kristalisasi dari lelehan atau biasa disebut *melt crystallization* (kristalisasi lelehan). Proses ini belum banyak digunakan dalam industri. Dalam proses ini tidak dibutuhkan solven.. Cairan berupa campuran lelehan bahan-bahan.

Berikut ini disajikan perbandingan-perbandingan pokok antara kristalisasi lelehan dan distilasi.

Distilasi	Kristalisasi lelehan
a. Kedua fase (cair dan uap) masing-masing adalah <i>miscible</i> .	a. Fase cair dapat bercampur, fase padat tidak
b. Kesetimbangan yang terjadi adalah kesetimbangan uap-cair biasa.	b. Kesetimbangan <i>eutetic</i>
c. Tidak ada fase yang murni (uap dan cairan)	c. Fase padat murni kecuali pada titik <i>eutetic</i>
d. Faktor pemisahan nilainya sedang dan turun tajam setelah kemurnian meningkat	d. Koefisien pemisah bisa sangat tinggi, teoritis bisa tak terhingga.
e. Kemurnian sangat tinggi sulit dicapai	e. Kemurnian sangat tinggi mudah dicapai
f. Tak ada batas teoritis atas besarnya <i>recovery</i>	f. <i>Recovery</i> dibatasi oleh adanya komposisi <i>eutetic</i>
g. Kecepatan transfer massa dalam fase uap dan cairan cepat	g. Kecepatan transfer massa dalam cairan cukup cepat, sedangkan pada fase padat nol
h. Proses menuju equilibrium dapat dijalankan dengan cepat	h. Proses menuju kesetimbangan perlu dijalankan dengan lambat
Perbandingan rapat massa	Perbandingan rapat massa pa-

cairan dan gas bisa dicapai sampai 10000 kalinya. Hal ini mempermudah pemisahan fase. Viskositas fase uap dan cair relatif rendah	data dan cairan tidak besar (hanya sekitar 1,1)
k. Pemisahan fase bisa cepat dan sempurna	j. Viskositas fase cair sedang, padatan berupa benda tegar
Proses <i>counter-current</i> dapat dijalankan dengan mudah dan cepat.	k. Pemisahan fase lambat dan sulit sempurna
	Proses <i>counter-current</i> berjalan lambat dan sulit sempurna

Dari perbandingan tersebut terlihat bahwa sebetulnya keunggulan dan kelemahan kristalisasi lelehan dan distilasi seimbang. Jadi kristalisasi lelehan perlu dipelajari/ dikembangkan lebih lanjut. Jenis-jenis proses berbasis kristalisasi lelehan antara lain adalah :

- a. Progressive freezing.
- b. Zone melting.
- c. Melt crystallization from the bulk.

10. Pemisahan Berbasis Membran

Dewasa ini, pemisahan berbasis membran berkembang sangat pesat. Basis operasinya adalah perbedaan mudah-sukarnya zat-zat melewati membran. Keuntungan-keuntungan pemisahan dengan membran antara lain:

- a. Biaya pemisahan lebih murah.
- b. Menghasilkan produk berkualitas tinggi.
- c. Lebih sedikit menimbulkan efek-efek samping dibanding cara-cara lain.

Adapun kelemahannya adalah kecepatan yang rendah, sehingga untuk kapasitas besar, diperlukan luas membran yang sangat besar.

Penelitian yang berkaitan dengan pemisahan berbasis membran meliputi antara lain :

- a. Studi cara pembuatan membran yang memenuhi sifat-sifat yang diperlukan.
- b. Studi peralatan operasi pemisahan berbasis membran.

- c. Studi fundamental perpindahan massa melalui membran.

11. LAIN-LAIN

Masih banyak lagi cara-cara pemisahan yang sudah dikembangkan dan masih dalam taraf pengembangan, di antaranya adalah :

- a. Pemisahan memanfaatkan listrik (elektrolisis dan lain-lain).
- b. Pemisahan berdasar sifat permukaan, misalnya floatasi yang telah dipakai secara operasional, misalnya di PT. Freeport Irian Jaya.
- c. Pemisahan berdasar sifat magnetis, misalnya pada pengambilan pasir besi dari pasir pantai.
- d. dan lain-lain

Demikian bahasan singkat mengenai proses-proses pemisahan. Keterangan lebih terinci dapat ditelusuri dari pustaka-pustaka.

PUSTAKA

- [1]. Perry's Chemical Engineers' Handbook edisi 7, 1997.
- [2]. Schweitzer, P.A., , Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, 2d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1988
- [3]. Foust, A.S., et. al., , Principles of Unit Operations, John Wiley and Sons, New York, 1985

TANYA JAWAB

Bakri Arbie

- Mohon pendapat mengenai sistem desalinasi yang optimum ? Desalinasi di masa depan saya kira perlu dikembangkan mengingat kekurangan air di seluruh dunia tak terelakkan lagi.

Wahyudi Budi Sediawan

- Desalinasi bisa dijalankan dengan teknologi sederhana sampai maju. Salah satu yang dipakai di industri kimia adalah dengan evaporasi bertingkat. Cara ini bisa menghemat kebutuhan energi. Ada suatu proses yang belum banyak dicoba yaitu dengan operasi padat-cair (pembekuan dan peleburan). Kebutuhan energi relatif lebih kecil (panas penguapan air 540 cal/g, panas peleburan es = 80 cal/g). Tersedia juga proses-proses lain.

Fathurrachman

- Mohon penjelasan tentang penggunaan teknologi membran berupa teknik reverse osmosis dan elektrodialisis dalam desalinasi air laut untuk memproduksi air minum

Wahyudi Budi Sediawan

- Pemisahan berdasar membran banyak diteliti. Keunggulannya adalah relatif bersih dan hemat energi. Kelemahan cara ini adalah prosesnya yang lambat sehingga diperlukan membran yang luas dan ini berarti peralatan yang besar.

Suwardi

- Teknologi proses pemisahan tak terlepas dengan masalah energi. Untuk efisiensi energi dalam proses telah dikembangkan

satu ilmu : Energetik (proses industri).

Pertanyaan : Bagaimanakah perkembangan ilmu Energetik di Indonesia (PT) ?

Wahyudi Budi Sediawan

- Dasar-dasar perhitungan peralatan yang melibatkan energi (misal *heat exchanger*) telah diberikan di S1, tapi untuk analisis energi yang lebih menyeluruh belum. Namun untuk tingkat yang lebih tinggi (S2, S3) studi-studi mengenai energi yang lebih menyeluruh banyak dilakukan dalam tesis/disertasi.