



# **MODUL** **PRAKTIKUM** **OPERASI TEKNIK** **KIMIA II**

**Laboratorium Komputasi Proses**

**Jurusan Teknik Kimia**

**Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

**MODUL**

PENGERINGAN

---

POLIMERISASI

---

MEMBRAN

---

NON IDEAL FLOW

---

ION EXCHANGE

---

DISTILASI

---

HUMIDIFIKASI

---

KONTRAKTOR GAS  
CAIR

**FT UNTIRTA**

Jl. Jend. Sudirman Km. 3  
Cilegon - Banten 42435

## I. Pendahuluan

Distilasi adalah unit operasi yang sudah ratusan tahun diaplikasikan secara luas. Di sperempat abad pertama dari abad ke-20 ini, aplikasi unit distilasi berkembang pesat dari yang hanya terbatas pada upaya pemekatan alcohol kepada berbagai aplikasi di hampir seluruh industri kimia. Distilasi pada dasarnya adalah proses pemisahan suatu campuran menjadi dua atau lebih produk lewat eksploitasi perbedaan kemampuan menguap komponen-komponen dalam campuran. Operasi ini biasanya dilaksanakan dalam suatu klom baki (*tray column*) atau kolom dengan isian (*packing column*) untuk mendapatkan kontak antar fasa seintim mungkin sehingga diperoleh unjuk kerja pemisahan yang lebih baik.

Salah satu modus operasi distilasi adalah distilasi curah (*batch distillation*). Pada operasi ini, umpan dimasukkan hanya pada awal operasi, sedangkan produknya dikeluarkan secara kontinu. Operasi ini memiliki beberapa keuntungan :

1. Kapasitas operasi terlalu kecil jika dilaksanakan secara kontinu. Beberapa peralatan pendukung seperti pompa, tungku/boiler, perapian atau instrumentasi biasanya memiliki kapasitas atau ukuran minimum agar dapat digunakan pada skala industrial. Di bawah batas minimum tersebut, harga peralatan akan lebih mahal dan tingkat kesulitan operasinya akan semakin tinggi.
2. Karakteristik umpan maupun laju operasi berfluktuasi sehingga jika dilaksanakan secara kontinu akan membutuhkan fasilitas pendukung yang mampu menangani fluktuasi tersebut. Fasilitas ini tentunya sulit diperoleh dan mahal harganya. Peralatan distilasi curah dapat dipandang memiliki fleksibilitas operasi dibandingkan peralatan distilasi kontinu. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa peralatan distilasi curah sangat cocok digunakan sebagai alat serbaguna untuk memperoleh kembali pelarut maupun digunakan pada pabrik skala pilot.

Perangkat praktikum *distilasi batch* membawa para pengguna untuk mempelajari prinsip-prinsip dasar pemisahan dengan operasi distilasi, seperti kesetimbangan uap cair dan pemisahan lewat multistap kesetimbangan. Perangkat ini dapat juga dimanfaatkan untuk mempelajari dasar-dasar penilaian untuk kerja kolom distilasi pacing dan mempelajari perpindahan massa dalam kolom distilasi packing.

## II. Teori Penunjang

### 2.1 Keseimbangan Uap-Cair

Seperti telah disampaikan terdahulu, operasi distilasi mengeksploitasi perbedaan kemampuan menguap (volatilitas) komponen-komponen dalam campuran untuk melaksanakan proses pemisahan. Berkaitan dengan hal ini, dasar-dasar keseimbangan uap-cair perlu dipahami terlebih dahulu. Berikut akan diulas secara singkat pokok-pokok penting tentang keseimbangan uap-cair guna melandasi pemahaman tentang operasi distilasi.

#### 2.1.1 Harga-K dan Volatilitas Relatif

Harga-K (*K-Value*) adalah ukuran tendensi suatu komponen untuk menguap. Jika harga-K suatu komponen tinggi, maka komponen tersebut cenderung untuk terkonsentrasi di fasa uap, sebaliknya jika harganya rendah, maka komponen cenderung untuk terkonsentrasi di fasa cair. Persamaan (1) di bawah ini menampilkan cara menyatakan harga-K.

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} \quad \dots (1)$$

Dengan  $y_i$  adalah fraksi mol komponen  $i$  di fasa uap dan  $x_i$  adalah fraksi mol komponen  $i$  di fasa cair.

Harga-K adalah fungsi dari temperatur, tekanan, dan komposisi. Dalam keseimbangan, jika dua di antara variable-variabel tersebut telah ditetapkan, maka variable ketiga akan tertentu harganya. Dengan demikian, harga-K dapat ditampilkan sebagai fungsi dari tekanan dan komposisi, temperatur dan komposisi, atau tekanan dan temperatur.

Volatilitas relative (*relative volatility*) antara komponen  $i$  dan  $j$  didefinisikan sebagai :

$$\alpha_{i,j} = \frac{K_i}{K_j} \quad \dots (2)$$

Dengan  $K_i$  adalah harga-K untuk komponen  $i$  dan  $K_j$  adalah harga-K untuk komponen  $j$ . volatilitas relatif ini adalah ukuran kemudahan terpisahkan lewat eksploitasi perbedaan volatilitas. Menurut konsensus, volatilitas relative ditulis sebagai perbandingan harga-K dari komponen lebih mudah menguap (*MVC = more-volatile component*) terhadap harga-K komponen yang lebih sulit menguap. Dengan demikian, harga  $\alpha$  mendekati satu atau bahkan satu, maka kedua komponen sangat sulit bahkan tidak mungkin dipisahkan lewat operasi distilasi.

Sebagai contoh untuk system biner, misalkan suatu cairan yang dapat menguap terdiri dari dua komponen, A dan B. cairan ini dididihkan sehingga terbentuk fasa uap dan fasa cair, maka fasa uap akan kaya dengan komponen yang lebih mudah menguap, misalkan A, sedangkan fasa cair akan diperkaya oleh komponen yang lebih sukar menguap, B. Berdasarkan persamaan (1) dan (2), volatilitas relative,  $\alpha_{AB}$ , dapat dinyatakan sebagai :

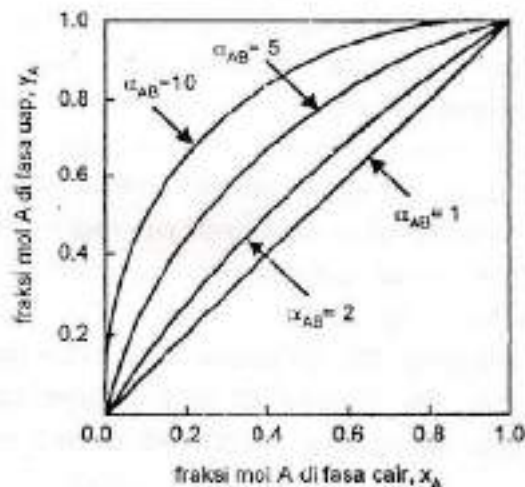
$$\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} \quad \dots (3)$$

Atau dapat dikembangkan menjadi :

$$y_A = \frac{x_A \alpha_{AB}}{1 + (\alpha_{AB} - 1)x_A} \quad \dots (4)$$

Jika persamaan (4) tersebut dialurkan terhadap sumbu x-y, maka akan diperoleh kurva kesetimbangan yang menampilkan hubungan fraksi mol komponen yang menampilkan hubungan fraksi mol komponen yang mudah menguap di fasa cair dan fasa uap yang dikenal sebagai diagram x-y. perhatikan gambar (1). Garis bersudut 45° yang dapat diartikan semakin

banyaknya komponen A di fasa uap pada saat kesetimbangan. Ini menandakan bahwa semakin besar harga  $\alpha_{AB}$ , semakin mudah A dan B dipisahkan lewat distilasi.



**Gambar 1 Diagram x-y sistem biner A-B**

### 2.1.2 Sistem Ideal dan Tak Ideal

Uraian terdahulu berlaku dengan baik untuk campuran-campuran yang mirip dengan campuran ideal. Yang dimaksud dengan campuran ideal adalah campuran yang perilaku fasa uapnya mematuhi Hukum Dalton dan perilaku fasa cairnya mengikuti Hukum Raoult. Hukum Dalton untuk gas ideal, seperti diperlihatkan pada persamaan (5), menyatakan bahwa tekanan parsial komponen dalam campuran,  $p_i$ , sama dengan fraksi mol komponen tersebut,  $y_i$ , dikalikan tekanan parsial komponen,  $p_i^s$ , sama dengan fraksi mol komponen di fasa cair,  $x_i^s$ . persamaan (6) menampilkan pernyataan ini.

$$p_i = y_i P \quad \dots (5)$$

$$p_i = x_i P_i^s \quad \dots (6)$$

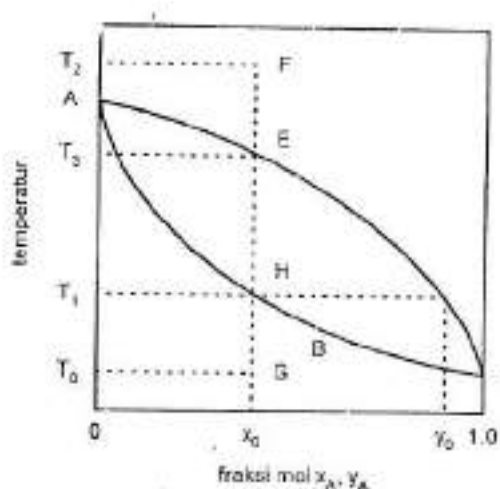
Dari persamaan (5) dan (6), harga-K untuk system ideal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^s}{P} \quad \dots\dots (7)$$

Pernyataan harga-K untuk system tak ideal tidak seringkas pernyataan untuk system ideal. Data kesetimbangan uap-cair umumnya diperoleh dari serangkaian hasil percobaan. Walaupun tidak mudah, upaya penegakan persamaan-persamaan untuk mengevaluasi system tak ideal telah banyak dikembangkan dan bahkan telah diaplikasikan. Pustaka seperti Walas (1984) dan Smith-van Ness (1987) dapat dipelajari untuk mendalami topic tersebut.

### 2.1.3 Diagram T-x-y

Proses-proses distilasi industrial seringkali diselenggarakan pada tekanan yang relative konstan. Untuk keperluan ini diagram fasa isobar (pada tekanan tertentu) paling baik untuk ditampilkan. Diagram



**Gambar 2** Tipikal diagram T-x-y

yang menempatkan temperatur dan komposisi dalam ordinat dan absis ini dinamai diagram T-x-y. Bentuk umum diagram ini diperlihatkan dalam gambar 1 yang mewakili campuran dengan dua komponen A dan B berada dalam kesetimbangan uap-cairnya. Kurva ABC adalah titik-titik komposisi cairan jenuh, sedangkan kurva AEC adalah titik-titik komposisi untuk uap jenuh. Titik C mewakili titik didih komponen A murni dan Titik A mewakili titik didih komponen B murni.

Bayangkan suatu campuran berfasa cair titik G, bertemperatur  $T_0$  dan komposisinya  $X_0$ , dipanaskan hingga mencapai temperatur  $T_1$  di kurva

ABC yang berarti campuran berada pada temperatur jenuhnya sedemikian hingga pemanasan lebih lanjut akan mengakibatkan terjadinya penguapan  $T_1$  dapat dianggap sebagai temperatur terbentuknya uap pertama kali atau dinamai titik didih (*bubble point*) campuran cair dengan komposisi  $X_0$ . Perhatikan bahwa uap yang terbentuk memiliki komposisi tidak sama dengan  $x_0$  tetapi  $y_0$  (diperoleh dari penarikan garis horizontal dari  $T_1$ ).

Pemanasan lebih lanjut mengakibatkan semakin banyak uap terbentuk dan sebagai konsekuensinya adalah perubahan komposisi terus menerus di fasa cair sampai tercapainya titik E. Pada temperatur ini, semua fasa cair telah berubah menjadi uap. Karena tidak ada massa hilang untuk keseluruhan system, komposisi uap yang diperoleh akan sama dengan komposisi cairan awal. Penyuplaian panas berikutnya menghasilkan uap lewat jenuh seperti diwakili oleh titik F.

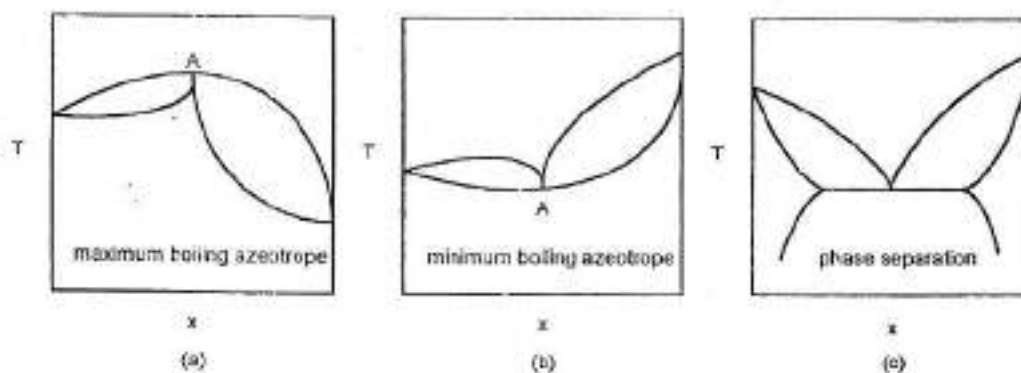
Sekarang operasi dibalik. Mula-mula campuran fasa uap di titik F didinginkan dari temperatur  $T_2$  hingga mencapai titik E di kurva AEC. Di titik ini, uap berada dalam keadaan jenuh dan cairan mulai terbentuk. Titik ini kemudian dinamai titik embun (*dew point*). Pendinginan lebih lanjut menyebabkan fasa cair makin banyak terbentuk sampai tercapainya titik H yang mewakili titik jenuh fasa cair.

Diagram T-x-y dengan demikian dapat dibagi menjadi tiga daerah : (1) Daerah di bawah kurva ABC yang mewakili *subcooled liquid mixtures* (cairan lewat jenuh), (2) Daerah di atas kurva AEC yang mewakili *superheated vapor* (uap lewat jenuh), dan (3) Daerah yang dibatasi kedua kurva tersebut yang mewakili system dua fasa dalam kesetimbangan. Operasi distilasi bekerja di daerah tempat terwujudnya kesetimbangan dua fasa, uap dan cair.

#### 2.1.4 Aseotrop dan Larutan Tak Campur

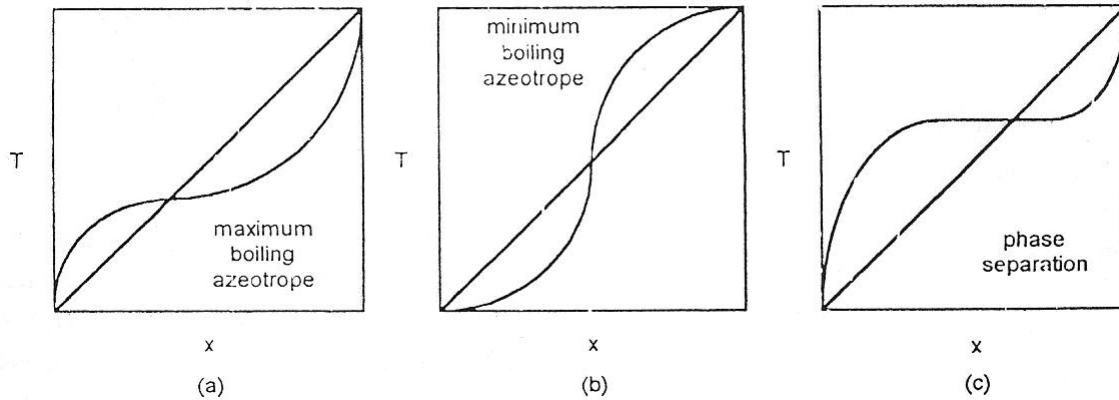
Apa yang ditampilkan oleh gambar 2 adalah tipikal untuk sistem normal. Jika interaksi fisik dan kimiawi yang terjadi di dalam sistem sangat signifikan maka bentukan kurva T-x-y dan x-y akan mengalami penyimpangan yang berarti. Perhatikan gambar 3. Berbagai modifikasi, seperti distilasi ekstraktif, distilasi kukus, dsb, perlu dilakukan untuk memisahkan komponen-komponen dari sistem yang tak ideal ini.

Gambar 3a dan 3b mewakili sistem aseotrop yaitu sistem yang memiliki perilaku seperti zat murni di suatu komposisi tertentu. Lihat titik a dengan komposisi  $x_a$ . Pada titik ini perubahan temperatur saat penguapan terjadi tidak menyebabkan perbedaan komposisi di fasa uap dan cair. Gambar 3a mewakili sistem *maximum boiling azeotrope*, sedangkan gambar 3b mewakili *system minimum boiling azeotrop*.



**Gambar 3 Diagram T-x-y untuk sistem tak ideal**

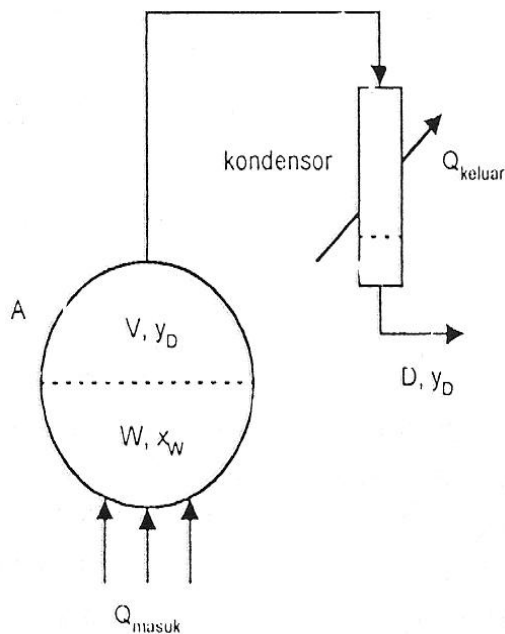
Interaksi antar komponen yang sangat kuat memungkinkan terbentuknya dua fasa cairan yang ditunjukkan oleh daerah tak saling larut (*immiscible region*) dalam diagram fasa seperti tampak dalam gambar 3c. Diagram x-y untuk sistem-sistem ini dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4 diagram x-y untuk sistem tak ideal**

## 2.2 Distilasi Diferensial

Kasus distilasi *batch* (partaian) yang paling sederhana adalah operasi yang menggunakan peralatan seperti pada Gambar berikut ini.



**Gambar 5 Distilasi Diferensial**

Keterangan :

$D$  = laju alir distilat, mol/jam

$y_D$  = komposisi distilat, fraksimol

$V$  = jumlah uap dalam labu

$W$  = jumlah cairan dalam labu

Pada alati ini, cairan dalam labu dipanaskan sehingga sebagian cairan akan menguap dengan komposisi uap  $y_D$  yang dianggap berada dalam kesetimbangan dengan komposisi cairan yang ada di labu,  $x_W$ . uap keluar labu menuju kondenser dan diembunkan secara total. Cairan yang keuar dari kondenser memiliki komposisi  $x_D$  yang besarnya sama dengan  $y_D$ . Dalam hal ini, distilasi berlangsung satu tahap.

Uap yang keluar dari labu kaya akan komponen yang lebih sukar menguap (A), sedangkan cairan yang tertinggal kaya akan komponen yang lebih sukar menguap (B). Apabila hal ini berlangsung terus, maka komposisi di dalam cairan akan berubah; komponen A akan semakin sedikit dan komponen B akan semakin banyak. Hal ini juga berdampak pada komposisi uap yang dihasilkan. Jika komposisi komponen A di dalam cairan menurun, maka komposisi komponen A di dalam uap yang berada dalam

kesetimbangan dengan cairan tadi juga akan menurun. Berdasarkan fakta tersebut dapat disimpulkan bahwa komposisi dalam operasi ini berubah terhadap waktu. Neraca massa proses distilasi diferensial dapat dinyatakan sbb :

$$-\frac{d(Wx_W)}{dt} = \left( -W \frac{dx_W}{dt} - x_W \frac{dW}{dt} \right) = -Dy_D \quad \text{..... (8)}$$

Bentuk integrasi persamaan di atas adalah sbb :

$$\int_0^x \frac{dx_W}{(y_D - x_W)} = \int_{W_0}^W \frac{dW}{W} \quad \text{..... (9)}$$

Dimana  $x_0$  dan  $W_0$  masing-masing adalah komposisi dan berat cairan di dalam labu mula-mula. Persamaan ini dikenal sebagai persamaan *Rayleigh*.

Jika operasi dilaksanakan pada tekanan tetap, perubahan temperatur cairan dalam labu tidak terlalu besar, dan konstanta kesetimbangan uap-cair dapat dinyatakan sebagai :  $y = Kx$ , sehingga persamaan (9) dapat dengan mudah diselesaikan menjadi :

$$\ln \left( \frac{W}{W_0} \right) = \frac{1}{K-1} \ln \left( \frac{x}{x_0} \right) \quad \text{.....(10)}$$

Untuk campuran biner, hubungan kesetimbangan dapat dinyatakan dengan koefisien volatilitas relative,  $\alpha$ . Jika koefisien volatilitas relatif ini dapat dianggap tetap selama operasi, maka integrasi persamaan (5) adalah :

$$\ln \left( \frac{W_0}{W} \right) = \frac{1}{\alpha-1} \left[ \ln \left( \frac{x_0}{x} \right) + \alpha \ln \left( \frac{1-x}{1-x_0} \right) \right] \quad \text{..... (11)}$$

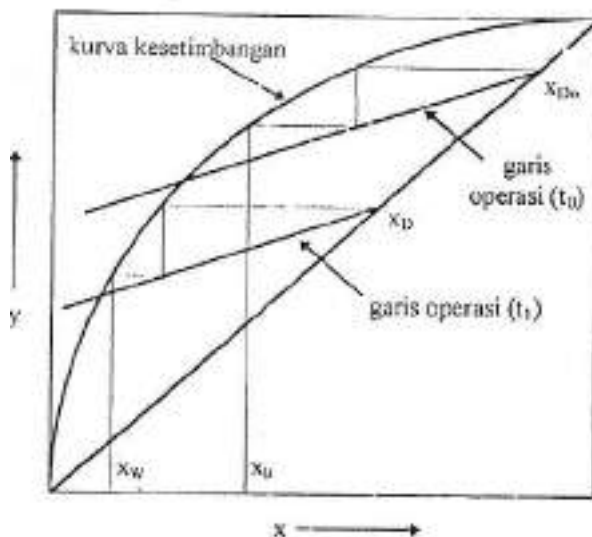
### 2.3 Rektifikasi dengan Refluks Konstan

Distilasi partaian menggunakan kolom rektifikasi yang ditempatkan di atas labu didihnya (*reboiler*) akan memberikan pemisahan yang lebih baik dari pada distilasi diferensial biasa, karena kolom rektifikasi menyediakan terjadinya serangkaian tahap kesetimbangan. Dengan jumlah tahap kesetimbangan yang lebih banyak, komposisi komponen yang mudah menguap di fasa uap akan semakin besar atau dengan kata lain, pemisahan yang diperoleh akan lebih baik. Kolom rektifikasi dapat



berupa kolom dengan baki (*plate*) atau dengan isian (*packing*). Di puncak kolom, sebagian cairan hasil kondensasi dikembalikan ke dalam kolom sebagai refluks agar pada kolom terjadi kontak antar fasa uap-cair.

Jika nisbah refluks dibuat tetap, maka komposisi cairan dalam reboiler dan distilat akan berubah terhadap waktu. Untuk saat tertentu, hubungan operasi dan kesetimbangan dalam kolom distilasi dapat digambarkan pada diagram *McCabe-Thiele*. Perhatikan gambar 6 berikut ini.



**Gambar 6 Diagram McCabe-Thiele**

Pada saat awal operasi ( $t=t_0$ ), komposisi cairan di dalam reboiler dinyatakan dengan  $x_0$ . Jika cairan yang mengalir melalui kolom tidak terlalu besar dibandingkan dengan jumlah cairan di reboiler dan kolom memberikan dua tahap pemisahan teoritik, maka komposisi distilat awal adalah  $x_D$ . Komposisi ini dapat diperoleh dengan membentuk garis operasi dengan kemiringan  $L/V$  dan mengambil dua buah tahap kesetimbangan antara garis operasi dan garis kesetimbangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Pada waktu tertentu setelah operasi ( $t=t_1$ ), komposisi cairan di dalam reboiler adalah  $x_W$  dan komposisi distilat adalah  $x_D$ . Karena refluks dipertahankan tetap, maka  $L/V$  dan tahap teoritik tetap.

Secara umum, persamaan garis operasi adalah sbb :

$$y_i = \frac{L}{V} x_i + \frac{D x_D}{V} \text{ untuk waktu ke-} i \quad \dots\dots\dots (12)$$

Persamaan (12) jarang digunakan dalam praktek karena melibatkan besaran  $L$  dan  $V$  yaitu laju alir cairan dan uap yang mengalir di dalam kolom. Dengan mendefinisikan nisbah refluks,  $R$ , sebagian  $R = L/D$ , maka persamaan (12) dapat diubah menjadi :

$$y_i = \frac{R}{R+1} x_i + \frac{x_D}{R+1} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Waktu yang diperlukan untuk distilasi curah menggunakan kolom rektifikasi dengan refluks konstan dapat dihitung melalui neraca massa total berdasarkan laju penguapan konstan,  $V$ , seperti ditunjukkan berikut ini :

$$t = \frac{W_0 - W}{V \left(1 - \frac{L}{V}\right)} \quad \dots\dots\dots (14)$$

## 2.4 Rektifikasi dengan Komposisi Distilat Konstan

Apabila diperlukan distilasi dengan komposisi distilat konstan, maka hal ini dapat diperoleh dengan mengatur nisbah refluks. Jika sejumlah bahan yang mudah menguap dikeluarkan melalui distilat, maka komposisi cairan di dalam labu didih dan distilat akan menurun dengan berlangsungnya operasi. Untuk mempertahankan komposisi distilat, nisbah refluks ditingkatkan sedemikian rupa sehingga komposisi distilat dapat dipertahankan, hal ini dapat dilaksanakan dengan apabila jumlah tahap (teoritik) kolom sudah diketahui. Jadi, dengan mengukur komposisi cairan di dalam labu didi, dapat dilakukan perhitungan *trial and error* untuk mendapatkan suatu garis operasi yang sesuai dengan jumlah tahap teoritik kolom dan mencapai komposisi distilat yang dikehendaki. Pada dasarnya hal ini berlangsung secara dinamik dan harus diperbaharui setiap saat, namun secara praktis, perhitungan ini dapat dilakukan untuk jangka waktu yang tidak terlalu lama, bergantung laju penurunan komposisi cairan di dalam labu didih.

## III. Penugasan

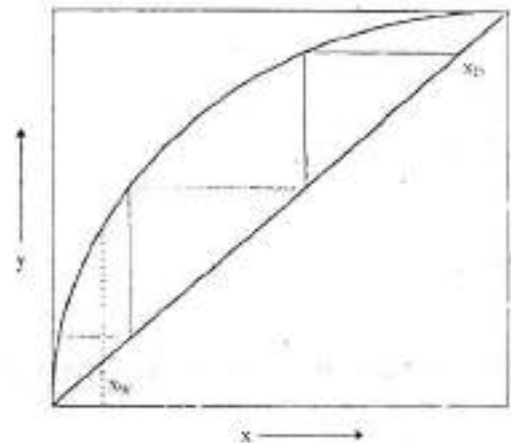
Percobaan ditujukan kepada upaya pemahaman operasi distilasi yang diselenggarakan secara batch (partaian). Penugasan yang dapat diberikan adalah :

1. Distilasi batch dengan refluks konstan
2. Distilasi batch dengan komposisi konstan (perubahan refluks)

## IV. Studi Kasus

### 3.1 Kasus I : Distilasi dengan Refluks Total

Labu didih diisi dengan campuran biner, kemudian dididihkan. Di atas kolom, uap dikondensasi dan seluruh kondensatnya dikembalikan ke dalam kolim sebagai refluks. Setelah kesetimbangan tercapai, yaitu apabila komposisi cairan di labu didih dan kondensat telah konstan, maka jumlah tahap teoritik dapat ditentukan dari kurva kesetimbangan seperti pada gambar 7. Sebagai pembanding, hasil perhitungan menggunakan persamaan Fenske. Lihat bentukan persamaan ini di Kister (1992) atau Henley (1981).

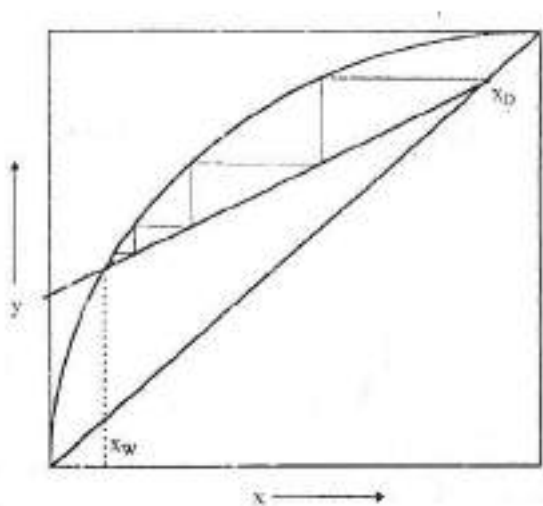


Gambar 7 Distilasi dengan refluks total

### 3.2 Kasus II : Distilasi dengan Refluks Tertentu

Setelah melaksanakan percobaan dengan refluks total (hal ini penting karena sistem distilasi harus mencapai keadaan lunak terlebih dahulu), nisbah refluks dapat diubah ke harga tertentu. Harga

refluks optimum adalah 1,25 hingga 1,3 kali harga refluks minimum. Refluks minimum didefinisikan sebagai harga refluks yang menghasilkan jumlah tahap teoritik tak berhingga agar pemisahan dapat dilaksanakan. Harga refluks minimum ini dapat diperoleh dari kurva kesetimbangan (gambar 8) atau dari persamaan refluks minimum dari Underwood. Dengan kurva kesetimbangan atau memotong kurva kesetimbangan atau memotong kurva kesetimbangan pada komposisi cairan dalam labu,  $x_W$ . Dari harga kemiringan kurva tersebut dapat diperoleh harga refluks minimum.



**Gambar 8 Refluks minimum**  
distilat atay cairan di dalam labu.

Pada operasi dengan suatu harga refluks tertentu, komposisi distilat maupun cairan di labu diamati setiap selang waktu tertentu. Data dinamika komposisi ini dapat dimanfaatkan untuk menghitung jumlah distilat yang keluar dan/atau jumlah cairan dalam labu yang tersisa. Jumlah tersebut dapat juga dihitung dengan mengintegrasi komposisi terhadap waktu (menghitung luas di bawah kurva) dikalikan dengan laju perubahan massa (misalnya laju distilat yang keluar). Hasilnya dapat dibandingkan dengan data pengukuran berupa data penimbangan hasil

Pengukuran komposisi distilat rata-rata, komposisi cairan di dalam labu, jumlah cairan di dalam labu dan jumlah distilat dapat digunakan untuk menghitung waktu distilasi. Harga nisbah ( $L/V$ ) dapat diperoleh dari harga nisbah keluarga dan harga  $V$  diperoleh dari korupsi

Dari beberapa data dinamika komposisi, pada harga nisbah refluks tertentu, dapat ditentukan jumlah tahap teoritik, ambillah beberapa pasang komposisi distilat dan cairan labu, kemudian tentukan jumlah teoritik tersebut. Analisis dapat dilakukan dengan mengamati apakah jumlah tahap teoritik tersebut berubah terhadap waktu/komposisi atau tidak.

### 3.3 Kasus : Distilasi untuk Mendapatkan Komposisi Distilat yang Tetap

Dengan pengetahuan tentang jumlah tahap teoritik (rata-rata) kolom, dapat dilaksanakan distilasi batch untuk menghasilkan distilat dengan komposisi yang tetap. Setelah melaksanakan distilasi dengan refluks total, tentukan harga refluks sehingga diperoleh komposisi distilat yang diinginkan. Hal ini dapat diperoleh dengan mengatur kemiringan garis operasi sedemikian sehingga garis tersebut menghasilkan jumlah teoritik kolom di antara komposisi distilat dan komposisi cairan labu. Setelah beberapa saat (misalkan 15 menit kemudian), refluks perlu disesuaikan kembali dengan cara yang sama seperti di atas. Hal ini tentu saja menuntut praktikan untuk siap menghitung pada saat percobaan. Untuk itu, persiapan teori yang matang serta persiapan perhitungan yang lengkap akan sangat membantu.

## Daftar Pustaka

1. Henley, E.J., J.D., *Equilibrium-Stage Separation Operations in Chemical Engineering*, John Wiley, New York, 1981, Chapter 3, 9.
2. Kister, H.Z. *Distillation Design*, Mc Graw-Hill, New York, 1992, Chapter 1, 5.
3. Smith, J.M., Van Ness, H.C., *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 4<sup>th</sup> ed., Mc Graw-Hill, Singapore, 1987.
4. Walas, S.M., *Phase Equilibria in Chemical Engineering*, Butterworths Publishers, MA, 1984.

## Lampiran A : Perangkat Percobaan Distilasi Batch

### A.1 Deskripsi Perangkat Percobaan

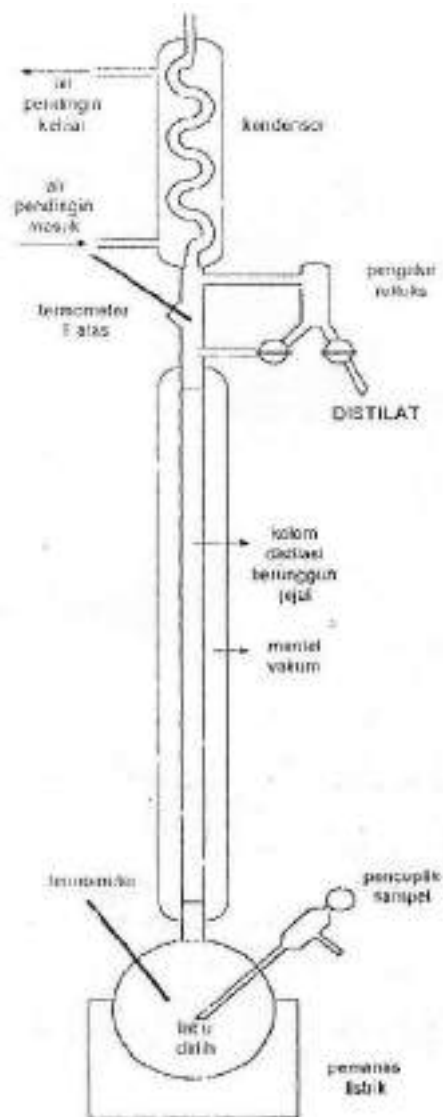
Rangkaian perangkat percobaan Distilasi Batch digambarkan secara skematik pada Gambar A1. Peralatan utama yang ada dalam perangkat ini adalah sebuah kolom distilasi yang berisi unggun jejalan dan dilengkapi mantel udara vakum, sebuah labu didih, sebuah pemanas listrik, sebuah kondensor dengan sistem pendingin air sekali lewat, dan pengatur refluks.

Thermometer ditempatkan di labu didih untuk mewakili temperatur bawah kolom dan di tempat pengaturan refluks untuk mewakili temperatur atas kolom. Labu didih dilengkapi pula dengan seperangkat pengambil sampel.

### A.2 Spesifikasi Perangkat Percobaan

Perangkat Peralatan Utama yang disediakan.

- |               |  |
|---------------|--|
| Nama          | : kolom distilasi  |
| Tipe          | : kolom unggun<br>Packing tunggal<br>Dengan selimut vakum    |
| Bahan         | : gelas  |
| Ukuran        | : dia. Kolom 2,6 cm<br>Dia. Selimut 2,2 cm<br>Panjang 150 cm |
| Tipe jejalan  | : raschig rings  |
| Bahan jejalan | : gelas, 8 mm OD   |
| Jumlah        | : 1 buah   |
- |           |  |
|-----------|--|
| Nama      | : labu didih   |
| Ukuran    | : 2 liter  |
| Bahan     | : gelas  |
| Lain-lain | : leher 3<br>(tempat thermometer<br>Per cuplik, dan kolom) |
| Jumlah    | : 1 buah   |



Gambar A1 Skema Perangkat Distilasi Batch

3. Nama : pemanas listrik  
Merk : HORST  
Tipe : HME 2/2000  
Tegangan : 220 Volt AC  
Daya : 500 watt  
Ukuran : 2 liter  
Jumlah : 1 buah  
T maks : 450 °C
4. Nama : kondensor  
Tipe : pendingin air sekali lewat  
Diameter : 4 cm  
Panjang : 40 cm  
Ukuran : 2 liter  
Jumlah : 1 buah

Peralatan pembantu yang disediakan

1. Nama : thermometer  
Tipe : alcohol, 0-100 °C  
Jumlah : 2 buah

Peralatan pembantu yang tidak disediakan

1. Peralatan analisis sampel.

## **Lampiran B : Petunjuk Pelaksanaan Percobaan**

### **B.1 Mempersiapkan metoda dan peralatan analisa sampel**

Hal pertama yang perlu dipersiapkan adalah memilih metoda analisa sampel. Pemilihan ini bergantung kepada sifat-sifat campuran yang hendak dianalisa. Beberapa pilihan yang umum dimanfaatkan adalah : titrimetri, refraktometri dan kromatografi. Titrimetri jarang sekali dapat diterapkan dengan baik untuk sistem-sistem organik, sedangkan analisa dengan kromatografi biayanya mahal.

Jika metoda refraktometri dipilih, kurva kalibrasi indeks bias terhadap komposisi campuran perlu dipersiapkan. Hal-hal yang perlu diperhatikan :

1. Perhatikan dengan baik kemurnian zat yang hendak dipakai sebagai bahan pengkalibrasi
2. Kerjakan dengan baik prosedur pemakaian refraktometer sesuai manualnya.

### **B.2 Melakukan tempuhan**

Untuk mempelajari distilasi dengan refluks konstan, dua pekerjaan besar harus dilaksanakan, yaitu (1) melakukan distilasi dengan refluks total hingga keadaan lunak tercapai dan (2) operasi dengan refluks parsial setelah keadaan lunak tercapai.

#### **B.2.1 Refluks Total**

1. Rangkaian peralatan pada rig/kerangkanya dengan baik. Perhatikan semua sambungan dan kedudukan-dudukan.
2. Isikan campuran yang hendak dipisahkan, ke dalam lab didih dengan tidak lupa menambahkan batu didih untuk mencegah gejolak selama operasi berlangsung.
3. Naikkan dongkrak sedemikian hingga labu didih dan pemanas tersangga dengan baik dan terhubung dengan kolom distilasi.
4. Periksa aliran air pendingin menuju kondensor beserta saluran keluarnya. Perhatikan bahwa aliran air pendingin masuk di bagian kondensor yang berhubungan dengan kolom distilasi.
5. Persiapkan pengatur refluks sedemikian hingga semua kondensat dikembalikan ke dalam kolom.
6. Pasang semua thermometer dan alat mencuplik pada tempatnya.
7. Nyalakan pemanas listrik. Atur sedemikian hingga pemanasan berlangsung baik dan uap terbentuk dapat mencapai kondensor
8. Setelah teramati adanya kondensat yang kembali ke dalam kolom, catat temperatur bawah dan atas kolom setiap jangka waktu tertentu bersama dengan pengambilan cuplikan distilat.
9. Analisa distilat tersebut
10. Lakukan langkah 8 dan 9 terus menerus hingga harga temperatur dan konsentrasi distilat konstan

Pada saat keadaan lunak ini telah tercapai, cuplik sampel dari labu didih. Data-data tersebut dapat dipakai untuk menganalisa operasi distilasi pada refluks total.

### **B.2.2 Refluks Parsial**

1. Jangan menghentikan percobaan (mematikan pemanas dan atau air pendingin) saat refluks total tercapai.
2. Beranjak dari saat keadaan lunak refluks total tercapai, operasi dengan refluks parsial dapat dilanjutkan.
3. Set pengatur refluks sesuai besarnya refluks parsial yang diinginkan.
4. Amati setiap jangka waktu tertentu, temperatur atas dan bawah kolom. Bersamaan dengan itu lakukan pencuplikan di aliran distilat dan labu didih.
5. Data-data tersebut menampilkan dinamika distilasi batch dengan refluks parsial.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan humiditas yang tinggi sehingga kandungan air dari material-material yang mudah menyerap air tinggi. Kondisi ini tentu tidak menguntungkan karena kandungan air yang tinggi akan merusak material tersebut. Makanan dengan kandungan air yang tinggi akan mempercepat proses pembusukan sedangkan material padatan dengan kandungan air tinggi mengurangi kekuatan material. Selain itu, kandungan air yang tinggi pada material bahan bakar seperti batubara akan mengurangi kandungan air sehingga perlu dilakukan proses pengurangan kandungan air pada material tersebut. Salah satu pengurangan kandungan air dari material dengan cara pengeringan.

Kandungan air batubara muda Indonesia sekitar 25-49 %. Dengan kandungan air yang tinggi, maka batubara muda akan mudah lengket satu sama lain yang kemudian akan menggumpal saat batubara tersebut dialirkan bersama-sama. Gumpalan batubara menyulitkan dalam transportasi batubara khususnya saat batubara dialirkan di dalam pipa setelah batubara dihaluskan (biasanya pada industri tenaga listrik (*power plant*)). Selain itu, batubara dengan kandungan air yang tinggi akan mengurangi kadar kalor saat dibakar dalam suatu tungku pembakaran. Maka batubara harus dikeringkan hingga kandungan air tertentu untuk mencegah masalah saat ditransportasikan atau proses selanjutnya

Phenomena pengeringan dapat diketahui dari kinetika pengeringan oleh kurva laju pengeringan. Kinetika pengeringan batubara memperlihatkan perubahan massa batubara untuk tiap satuan waktu selama proses pengeringan. Hasil dari kinetika pengeringan adalah laju pengeringan dari batubara terhadap kandungan air. Laju pengeringan dipengaruhi oleh faktor eksternal dan internal dari material. Bila udara sebagai media pemanas maka faktor eksternal adalah kecepatan udara, relative humidity dari udara, dan temperatur udara. Sedangkan faktor internal adalah struktur batubara yang berupa ukuran, kandungan dan distribusi dari pori-pori batubara.

## **II. Tujuan Percobaan**

Percobaan ini dilakukan untuk memahami phenomena pengeringan dari data kinetika pengeringan material

## **III. Sasaran Praktikum**

Sasaran praktikum modul Pengeringan adalah:

1. Praktikan dapat membuat kurva pengeringan dari data laju pengurangan massa material
2. Praktikan mampu menganalisa phenomena pengeringa dari kurva pengeringan

## BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengeringan

Pengeringan adalah proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relative kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas. Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) normal atau setara dengan nilai aktivitas air (aw) yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatis dan kimiawi. Pengertian proses pengeringan berbeda dengan proses penguapan (evaporasi). Proses penguapan atau evaporasi adalah proses pemisahan uap air dalam bentuk murni dari suatu campuran berupa larutan (cairan) yang mengandung air dalam jumlah yang relatif banyak. Meskipun demikian ada kerugian yang ditimbulkan selama pengeringan yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta terjadinya penurunan mutu bahan.

Tujuan dilakukannya proses pengeringan adalah untuk:

1. Memudahkan penanganan selanjutnya
2. Mengurangi biaya transportasi dan pengemasan
3. Mengawetkan bahan
4. Meningkatkan nilai guna suatu bahan atau agar dapat memberikan hasil yang baik
5. Mengurangi biaya korosi

Hal ini penting untuk menghindari proses pengeringan lampau dan pengeringan yang terlalu lama, karena kedua proses pengeringan ini akan meningkatkan biaya operasi. Metodologi dan teknik pengeringan dapat dikatakan baik apabila fenomena perpindahan masaa dan energi pada proses pengeringan dapat dipahami.

## 2.2 Prinsip Dasar Pengeringan

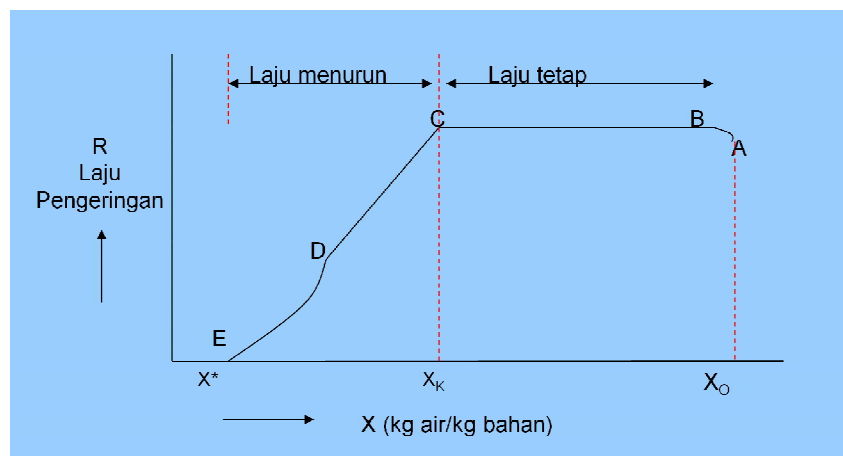
Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Proses perpindahan panas yang terjadi adalah dengan cara konveksi serta perpindahan panas secara konduksi dan radiasi tetap terjadi dalam jumlah yang relative kecil. Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida dengan cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan, sedangkan waktu proses pengeringannya ditetapkan dalam dua periode ([Batty dan Folkman. 1984](#)), yaitu:

### 1. Periode pengeringan dengan laju tetap (Constant Rate Periode)

Pada periode ini bahan-bahan yang dikeringkan memiliki kecepatan pengeringan yang konstan. Proses penguapan pada periode ini terjadi pada air tak terikat, dimana suhu pada bahan sama dengan suhu bola basah udara pengering. Periode pengeringan dengan laju tetap dapat dianggap sebagai keadaan steady.

### 2. Periode pengeringan dengan laju menurun (Falling Rate Periode)

Periode kedua proses pengeringan yang terjadi adalah turunnya laju pengeringan batubara ( $R=0$ ). Pada periode ini terjadi peristiwa penguapan kandungan yang ada di dalam batubara (internal moisture).



Gambar. 2.1 Grafik Peristiwa Perpindahan Proses Pengeringan

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas harus diberikan pada bahan, dan air harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut *pindah panas* ke dalam dan *pindah massa* ke luar. Yang dimaksudkan dengan *pindah panas* adalah peristiwa perpindahan energi dari udara ke dalam bahan yang dapat menyebabkan berpindahnya sejumlah massa (kandungan air) karena gaya dorong untuk keluar dari bahan (*pindah massa*). Dalam pengeringan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum, oleh karena itu semua usaha dibuat untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa. Perpindahan panas dalam proses pengeringan dapat terjadi melalui dua cara yaitu *pengeringan langsung* dan *pengeringan tidak langsung*. Pengeringan langsung yaitu sumber panas berhubungan dengan bahan yang dikeringkan, sedangkan pengeringan tidak langsung yaitu panas dari sumber panas dilewatkan melalui permukaan benda padat (konverter) dan konverter tersebut yang berhubungan dengan bahan pangan. Setelah panas sampai ke bahan maka air dari sel-sel bahan akan bergerak ke permukaan bahan kemudian keluar. Mekanisme keluarnya air dari dalam bahan selama pengeringan adalah sebagai berikut:

1. Air bergerak melalui tekanan kapiler.
2. Penarikan air disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan di setiap bagian bahan.
3. Penarikan air ke permukaan bahan disebabkan oleh absorpsi dari lapisan-lapisan permukaan komponen padatan dari bahan.
4. Perpindahan air dari bahan ke udara disebabkan oleh perbedaan tekanan uap.

## **2.3 Faktor-faktor yang berpengaruh dalam kecepatan pengeringan**

Proses pengeringan suatu material padatan dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain: luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas, perbedaan temperature antara padatan dengan fluida panas, kecepatan aliran fluida panas serta tekanan udara. Berikut ini dijelaskan tentang factor-faktor tersebut.

### **a. Luas Permukaan**

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar,
2. Partikel-partikel kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

### **b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya**

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "Case Hardening", yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

### **c. Kecepatan Aliran Udara**

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

### **d. Tekanan Udara**

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tetampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

Densitas batubara dapat bervariasi yang menunjukkan hubungan antara rank dan kandungan karbon. Batubara dengan kandungan karbon 85% biasanya menunjukkan suatu derajat ciri hidropobik yang lebih besar dari batubara dengan rank paling rendah. Bagaimanapun, hasil temuan terbaru pada prediksi sifat hidropobik batubara mengindikasikan bahwa korelasi karakteristik kandungan air lebih baik dari pada kandungan karbon dan begitupun rasio kandungan air/karbon lebih baik daripada rasio atomik oksigen/karbon. Begitupun, terdapat suatu hubungan antara sifat hidropobik batubara dan kandungan air.

**(Labuschagne. 1988).**

Udara merupakan medium yang sangat penting dalam proses pengeringan, untuk menghantar panas kepada bahan yang hendak dikeringkan, karena udara satu-satunya medium yang sangat mudah diperoleh dan tidak memerlukan biaya operasional. Oleh karena itu untuk memahami bagaimana proses pengeringan terjadi, maka perlu ditinjau sifat udara.

## 2.4 Kinetika Pengeringan

Setiap material yang akan dikeringkan memiliki karakteristik kinetika pengeringan yang berbeda-beda bergantung terhadap struktur internal dari material yang akan dikeringkan. Kinetika pengeringan memperlihatkan perubahan kandungan air yang terdapat dalam material untuk setiap waktu saat dilakukan proses pengeringan. Dari kinetika pengeringan dapat diketahui jumlah air dari material yang telah diuapkan, waktu pengeringan, konsumsi energy. Parameteri-parameter dalam proses pengeringan untuk mendapatkan data kinetika pengeringan adalah

1. **Moisture Content (X)** menunjukkan kandungan air yang terdapat dalam material untuk tiap satuan massa padatan. Moisture content (X) dibagi dalam 2 macam yaitu basis kering (X) dan basis basah (X'). Moisture content basis kering (X) menunjukkan rasio antara kandungan air (kg) dalam material terhadap berat material kering (kg). Sedangkan moisture content basis basah (X') menunjukka rasio antara kandungan air (kg) dalam material terhadap berat material basah (kg)
2. Drying rate ( $N$ ,  $\text{kg/m}^2.\text{s}$  ) menunjukkan laju penguapan air untuk tiap satuan luas dari permukaan yang kontak antara material dengan fluida panas. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju pengeringan adalah

$$N = -\frac{M_s}{A} \frac{dX}{dt},$$

$M_s$  adalah massa padatan tanpa air (kg)

$A$  adalah luas permukaan kontak antara fluida panas dengan padatan ( $\text{m}^2$ )

$dX$  adalah perubahan moisture content dalam jangka waktu  $dt$

$dt$  adalah perubahan waktu (detik)

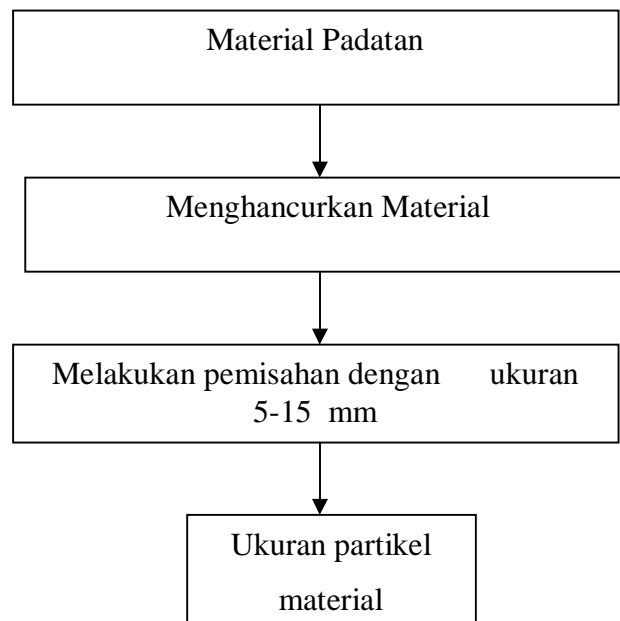


## BAB III

### RANCANGAN PERCOBAAN

#### 3.1 Langkah Percobaan

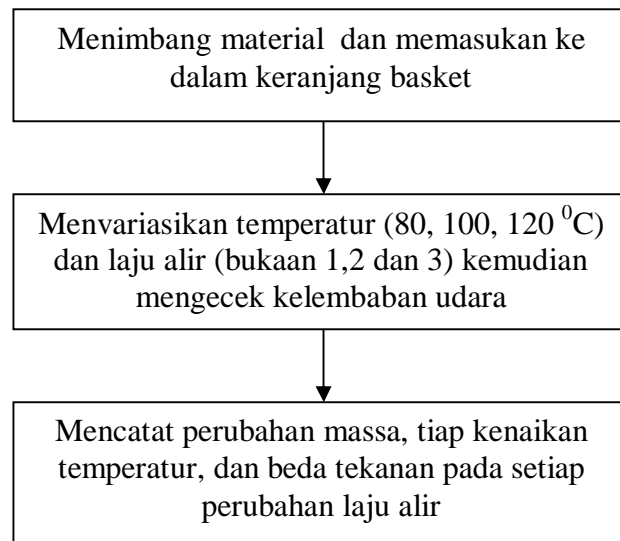
Percobaan pengeringan menggunakan gabah, sekam padi, cabai, atau pasir besi yang terdapat di wilayah Banten. Tahapan percobaan dimulai dari persiapan bahan baku dan percobaan pengeringan. Pada tahapan persiapan bahan baku seperti pada diagram alir Gambar 3.1 bahwa material dihancurkan untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil. Selanjutnya dilakukan pemisahan untuk mendapatkan 3 jenis ukuran melalui proses pengayakan. 3 Jenis ukuran itu akan menjadi bahan yang kan dikeringkan pada alat pengeringan pada percobaan utama.



Gambar 3.1 Diagram alir proses persiapan bahan baku

### 3.1.2 Tahap Proses Pengeringan dengan Variasi Temperatur dan Laju Alir

Pada tahap ini adalah proses pengeringan material (gabah, sekam padi, cabai atau pasir besi) dengan menggunakan alur pengeringan. Adapun cara pengambilan data adalah sebagai berikut:



Gambar 3..2 Diagram Alir Proses Persiapan dengan Variasi Temperatur dan Laju Alir

## 3.2 Prosedur Percobaan

### 3.2.1 Persiapan bahan baku batubara muda (Low Rank Coal)

Pada tahap persiapan bahan baku, material yang telah diambil, kemudian dihancurkan dan dipisahkan menjadi tiga variasi ukuran, 5, 10, dan 15 mm.

### 3.2.2 Proses Pengeringan Batubara

Material yang akan dikeringkan kemudian ditimbang dan dimasukkan ke dalam keranjang pada alat pengering. Dengan menvariasikan temperatur 80, 100, dan 120<sup>0</sup>C. dan laju alir bukaan 1, 2 dan 3. Dengan tahapan percobaan sebagai berikut

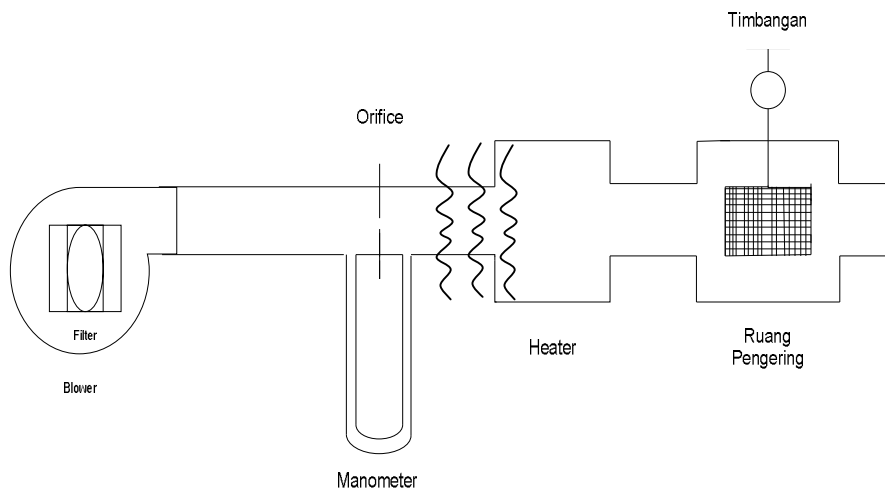
1. Timbang sebanyak 500 gram material yang telah dikecilkan ukurannya
2. Masukkan material tersebut kedalam kerancang

3. Pasang thermometer bola kering dan bola basa untuk titik sebelum masuk ruang pengeringan dan setelah area pengeringan untuk mengukur humidity dari udara
4. Pasang manometer air raksa
5. Pasang pulang balance untuk mengukur massa batubara
6. Nyalakan fan untuk mengalirkan udara
7. Nyalakan pemanas dimulai dari 1 heater hingga 5 menit kemudian dilanjutkan untuk heater selanjutnya hingga sesuai dengan kebutuhan temperature yang diharapkan
8. Catat data-data temperature operasi, ketinggian manometer, massa batubara yang telah mengalami proses pengeringan setiap 5 menit

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat - alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan Digital
2. Termometer
3. Alat Pengeringan
4. Manometer air raksa



Gambar 3.3 Alat Pengering Penelitian

#### 3.3.2 Bahan – bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Gabah
2. Sekam Padi
3. Cabai
4. Pasir Besi

### **3.4 Variabel Percobaan**

#### **3.4.1 Penetapan Variabel**

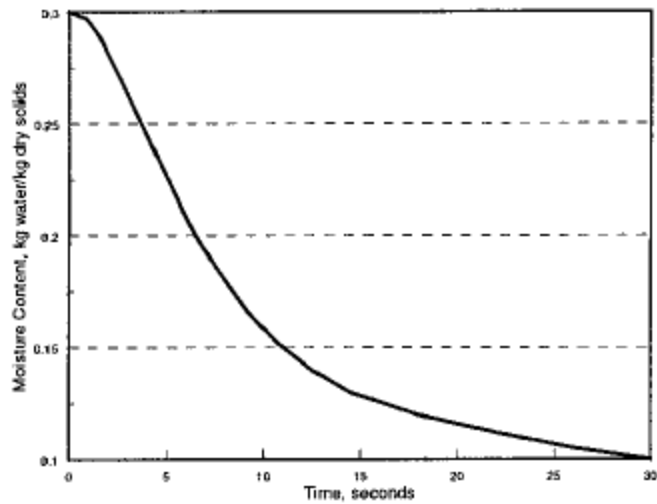
1. Variabel Tetap:
  - Jenis material
  - Kelembaban (humidity) udara
2. Variabel tidak tetap:
  - Laju alir udara dengan ketinggian manometer 5, 10 dan 15 cm
  - Temperatur udara (90, 120, 150°C)

### 3.5 Pengolahan Data

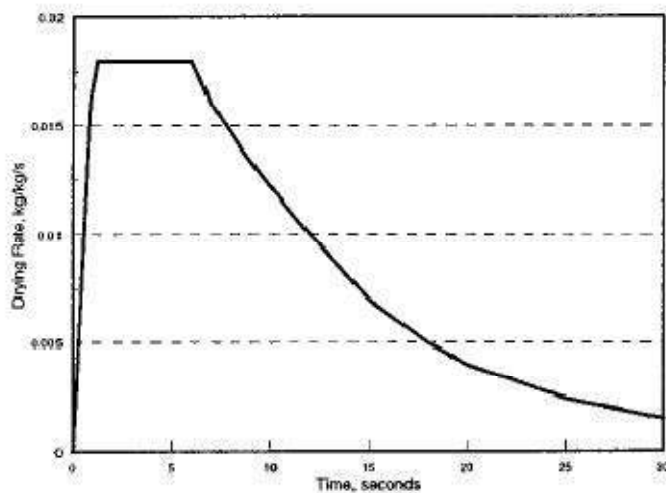
Hasil dari percobaan ditampilkan dalam grafik kinetic pengeringan, yaitu

- a. Grafik antara moisture content (X) terhadap waktu (detik)

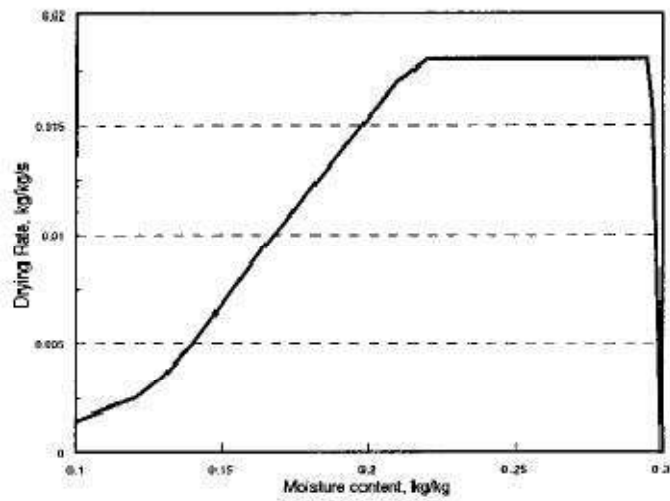
(a) Moisture content–time plot



- b. Grafik antara drying rate (N) terhadap waktu (detik)

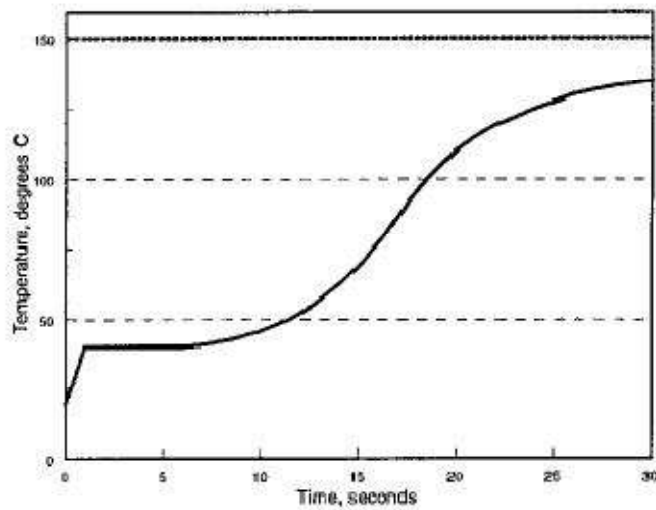


c. Grafik antara drying rate (N) terhadap moisture content (X)



d. Grafik antara temperatur terhadap waktu (detik)

(d) Temperature–time plot



#### DAFTAR PUSTAKA

1. C. Strumillo and T. Kudra," Drying: Principles, Application and Design", Gordon and Breach Science Publishers, Switzerland, 1986
2. I.C Kemp, et.all," Methods for Processing Experimental Drying Kinetics Data", Drying Technology Journal, 19(1), 15-34, 2001
3. A.S Mujumdar,"Handbook of Industrial Drying", Taylor and Francis Groups, 2006

**I. Pendahuluan**

Pada berbagai industri proses kimia, kolom jejal adalah salah satu sistem pemroses yang sangat luas penggunaannya. Sistem yang pada dasarnya berfungsi sebagai sarana pengontakan gas-cair ini dioperasikan untuk berbagai tujuan. Di antara tujuan-tujuan ini yakni absorpsi solut dari fasa gas. Desorpsi solut dari fasa cair (*stripping*), distilasi, reaksi. *Scrubbing* bahan partikulat pada sistem pengendalian pencemaran dan sebagainya.

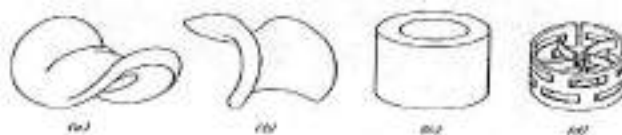
Berbagai tujuan di atas tentunya menuntut rancangan fisik kolom yang berbeda-beda. Modul percobaan Kontraktor Gas Cair ini berisikan sebuah kolom jejal (*packed column*) dari bahan gelas dengan *packing* jenis *raschig ring*. Melalui perangkat percobaan ini, diharapkan mula-mula pengguna dapat mempelajari karakteristik hidrodinamik sebuah kolom jejal. Pengetahuan mengenai karakteristik ini sangat diperlukan dalam analisis dan evaluasi kolom dalam penerapan selanjutnya, yakni sebagai sarana proses humidifikasi udara.

**II. Teori Penunjang****2.1 Bentuk Dasar suatu Kolom Jejal**

Suatu kolom jejal secara garis besar terdiri dari kolom yang dilengkapi dudukan unggun berbentuk pelat perforasi atau grid pada bagian bawah kolom. Pada dudukan ini diletakkan unggun jejalan (*packing*) yang berfungsi menyediakan antarmuka kontak gas cair yang memadai. Unggun jejalan dapat tersusun dari jejalan yang dijejalkan secara acak atau diletakkan menurut aturan tertentu.

Pada saat operasi, cairan masuk dari bagian puncak kolom sedangkan gas masuk melalui dasar kolom. Saluran masuk cairan umumnya dilengkapi dengan distributor yang berfungsi memberikan penyebaran cairan yang rata pada penampang kolom. Kontak gas cair berlangsung di dalam ruang-ruang lowong antar jejalan yang terdapat dalam unggun. Pada jalur alir cairan yang rendah. Sebagian besar permukaan jejalan tidak terbasahi oleh cairan. Seiring dengan bertambahnya lajur alir cairan, fraksi permukaan jejalan yang terbasahi akan meningkat pula. Pada suatu harga laju alir cairan kritis, seluruh permukaan jejalan terbasahi.

Dewasa ini tersedia berbagai macam desain jejalan komersial, tentunya dengan karakteristik yang berbeda-beda. Beberapa contoh bentuk yang sering digunakan ditampilkan pada gambar 1.



**Gambar 1 Beberapa jenis bentukan jalan <sup>[1]</sup>**



(a) Beri saddle (b) intalox ring (c) raschig ring (d) pall ring

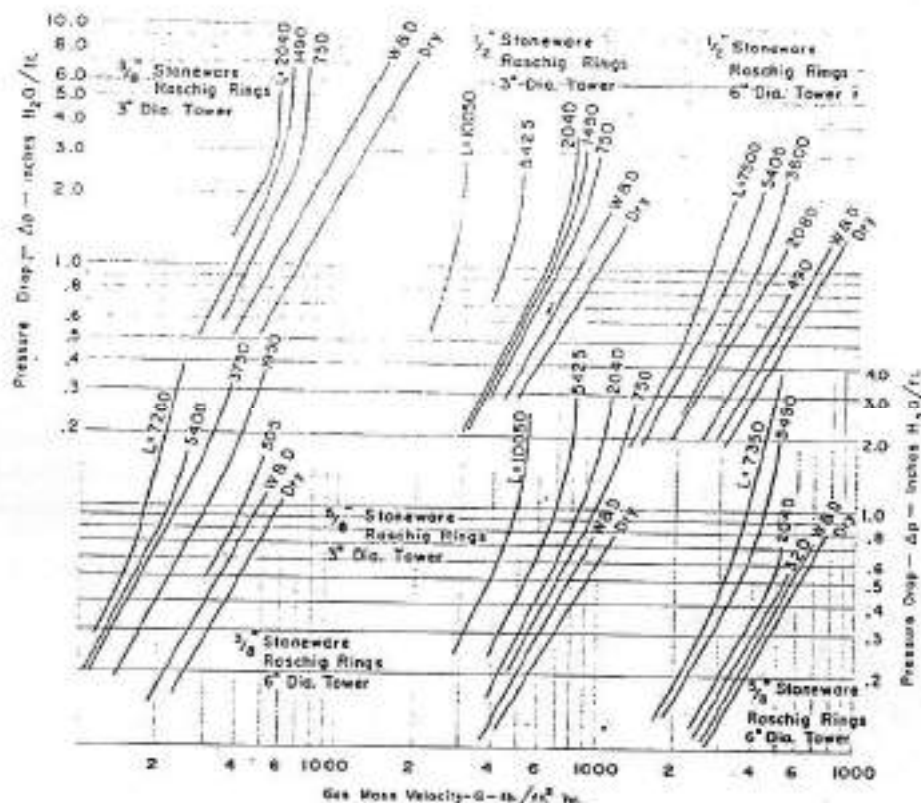
## 2.2 Karakteristik Hidrodinamik Kolom Jejal

Pengoperasian suatu kolom jejal secara terkendali memerlukan informasi tentang perilaku kolom tersebut. Termasuk ke dalam hal ini adalah karakteristik hidrodinamik yang dimiliki oleh kolom. Karakteristik hidrodinamik kolom jejal mencakup penurunan tekanan gas di sepanjang kolom dan *liquid hold-up* di dalam kolom selama pengoperasian.

### 2.2.1 Penurunan Tekanan Gas

Unggun jejalan yang terdapat di dalam kolom di samping tentunya dinding kolom itu sendiri, merupakan tahanan terhadap aliran fluida. Untuk mengalirkan fluida (baik cairan maupun gas) melalui unggun jejalan diperlukan penurunan tekanan (*pressure drop*) sebagai gaya pendorong. Besaran ini memegang peranan penting, terutama dalam masalah penentuan kebutuhan energi untuk memasok aliran gas ke kolom. Sebagai gambaran, untuk kolom yang berisikan jejalan acak (packing yang dituangkan secara acak ke dalam kolom), penurunan tekanan gas sepanjang unggun dapat mencapai harga 50-100 kali penurunan tekanan pada kolom kosong [2]

Penurunan tekanan gas di sepanjang kolom/unggun diperanguhi sejumlah faktor berikut : (1) fraksi lowong unggun jejalan, (2) laju massa gas, (3) bentuk dan ukuran efektif jejalan, (4) densitas gas, dan (5) laju alir cairan.



## Gambar 2 – Penurunan Tekanan Gas di Sepanjang Unggun Packing <sup>[1]</sup>

Salah satu bentuk penyajian karakteristik penurunan tekanan kolom adalah kurva log-log seperti Gambar 2 di atas. Kurva penurunan tekanan ini menunjukkan adanya rejim. Pada rejim pertama, yang terjadi pada laju massa gas. Seiring dengan meningkatnya laju massa gas, penurunan tekanan kolom memasuki rejim kedua yang ditandai oleh perubahan garis lurus menjadi dua lengkungan. Pada rejim ketiga terjadi peningkatan  $\Delta P$  secara drastic. Titik tempat perubahan perilaku kolom dari rejim pertama menjadi rejim kedua disebut *loading point*, sedangkan titik perubahan dari rejim kedua menjadi rejim ketiga disebut titik patahan atas (*upper break point*) atau *graphical flooding point*.

*Graphical loading point* ini biasanya berada pada harga laju massa gas yang berbeda dengan *visual flooding point*. Besaran yang disebutkan terakhir ini ditentukan secara visual, yakni dengan mengukur laju massa gas pada saat terjadi luapan cairan dari puncak unggun karena terdorong oleh aliran gas.

Gambar 2 memperlihatkan penurunan tekanan gas di sepanjang kolom dengan parameter jenis jejalan dan laju alir cairan yang dicurahkan ke dalam kolom. Grafik *dry* menunjukkan penurunan tekanan pada kolom jejal kering. Pada rejim aliran turbulen (berdasarkan bilangan Reynolds partikel), penurunan tekanan hampir sebanding dengan laju massa gas yang dipangkatkan 1,9 – 2,0. Jika ke dalam kolom kemudian dialirkan cairan, maka akan terjadi penurunan volume kolom yang tersedia untuk aliran gas. Ini menyebabkan kenaikan penurunan tekanan tekanan yang ditunjukkan oleh kurva-kurva pada berbagai harga L (laju alir cairan).

Hubungan penurunan tekanan gas dengan laju alir massa gas untuk unggun packing acak dapat dinyatakan dengan laju alir massa gas untuk unggun packing acak dapat dinyatakan dengan persamaan empiric yang memiliki bentuk umum berikut :

$$\Delta P = \alpha \cdot 10^{\beta L} \left( \frac{G^2}{\rho_G} \right) \quad \dots (1)$$

Dengan :

$\Delta P$  = penurunan tekanan sepanjang unggun, m H<sub>2</sub>O/m unggun

G = laju massa gas. Kg/s.m<sup>2</sup>

$\rho_G$  = densitas gas. Kg/m<sup>3</sup>

L = laju massa cairan. Kg/s.m<sup>2</sup>

$\alpha, \beta$  = parameter yang dipengaruhi ukuran, jenis packing dan fraksi lowong

### 2.2.2 Liquid Hold-Up

*Liquid Hold-Up* merupakan kuantitas cairan yang selama pengoperasian kolom tertahan pada ruang-ruang lowong di antara packing dan pada permukaan packing. Ini dinyatakan sebagai volume cairan yang tertahan tiap satuan volume unggun :

$$\beta = \frac{V_L}{V_B} \quad \dots (2)$$

Dengan :

$B$  = *liquid hold-up*

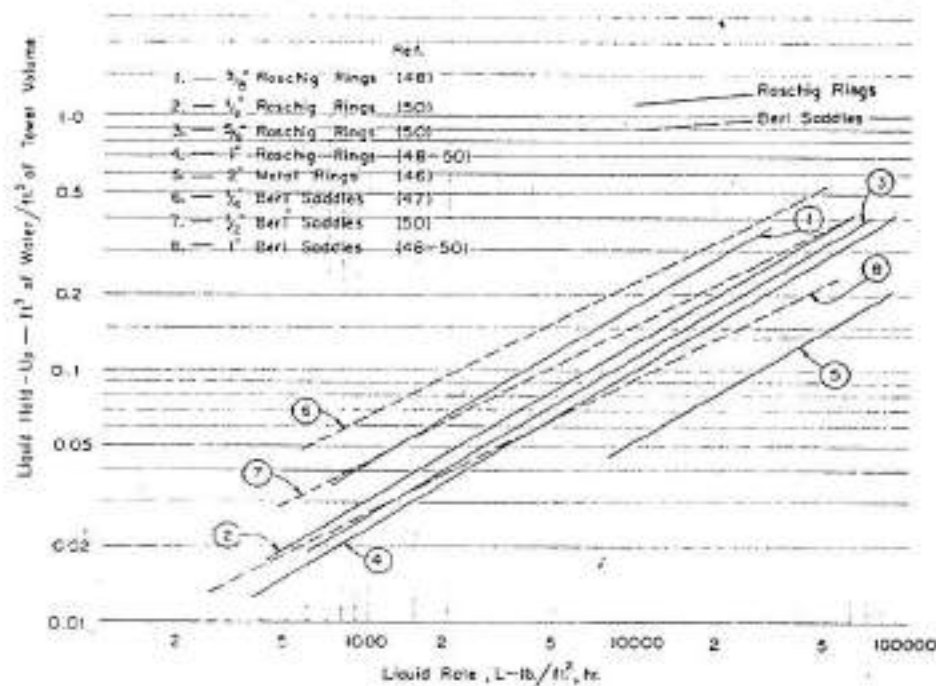
$V_L$  = volume cairan yang tertahan dalam unggun selama operasi

$V_B$  = volume unggun (volume jejalan + volume ruang lowong)

Berdasarkan definisi di atas, batas atas harga *liquid hold-up* adalah sama dengan harga fraksi lowong unggun yang pada prakteknya terjadi pada atau di sekitar *flooding point*.

Pada praktek industrial umumnya diupayakan agar harga *liquid hold-up* minimum. Ini disebabkan oleh beberapa alasan, yakni <sup>[1]</sup> :

1. *Hold-up* yang besar akan menambah berat kolom pada saat beroperasi
2. *Hold-up* yang besar akan memperpanjang waktu untuk drainase kolom
3. *Hold-up* yang besar akan meningkatkan penurunan tekanan kolom



**Gambar 3** Kurva Karakteristik *Liquid Hold-Up* untuk Sistem Air-Udara <sup>[1]</sup>

Karakteristik *liquid hold-up* ini dapat dinyatakan dengan kurva seperti Gambar 3. Pendekatan yang agak kasar bagi kurva di atas adalah persamaan yang diperumumkan sebagai berikut :

$$h_w = 0,0004 \left( \frac{L}{D_p} \right)^{0,6} \quad \dots (3)$$

Dengan :

$H_w$  = *liquid hold-up*, m<sup>3</sup> cairan/m<sup>3</sup> unggun

$L$  = laju massa cairan, kg/s.m<sup>2</sup>

$D_p$  = diameter ekivalen packing, m

Untuk cairan selain air, korelasi yang diusulkan oleh Jesser dan Elgin untuk mengakomodasi perbedaan sifat fisik adalah :

$$h_{liquid} = h_{w,\mu}^{0,1} \left( \frac{62,8}{\rho_L} \right)^{0,78} \left( \frac{\mu}{\sigma} \right)^n \quad \dots (4)$$

Dengan :

$h_{liq}$  = *liquid hold-up* yang akan diperkirakan

$h_w$  = *hold-up* untuk air yang teramati

$\mu$  = viskositas cairan yang ditinjau, cp

$\rho_L$  = densitas cairan yang ditinjau, lb/ft<sup>3</sup>

$\sigma$  = tegangan permukaan cairan yang ditinjau, dn/cm

### 2.3 Operasi Humidifikasi

Humidifikasi udara merupakan salah satu operasi yang dapat diselenggarakan dengan menggunakan kolom jejal. Operasi ini pada dasarnya bertujuan meningkatkan kadar air udara melalui kontak langsung dengan aliran air. Pada kolom jejal tujuan ini dicapai dengan cara memasok udara kurang lembab (misalnya udara luar) melalui dasar kolom dan air melalui bagian puncak kolom. Kedua aliran ini selanjutnya akan mengalami kontak di dalam unggun jejalan sebelum keluar dari kolom. Kelembaban udara umpan yang lebih rendah daripada kelembaban jenuh menjadi gaya pendorong yang memungkinkan perpindahan meolekul-molekul air dari fasa air ke fasa udara.

Pengukuran kelembaban udara secara sederhana dapat dilakukan dengan thermometer bola kering dan bola basah (*dry bulb* dan *wet bulb thermometer*). Termometer bola basah pada dasarnya adalah termometer yang mengukur temperatur badan air yang menguap dalam kontak dengan udara pada temperatur bola kering. Temperatur ini berkaitan dengan kesetimbangan dinamik penyerapan

panas dari udara oleh badan air dan penguapan molekul-molekul air dari badan air. Berdasarkan neraca massa dan energi dari proses penguapan ini, dapat ditentukan kadar air di dalam udara.

Untuk mempermudah penentuan besar-besaran yang mewakili kadar air udara, lazim digunakan peta psikrometrik (lihat lampiran C). Masukan data yang diperlukan untuk pembacaan peta ini adalah temperatur bola kering dan bola basah. Besar-besaran yang dapat dibaca pada peta psikrometrik mencakup.

1. Kelembaban mutlak (*absolute humidity*), yakni massa uap air yang dikandung oleh satu satuan massa gas kering :

$$H = \frac{M_{APA}}{M_B(1-p_A)} \quad \dots (5)$$

2. Kelembaban raltif (*relative humidity*), yakni nisbah tekanan parsial uap air terhadap tekanan uap air pada temperatur gas dinyatakan dalam basis presentase :

$$H_R = 100 \frac{p_A}{P_A} \quad \dots (6)$$

3. Kelembaban persentase, yakni nisbah kelembaban mutlak terhadap kelembaban jenuh :

$$H_A = 100 \frac{p_A/(1-p_A)}{P_A/(1-P_A)} \quad \dots (7)$$

4. Panas lembab, yakni kuantitas energi yang diperlukan untuk meningkatkan temperatur 1 lb atau 1g gas (dan uap air yang mungkin terkandung) sebesar 1°C atau 1°F :

$$C_s = C_{pB} + C_{pA}H \quad \dots (8)$$

Dengan :

$p_A$  = tekanan parsial uap air

$P_A$  = tekanan uap air

$C_{pA}$  = panas jenis gas

$C_{pB}$  = panas jenis uap air

Dengan demikian, lewat pengukuran temperatur bola kering dan bola basah aliran udara umpan dan keluaran kolom, peningkatkan kelembaban udara setelah terjadi kontak di dalam kolom jejal dapat dihitung dan sekaligus mencerminkan kinerja operasi humidifikasi. Pada kajian yang

lebih lengkap dapat dipelajari pengaruh variable-variabel operasi terhadap besarnya kenaikan kelembaban udara ini.

### III. Penugasan

Percobaan terutama ditujukan kepada upaya memahami hidrodinamika kolom jejal. Penugasan yang dapat diberikan antara lain :

1. Menentukan karakteristik penurunan tekanan gas kolom
2. Menentukan karakteristik *liquid hold-up* kolom
3. Menentukan kinerja operasi humidifikasi udara.

### IV. Studi Kasus

Berikut ini adalah gambaran singkat mengenai penugasan-penugasan yang disebutkan di atas. Diharapkan dari gambaran ini dapat disusun strategi percobaan yang tepat.

#### 4.1 Menentukan Karakteristik Penurunan Tekanan Gas Kolom

Data mentah yang diperlukan adalah pembacaan manometer pengukur laju alir cairan dan gas serta pembacaan manometer pengukur penurunan tekanan unggun. Rentang data didapatkan dengan memvariasikan laju laju alir gas dan / atau laju alir cairan.

Dengan memanfaatkan kurva kalibrasi yang sesuai dan data dimensi kolom, pembacaan manometer penunjuk laju alir gas dan manometer penunjuk laju alir cairan dapat dikonversikan menjadi data laju alir massa (superficial) gas dan cairan. Parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  pada persamaan (1) dapat ditentukan dengan regresi linier terhadap bentuk logaritmik dari persamaan tersebut.

#### 4.2 Menentukan Karakteristik Liquid Hold-Up Kolom

Data mentah yang diperlukan adalah pembacaan manometer pengukur laju alir cairan dan volume cairan yang tertahan selama pengoperasian kolom. Data pembacaan manometer dikonversikan menjadi data laju alir massa cairan (L), sedangkan data volume cairan yang tertahan diubah menjadi besaran *liquid hold-up* ( $h_w$ ) dengan mengetahui volume unggun.

Dengan mengetahui diameter ekivalen partikel jejalan ( $d_p$ ), dapat disusun korelasi yang serupa dengan Persamaan (3). Parameter untuk korelasi ini didapatkan dengan mengubah persamaan ke dalam bentuk logaritmik dan memplot  $\log(h_w)$  terhadap  $\log(L/d_p)$ .

#### 4.3 Menentukan Kinerja Operasi Humidifikasi Udara

Operasi humidifikasi diselenggarakan dengan mengalirkan air dan udara secara berlawanan arah di dalam kolom dan mengukur temperatur bola kering dan bola basah aliran udara umpan dan keluaran kolom. Dengan memanfaatkan peta psikometrik mahasiswa dapat menghitung besaran-besaran kelembaban udara yang diperlukan. Mahasiswa kemudian dapat memvariasikan sejumlah variable seperti laju alir udara, laju alir cairan serta tinggi unggun (ini tentunya melibatkan pekerjaan bongkar pasang kolom) dan mempelajari pengaruhnya terhadap besarnya kenaikan kelambatan udara.

#### **Daftar Pustaka**

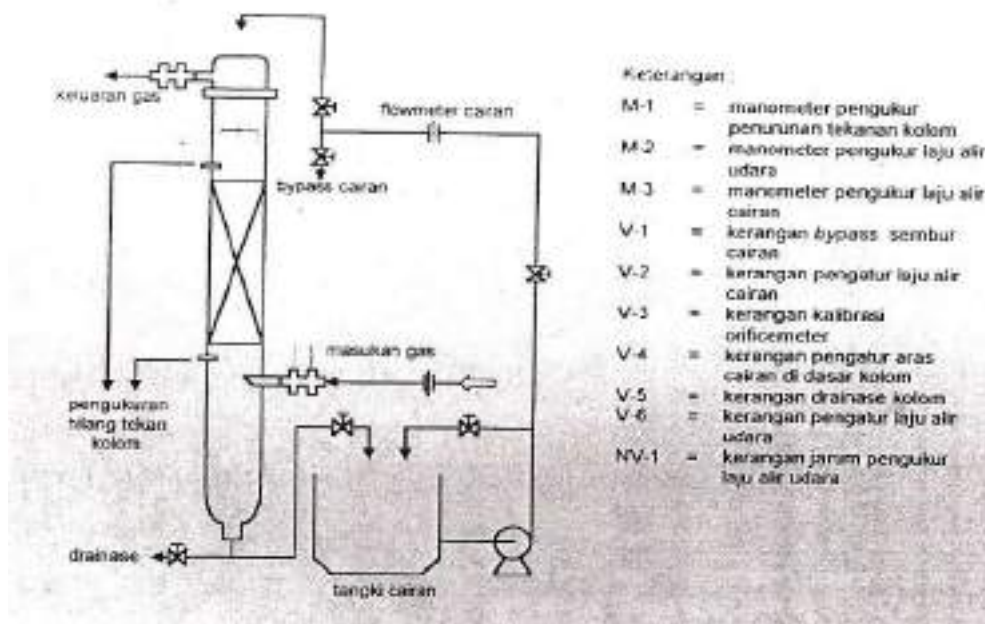
1. Leva, M., *Tower Packings and Packed Tower Design*, Butterworths, 1953
2. McCabe, W.L, J.C Smith dan P. Harriot, *Unit Operations of Chemical Engineering*, 4th ed. McGraw-Hill, New York, 1985
3. Strigle, R.F., Jr., *Random Packings and Packed Towers : Design and Applications*, Gulf Publishing Company, Houston, 1987.

### A.1 Deskripsi Perangkat Percobaan

Perangkat percobaan Kontaktor Gas Cair ini diarahkan untuk pelaksanaan percobaan yang melibatkan kontak udara-air tanpa efek panas yang berarti (tidak disediakan sarana untuk memasok / membuang panas sistem gas-cair). Beberapa contoh percobaan yang dapat dilakukan dengan perangkat ini adalah : (1) pengamatan sejumlah karakteristik hidrodinamika kolom, baik dalam keadaan kering maupun dialiri cairan, dan (2) operasi humidifikasi udara.

Sejumlah teori mengenai karakteristik hidrodinamik kolom jejal telah dijelaskan sebelumnya. Operasi humidifikasi udara, yakni operasi peningkatan kelembaban udara melalui kontak udara-air, dimungkinkan dengan disediakannya kedudukan termometer bola kering dan bola basah pada saluran masukan dan keluaran gas dari kolom.

Rangkaian perangkat percobaan Kontaktor gas Cair digambarkan secara skematik pada Gambar A1. Peralatan utama yang ada dalam perangkat ini adalah sebuah kolom kontaktor gas-cair yang berisikan unggun tunggal jejal, sebuah tangki penampung cairan, sebuah kompresor untuk memasok udara, dan sebuah pompa cairan. Kolom dilengkapi dengan distributor cairan, saluran masukan dan keluaran gas dan cairan, serta *pressure tap* untuk mengukur penurunan tekanan di sepanjang unggun. Laju alir cairan diukur dengan sebuah orificemeter, sedangkan laju alir gas diukur dengan sebuah kerangan jarum. Sebagai aliran gas digunakan udara yang dipasok oleh sebuah kompresor. Untuk cairan digunakan air atau larutan encer yang memiliki sifat-sifat transport mirip dengan air.





## Gambar A1 Skema Perangkat Kontaktor Gas Cair

### A.2 Spesifikasi Perangkat Percobaan

Perangkat Peralatan Utama yang disediakan

1. Nama : kolom kontaktor gas-cair  
Tipe : kolom unggun packing tunggal  
Bahan : gelas  
Ukuran : dia. luar 10 cm, dia dalam 9,4 cm, panjang 110 cm  
Tipe jejalan : raschig rings  
Bahan jejalan : gelas, 9 mm OD  
Ukuran jejalan : OD x L = 9 x 9 mm  
Jumlah : 1 buah
2. Nama : kompresor  
Tipe : positive displacement, tipe piston  
Merk/model : SUPERSHAPE  
Output : ½ HP  
Output motor : ¾ HP/1 phase  
RPM : 700  
Discharge press : 10 kg/cm<sup>2</sup>  
Jumlah : 1 buah
3. Nama : pompa cairan  
Tipe : handy pump  
Merk/model : Goldstar model PS-065BT  
Output : 30 W  
Masukan arus : 110/220 V 50 Hz  
Suction lift : 1,5 m  
Total head : 3,5 m  
Kapasitas : 20 l/min (pada total head 1,5 m)  
Jumlah : 1 buah
4. Nama : Tangki penampung cairan  
Bahan : plexiglass 10 mm

Ukuran : 40 cm x 40 cm x 45 cm

Peralatan Pembantu yang Disediakan

1. Nama : termometer
- Tipe : alkohol, 0-100 °C
- Jumlah : 4 buah

Peralatan Pembantu yang Tidak Disediakan :

1. Wet-test Meter
2. Gelas ukur
3. Stopwatch

### B.1 Kalibrasi Alat Ukur Laju Alir

Alat pengukur laju yang digunakan pada perangkat ini adalah orificemeter untuk cairan dan kerangan jarum untuk gas. Berikut ini adalah prosedur untuk mengkalibrasi alat-alat ukur tersebut :

#### B.1.1 Kalibrasi Orificemeter

1. Pastikan semua kerangan pada jalur cairan dalam keadaan tertutup. Isi tangki cairan dengan air / larutan secukupnya (kira-kira  $\frac{2}{3}$  volume tangki). Buka penuh kerangan bypass sembur cairan V-1, hidupkan pompa cairan.
2. Perlahan-lahan buka kerangan pengatur laju alir cairan V-2 hingga manometer cairan M-2 menunjukkan pembacaan. Biarkan sistem beroperasi hingga mencapai keadaan tunak (pembacaan manometer tidak naik-turun). Catat pembacaan manometer. Sementara itu, siapkan sebuah wadah penampung cairan dan stopwatch.
3. Setelah sistem tunak, buka kerangan kalibrasi V-3 Tunggu sejenak sampai sistem tunak kembali, kemudian tampung sejumlah cairan yang keluar dengan mencatat waktu yang diperlukan untuk penampungan tersebut.
4. Tutup kembali kerangan V-3, kemudian ubah kedudukan kerangan V-2 sehingga penunjukan manometer M-2 berubah. Tunggu sampai sistem tunak, catat penunjukan manometer.
5. Ulangi dari langkah nomor 3, sampai didapatkan jumlah data pembacaan manometer, volume cairan tertampung dan waktu penampungan yang cukup untuk membuat kurva / korelasi kalibrasi. Jika diinginkan rentang laju alir yang lebih lebar, coba manipulasikan kedudukan kerangan bypass V-1.

#### B.1.2 Kalibrasi Kerangan Jarum

1. Lepaskan selang masukan udara ke kolom, sambungkan dengan wet-test meter. Atur kedudukan kerangan jarum NV-1 pada bukaan secukupnya.
2. Hidupkan kompresor. Atur laju alir udara dengan kerangan V-6 sehingga didapatkan pembacaan pada manometer gas M-3.
3. Tunggu sampai aliran udara tunak (pembacaan manometer tidak naik-turun), catat pembacaan manometer. Pada saat bersamaan catat waktu yang diperlukan untuk mengalirkan volume gas tertentu dengan wet-test meter dan stopwatch.
4. Ubah laju alir gas dengan memanipulasi bukaan V-6. Lakukan kembali langkah sebelumnya sampai didapat jumlah data yang cukup untuk membuat kurva kalibrasi. Perlu diingat bahwa kerangan jarum NV-1 di sini tidak digunakan untuk mengatur laju alir gas, melainkan berperan

sebagai sebuah orificemeter yang fleksibel. Pengubahan bukaan kerangan jarum ini tentu menuntut kalibrasi ulang terhadap penunjukan yang diberikannya.

## **B.2 Penentuan Karakteristik Hidrodinamik Kolom**

### **B.2.1 Penurunan Tekanan di Sepanjang Unggun Kering**

1. Pastikan seluruh sistem berada dalam keadaan bersih dan terhubung dengan sumber arus listrik yang sesuai.
2. Pastikan pula ungun packing berada dalam keadaan kering (pengeringan ini dapat dibantu dengan cara menghidupkan kompresor untuk menghembuskan udara melalui ungun).
3. Untuk menentukan karakteristik kolom kering, mula-mula pastikan seluruh kerangan pada jalur cairan tertutup. Selanjutnya buka kerangan laju udara V-6 secukupnya.
4. Nyalakan blower, atur laju alir udara dengan kerangan V-6. Setelah sistem mencapai keadaan tunak catat pembacaan laju alir udara dengan manometer M-3 dan penurunan tekanan kolom dengan M-1.
5. Variasikan kondisi operasi dapat dilakukan dengan memanipulasi laju alir gas, cairan, atau keduanya. Hal yang perlu diingat adalah bahwa sistem memerlukan waktu untuk mencapai keadaan tunak, sehingga pengubahan laju alir hendaknya tidak dilakukan terlalu cepat.

### **B.2.2 Penurunan Tekanan untuk Sistem Gas-Cair**

1. Hidupkan pompa cairan, atur laju alir cairan dengan kerangan V-2. Atur laju pengeluaran cairan dari dasar kolom dengan V-4 agar aras cairan di dasar kolom cukup untuk berfungsi sebagai sekat air (*water-seal*), namun tidak mengganggu aliran gas.
2. Setelah sistem tunak (arus cairan di dasar kolom tetap), catat pembacaan laju alir gas, laju alir cairan, serta penurunan tekanan kolom.
3. Variasi kondisi operasi dapat dilakukan dengan memanipulasi laju alir gas, cairan, atau keduanya. Hal yang perlu diingat adalah bahwa sistem memerlukan waktu untuk mencapai keadaan tunak, sehingga pengubahan laju alir hendaknya tidak dilakukan terlalu cepat.

### **B.2.3 Liquid Hold-Up**

1. Pastikan dasar kolom tidak berisi cairan dan semua kerangan pada jalur gas tertutup. Pastikan juga kerangan daur ulang cairan, V-4, dalam keadaan tertutup. Siapkan wadah penampung cairan yang berbentuk dangkal dan lebar, serta gelas ukur 5 liter.
2. Hidupkan pompa cairan, atur alirnya sehingga tidak terlalu besar. Secara bersamaan alihkan aliran cairan dari kolom dengan menutup V-2 dan membuka V-1 jika cairan di dasar kolom telah mencapai aras yang diinginkan. Ingat bahwa prosedur ini memerlukan keterampilan

untuk menentukan saat pengalihan aliran, karena setelah aliran ke kolom dialihkan masih akan ada aliran sisa cairan dari perpipaan dan kolom. Aras cairan yang dimaksud juga melibatkan sisa cairan ini. Selanjutnya matikan pompa.

3. Keluarkan cairan dari dasar kolom dengan membuka kerangan drainase V-6. Tampung cairan, ukur volumenya. Ini adalah volume cairan dalam *water-seal* yang harus diketahui dalam perhitungan *liquid hold-up*.
4. Hidupkan kembali pompa, atur laju alir cairan. Buka kerangan-kerangan pada jalur gas dan jalankan blower. Atur laju alir gas.
5. Atur aras cairan dalam *water-seal* sehingga sama dengan pada langkah pengukuran volume sebelumnya. Setelah sistem mencapai keadaan tunak, catat pembacaan laju alir gas dan cairan.
6. Secara bersamaan, matikan blower dan lakukan langkah nomor 2 dan 3. Catat volume cairan yang tertampung. Hasil pengurangan volume ini dengan volume *water-seal* memberikan harga *liquid hold-up* pada kondisi operasi yang bersangkutan.
7. Lakukan rangkaian prosedur di atas untuk kondisi-kondisi operasi yang lain.

### **B.3 Arahan untuk Percobaan Proses Humidifikasi**

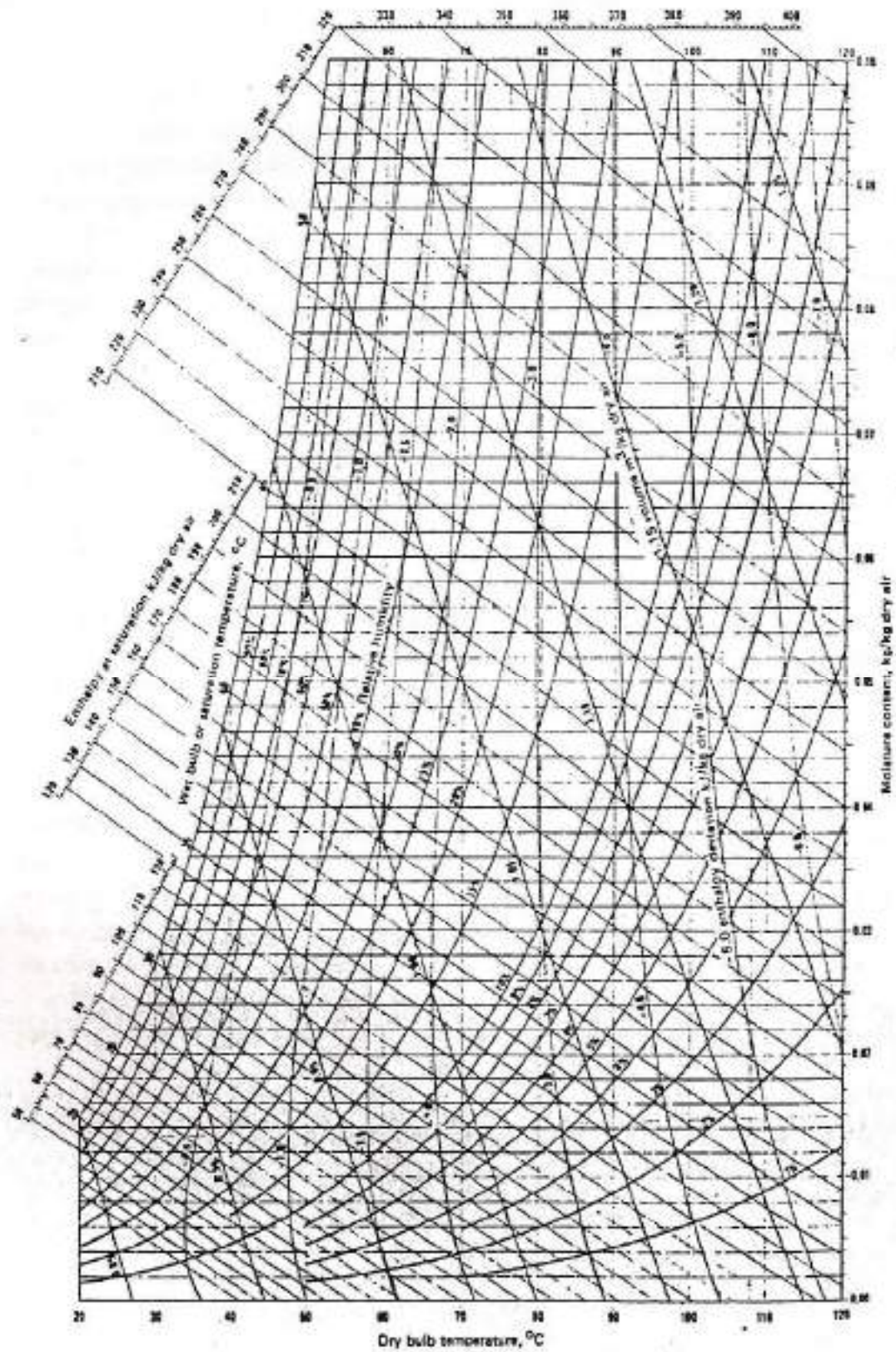
Prosedur tambahan yang perlu dilakukan untuk percobaan ini hanya melibatkan pemasangan termometer bola kering dan bola basah padaudukan yang telah tersedia pada saluran masukan dan keluran gas. Termometer bola basah didapat dengan mengisi dasar dudukan termometer tersebut dengan air. Percobaan humidifikasi ini dengan sendirinya menuntuk pengetahuan praktikan mengenai konsep-konsep dan perhitungan psikometri.

### **B.4 Pemeliharaan Alat**

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan perangkat percobaan kolom jejal ini adalah :

1. Hindari terbentuknya lumut pada sistem perpipaan maupun kolom dengan cara membersihkan alat secara berkala. Di akhir percobaan, keringkan kolom dengan menghembuskan udara.
2. Kosongkan tangki cairan setiap kali peralatan selesai dipergunakan.
3. Pastikan selalu bahwa kompresor dan pompa terhubung dengan sumber arus listrik yang sesuai dengan spersifikasi peraltan utama.

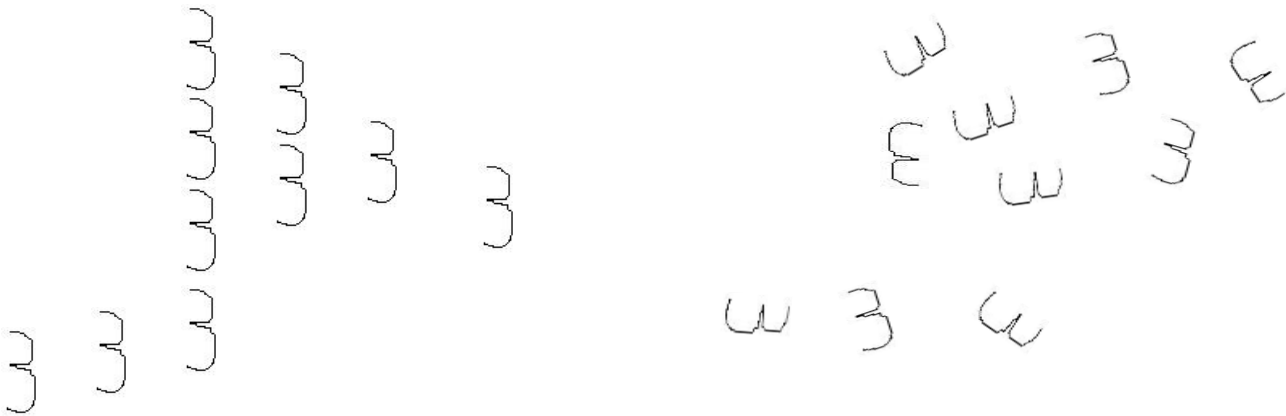
## Lampiran C : Kurva Psikometrik



**Tujuan :** Dua sistem aliran yaitu cairan dan padatan akan diuji dan didiagnosa pada percobaan *non-ideal flow* dengan menggunakan *stimulus-response* dan kemudian model aliran dievaluasi dan didiskusikan secara mendalam

### **PENDAHULUAN**

Ada dua macam pola aliran, yaitu : *ideal plug flow* dan *ideal mixed flow*. Biasanya, salah satu atau yang lain selalu paling bagus. Pemilihan salah satunya tergantung pada tujuan. Seperti gambar 1. Migrasi burung-burung pada penerbangan jauh, *plug flow* selalu paling bagus. Untuk mempertahankan mereka dari serangan musuh, *mixed flow* selalu paling.



**Gambar 1 Contoh *plug flow* dan *mixed flow***

Di dalam Teknik proses pencampuran, *blending*, dan dalam reaksi kimia bolak-balik *mixed flow* selalu paling bagus. Pada perpindahan panas, perpindahan massa, dan reaksi kimia order positif, *plug flow* selalu paling bagus. (Catatan : hal yang khusus pada reaksi autokatalitik dan autotermal. Seperti fermentasi bakteri dan pembakaran, juga pada aliran *recycle*)

Mengingat kembali bahwa daya pendorong pada *plug flow* adalah paling besar dan pada *mixed flow* paling kecil. Pernyataan di atas dapat dimengerti dengan menulis persamaan fundamental untuk laju alir berikut :

$$\text{(RATE)} = \text{(CONDUCTIVITY)} \text{(DRIVING FORCE)}^n \quad \dots (1)$$

Konsep penting yang lain mengenai Teknik dan Ekonomi dalam Teknik Kimia adalah konversi. Konversi dari bahan kimia ke dalam produk, dapat berupa cairan atau zat padat seperti dalam reaktor kimia, konversi aliran panas ke dalam aliran dingin seperti dalam alat penukar panas, konversi cairan ke dalam uap seperti menara distilasi dst. Dalam masing-masing hal konversi sebagai fungsi dari *holding time* dan *residence time*. Seperti pada pemasakan makanan prinsipnya adalah sama sebagai *waktu pemasakan*. Jadi ringkasnya dapat dilihat pada persamaan (2)

$$(\text{konversi}) \propto (\text{residence time atau cooking time}) \quad \dots (2)$$

Jadi perbandingan langsung pada pemasakan ayam di dalam oven adalah konversi dari bahan baku menjadi masakan matang yang berlangsung selama 1 jam. Apabila diambil dari oven selama setengah jam maka akan didapat masakan setengah matang dan tidak dapat dimakan. Hal yang sama, apabila konversi dari oksida besi dari pellet untuk menjadi logam besi dalam reaktor HyL berlangsung 4 jam, kemudian diambil dari reaktor selama 3 jam mereka akan mendapatkan konversi  $\frac{3}{4}$  dan tidak dapat diterima. Dalam istilah teknik, metalitasnya (konversinya) hanya 75 % dan apabila material ini digunakan dalam Tungku Listrik untuk membuat baja, maka harga baja akan menjadi lebih mahal karena memerlukan Energi (dalam Kwh/ton), waktu peleburan, dan kebutuhan refraktori yang berlebihan.

Dalam *plug flow* yang ideal seluruh elemen aliran arus berada dalam reaktor dengan waktu dan panjang yang sama, jadi masing-masing akan mempunyai konversi yang sama. Dalam *mixed flow* yang ideal elemen-elemen arus aliran tinggal dalam reaktor/vessel dengan berbeda panjang dan waktu, jadi masing-masing mempunyai konversi yang berbeda. Itulah sebabnya reaktor *mixed flow* tidak biasa digunakan pada materi yang dikonversi dengan reaksi kimia yang mempunyai order positif.

Di Perguruan Tinggi, perancangan reaktor, alat pertukaran panas, dan semua alat kontak fase pada umumnya dipelajari berdasarkan anggapan bahwa alirannya *ideal plug flow*. Bagaimanapun, aliran materi pada reaktor di Industri tidak pernah ideal. Paling bagus dapat dicapai dengan menggunakan pendekatan dengan menggunakan reaktor *packed bed* ideal. Kadang tidak dapat dielakkan adanya dispersi, *flow mal-distribution* seperti *channelling* dan *by-passing*, kadang juga terjadi *size segregation* dalam *packing* dalam *bed*. Dalam industry reactor, alat penukar panas, dsb, aliran selalu *non ideal*. Berapa banyak non-ideal adalah sangat penting untuk mengetahui pertimbangan ekonomi dan Teknik, dan dapat dilihat dengan jelas dari persamaan (3).



$$(\text{effisiensi Reaktor, \%}) = 100 - (\text{Flow dispersion dan mal-distribution})$$

Dengan jelas persamaan (3) menunjukkan bahwa efisiensi reaktor dalam Industri, alat penukar panas dsb, selalu kurang dari ideal (<100 %). Ini juga jelas dari persamaan (3), bahwa apabila kami dapat memakai keadaan kedua sekecil yang masih memungkinkan, maka kami masih dapat mencapai efisiensi yang sangat tinggi. Apa yang harus kita kerjakan untuk memperoleh kondisi tersebut ?

Apabila kami merancang reaktor baru, alat penukar panas, dsb. Sehingga dispersi aliran dan *mal-distribution* minimum. Apabila akan memperbaiki reaktor, alat penukar panas yang ada dsb. Maka langkah pertama dilakukan adalah mendiagnosa reaktor, dan alat penukar panas dsb. Kemudian dapat menemukan apa kesalahan dari aliran dan kemudian dengan perhitungan didapatkan model aliran dari reaktor, alat penukar panas dsb. Untuk mengetahui jumlah yang akan diperluas. Kemudian kami dapat member rekomendasi dan pilihan yang dapat dilakukan untuk mengkoreksi aliran.

Di dalam percobaan ini, kami menggunakan Teknik *stimulus-response* untuk memperoleh informasi yang digunakan untuk diagnosis dan perhitungan. Kami selalu mencoba untuk mengerjakan dengan cara sederhana yang masih memungkinkan dan masih didapat hasil yang benar. Cara yang paling sederhana ditunjukkan oleh jejak pulsa yang masuk dan mengukur output pada pengeluaran. Jejak dapat dibuat dari tinta, asam, basa, dan zat organik untuk cairan. Asap, uap, dan debu dengan ukuran beberapa mikron untuk gas dan partikel magnetik atau partikel-partikel berbeda ukuran untuk aliran butiran padat. Untuk ketiga-tiganya, substansi radioaktif dapat digunakan apabila melibatkan temperatur sangat tinggi.

Tujuan dari percobaan dengan menggunakan teknik *stimulus-response* untuk membuat diagnosa aliran dalam sistem aliran cairan dan padatan, dengan pengukuran dan perhitungan yang cocok, kita akan diperoleh model-model aliran, kemudian secara kuantitatif hasilnya dianalisa dan didiskusikan secara mendalam.

## THEORY

Hal ini diberikan dalam bab 9 “*Chemical Reaction Engineering*” Vol 2, Oleh O. Levenspiel dan dilampirkan catatan dari “*The Chemical Reactor Omnibook*” juga oleh O. Levenspiel.

Satu poin untuk dicatat adalah satu parameter penting dari *non-ideal flow* yaitu rata-rata dari *residence time*. Ini juga sangat sederhana, dengan definisi :

$$\bar{t} = \frac{V}{v} = \frac{L}{u} = \frac{W}{w} \dots\dots\dots (4)$$

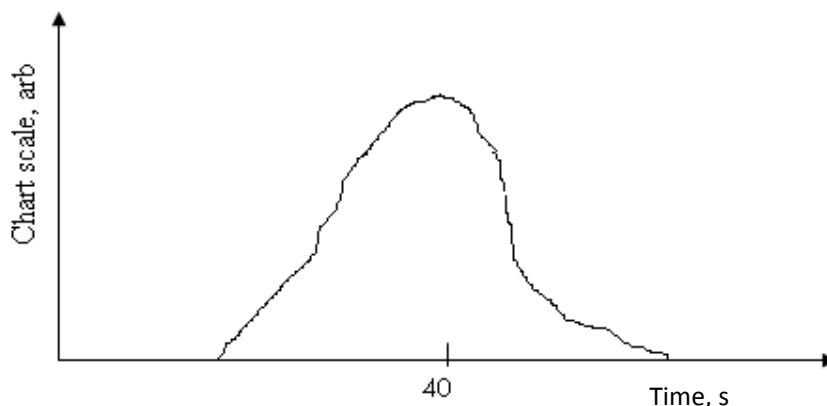
Dimana : V = volume bejana, v = laju alir volum, L = panjang/jarak, W = massa bejana, w = laju alir massa.

Poin yang lain untuk dicatat adalah satu model parameter tunggal dan beberapa model parameter jamak. Dua model parameter tunggal adalah **Model Dispersi** yang mana model *plug flow* dengan elemen-elemen jatuh tidak teratur dan tergelincir kembali dan **Tank-in-Series Model**, dengan aliran yang terjadi pada tangki-tangki yang sejajar. Parameter tunggal dari model-model tersebut adalah angka dispersi dari bejana, D/uL, dan jumlah tangki berturut-turut, N. Yang paling penting dari dua model adalah sama dan yang terakhir tergantung pada pilihan pribadi, tetapi Model Dispersi lebih teliti dan cocok untuk keadaan yang alami dan lebih mudah dimengerti.

Model parameter jamak, bejana terdiri dari volume yang berbeda, seperti volume *ideal-plug flow*, volume *ideal mixed flow*, volume *dead*, volume resirkulasi dsb.

### Contoh

Reaktor kimia dengan volume 1 m<sup>3</sup> dirancang untuk mengkonversi umpan A berupa cairan, mengalir dengan laju alir 1 m<sup>3</sup>/min untuk menghasilkan produk dengan konversi X<sub>A</sub> 99 %, dalam praktek sesungguhnya rancangan alat ini tidak dapat diterima. Malahan, apabila rancangan X<sub>A</sub> yang dapat diterima, laju alir harus dikurangi menjadi 0,6 m<sup>2</sup>/min dan apabila laju alir ini diterima, X<sub>A</sub> harus berkurang menjadi 62 %. Dengan percobaan menggunakan pulsa respon yang diberikan ditunjukkan pada gambar 2. Analisa respon secara penuh.



**Gambar 2 Respon dari input jejak pulsa pada reaktor contoh**

## 1. Diagnosa

Dari gambar 2 jelas bahwa 1) dispersi *plug flow*, dan 2) sinyal yang diterima awal.

- 1) Bahwa aliran adalah dispersi dari *plug flow* yang ditunjukkan dengan sinyal yang nampak beberapa lama setelah pulsa ditunjukkan dan kurva kurang lebih simetris, dengan satu puncak.
- 2) Bahwa sinyal yang datang awal ditunjukkan dengan nyata bahwa waktu tinggal rata-rata pada 45 adalah lebih rendah dan dihitung waktu tinggal rata-rata dari persamaan (3) pada 1 menit.

## 2. Model aliran

Dari diagnosa di atas jelas bahwa hanya model yang cocok hasilnya dengan gambar 2, yaitu model yang terdiri dari volume dispersi dari *plug flow* dan volume *dead*. Proporsi masing-masing volume diperoleh dari rata-rata waktu dalam gambar 2 dan hubungan ini diberikan dalam persamaan (5) :

$$V_{\text{total}} = V_{\text{active}} + V_{\text{dead}} \quad \text{..... (5)}$$

Seperti  $\bar{t}$  hubungan yang hanya dengan aliran yang aktif, nilai ini dalam gambar 2. Pada 40 detik mewakili 40/60 dari volume atau  $2/3 \text{ m}^3$ . Oleh karena,  $V_{\text{dead}}$  dari persamaan (5) dengan perbedaan  $1/3$ .

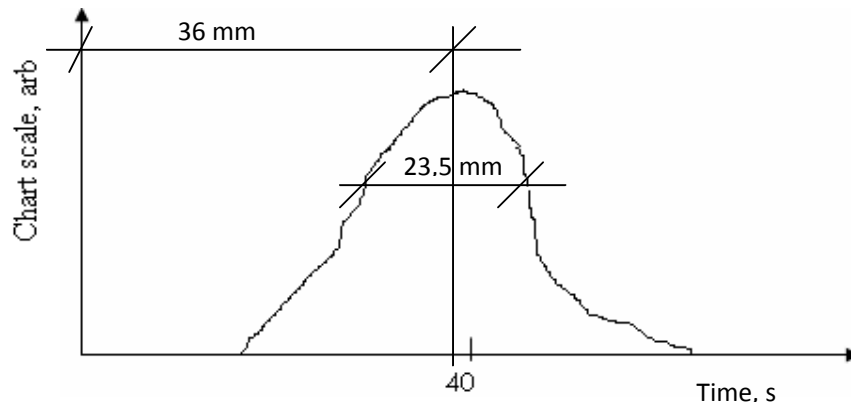
Selanjutnya, penggunaan informasi ini bersama-sama dengan persamaan (2), dengan pemakaian persamaan langsung, kami menghitung pengurangan konversi dengan persamaan sederhana yaitu :

$$(X_A)_{\bar{t}} = \frac{99 \times 2/3}{1} = 66 \%$$

Walaupun nilai dari 66 % diperoleh hanya dengan koreksi untuk waktu tinggal/waktu pemasakan, alasan yang lebih teliti pada kondisi sesungguhnya 62 % estimasi lebih bagus mungkin dengan koreksi untuk menurunkan kesalahan konversi pada dispersi, seperti persamaan (3). Cara yang paling sederhana dan cukup teliti untuk menghitung angka dispersi bejana,  $D/uL$ , adalah mengerjakannya secara langsung dari kurva respon menurut persamaan (6).

$$\frac{D}{uL} = \frac{1}{8} \left( \frac{W_{61}}{W_{max}} \right)^2 \quad \dots\dots (6)$$

Dimana :  $W_{61}$  adalah luas kurva pada 61 % dari panjang maksimum dan  $W_{max}$  adalah luas dari tinggi maksimum yang asli, keduanya diukur dengan satuan yang sama. Jarak dalam mm, diperlihatkan pada gambar 3.

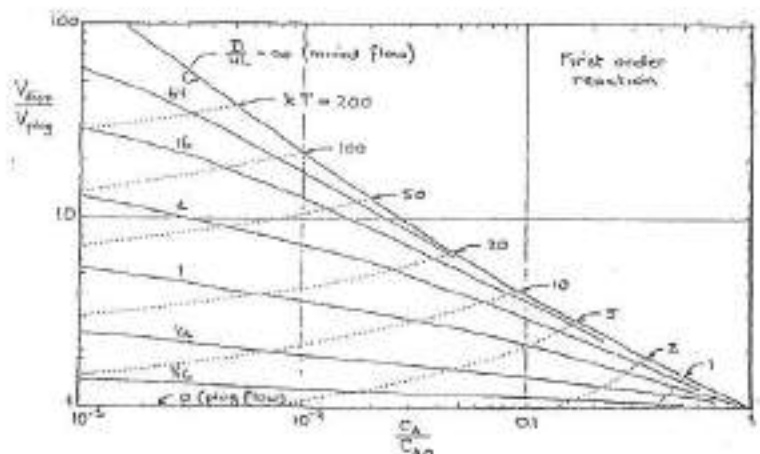


**Gambar 3 Data untuk mengevaluasi  $D/uL$  pada reaktor contoh**

Oleh karena itu, dari luas masing-masing dalam persamaan 3. Dapat ditulis :

$$\frac{D}{uL} = \frac{1}{8} \left( \frac{23,5}{36,0} \right)^2 = 0,053 \quad \dots\dots (7)$$

Arti dari angka dispersi bejana 0,053 adalah permulaan dari performa *plug flow* dan apabila laju alir dijaga tetap, konversi ideal dipertahankan sama kemudian waktu tinggal harus dinaikkan dan sebaliknya. Untuk reaksi order pertama, inlai yang diharapkan diperoleh dari gambar 4. Dari perbandingan volume reaktor,  $V_{dispersi}/V_{plug}$ .



#### Gambar 4 Grafik untuk mengevaluasi $D/uL$ untuk aliran terdispersi

Dalam contoh yang disajikan, untuk konversi 66 % ( $C_A/C_{A0} = 0,34$ ), interpolasi antara  $D/uL = 0$  dan  $1/16 (= 0,062)$ , kami dapat menemukan data kami  $D/uL = 0,053$  pada  $V_{dispersi}/V_{plug}$  antara 1,1. Penggunaan rumus langsung dengan asumsi, kami mendapatkan konversi 60% ( $=66/1,1$ ), yang mana lebih teliti dari yang dilaporkan sesungguhnya yaitu 62%. Ini juga dibaca langsung dari “diagram k I” dalam gambar 4, akhirnya model aliran disajikan pada gambar 5.

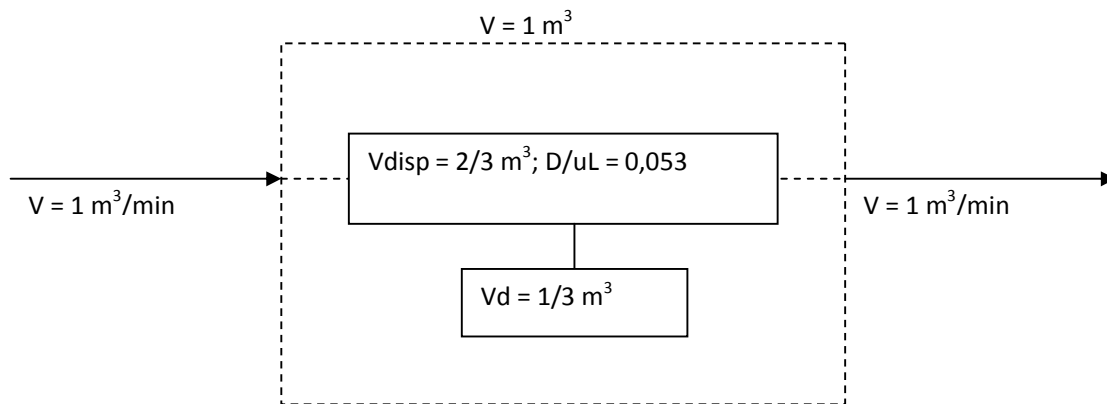


Fig 5. flow model of the example reactor.

#### Gambar 5 Model Aliran untuk pada contoh

Ini akan ditekankan bahwa model aliran dalam gambar 4. adalah pernyataan yang akurat dengan respon *tracer* (jejak) dalam gambar 2, tetapi akan menguntungkan untuk mendapatkan *tracer* yang dicek seimbang. Kadang-kadang tidak mungkin, khusus dalam industri, tidak diperoleh jejak yang seimbang yang selalu membebani pikiran ketika membuat rekomendasi. Disini pengalaman membantu.

Seperti pada perhitungan  $X_A$  dengan menggunakan persamaan 4 dan dihitung  $D/uL$  dengan persamaan (7) hanya akan dimaksud sebagai estimasi karena rumus langsung dengan asumsi.

#### Rekomendasi (dengan catatan penjelasan)

Sesuai dengan teori, dispersi dapat dikurangi dengan memasang baffle atau memasukkan *packing* pada reaktor. Untuk menghilangkan volume *dead* memerlukan pengetahuan berada dimana volume ini di dalam reaktor. Apabila pemasukan dan pengeluaran reaktor ada di tengah, kemudian sudut-sudutnya mempunyai tempat yang sama dan modifikasi beberapa struktur adalah perlu.

Pemasangan baffle di dalam tidak memerlukan modifikasi struktur, hanya beberapa las, biayanya tidak begitu mahal dan waktu instalasi tidak lama.

Memasukkan packing ke dalam reaktor dan menaikkan *pressure drop*, harga packing tidak begitu mahal, waktu pemasangan singkat, tetapi biaya operasi dengan *dengan pressure drop* yang lebih tinggi adalah mahal.

Biaya untuk menghilangkan volume *dead* melalui modifikasi dari struktur reaktor seperti tinggi dan waktu yang berlangsung.

Oleh karena itu, pada kesetimbangan, pemasangan baffle di dalam merupakan bagian hal lain yang direkomendasikan untuk mengurangi dispersi, baffle dapat juga mengurangi *dead volume*, apabila mereka ditempatkan di dalam reaktor yang sesuai.

## **PERCOBAAN**

Dua sistem aliran yaitu aliran dan padatan akan diuji dan model-model aliran tersebut di evaluasi dan didiskusikan.

Alat untuk percobaan terdiri dari bejana/reaktor untuk mengalirkan cairan dan padatan.

Untuk cairan yang mengalir dalam bejana digunakan pulsa dari injeksi  $\text{KMnO}_4$  dan sinyal output dicatat langsung pada pencatat grafik.

Untuk padatan yang mengalir pada reaktor materi sinyal output diperoleh dengan berat sampel yang sesuai.

## **LAPORAN**

Laporan harus mengikuti format standar yang rinci di Fakultas Teknik UNTIRTA

NS:12.96

## PROSEDUR KERJA PRAKTIKUM “ALIRAN NON IDEAL”

### Percobaan Aliran Padatan (Solid Flow)

Untuk percobaan aliran padatan terdiri dari 3 bagian, yaitu :

*a. Menentukan kecepatan aliran padatan.*

Dalam menentukan kecepatan aliran padatan dan factor-faktor yang berpengaruh pada kecepatan aliran padatan, langkah-langkah percobaan yang dilakukan adalah :

1. Persiapkan reaktor padatan, pasang pada stand yang disediakan dengan tegak lurus dan kuat.
2. Mula-mula gunakan corong *no.1* pasang pada reaktor kemudian isi dengan sampel (misalnya pasir) setinggi 15 cm, dengan menutup ujung corong.
3. Setelah ketinggian sesuai, siapkan stopwatch. Buka aliran padatan ambil ditampung sampel yang keluar dengan kontainer yang tersedia setiap 5 detik, lakukan penggantian kontainer dengan menggeser posisinya .
4. Timbang isi sampel dalam masing-masing kontainer (berat bersih dari sampel). Catat data yang diperoleh.
5. Bersihkan reaktor dan kontainer. Isi kembali reaktor dengan ketinggian sampel 20 cm dan kemudian dengan ketinggian 25 cm. lakukan langkah-langkah seperti diatas dan catat data yang diperoleh.
6. Lakukan langkah-langkah di atas untuk ketinggian sampel 15, 20, dan 25 cm, tetapi lapiasi bagian dalam reaktor dengan selongsong kertas pasir yang halus.
7. Ganti corong pada reaktor dengan no. 2 dan no. 3. Lakukan langkah no. 1 sampai no. 4 untuk sampel yang sama dan untuk ketinggian berbeda. Catat data yang diperoleh untuk melihat perbedaan dari perlakuan terhadap jenis corong/reaktor yang berbeda.
8. Ulangi langkah no. 7, tetapi lapiasi bagian dalam reaktor dengan selongsong kertas pasir yang halus dan yang kasar.

Untuk jumlah sampel disesuaikan dengan lembaran tugas dari pembimbing.

*b. Menentukan pola aliran padatan (solid flow pattern).*

Untuk menentukan pola aliran yang terjadi dalam reaktor, langkah – langkah percobaan dilakukan adalah sebagai berikut :



1. Persiapkan reaktor dan pasang corong *no. 1* dengan baik, kemudian isi sampel dengan ketinggian tertentu (misalnya 30 cm). Pasang kontainer *1* penampung pada bagian bawah reaktor.
2. Kemudian buka aliran keluar, amati pola aliran yang terjadi dan perubahannya. Catat ketinggian sampel dalam reaktor saat terjadi perubahan pola aliran.
3. Ulangi dengan melapisi bagian dalam reaktor dengan selongsong kertas pasir yang halus.
4. Isi sampel dengan ketinggian yang sama, buka aliran keluarannya. Amati pola aliran yang terjadi dari bagian atas reaktor, catat hasil pengamatan. Kemudian ulangi dengan menggunakan kertas pasir yang kasar.
5. Ganti corong dengan *no. 2*, isi sampel dengan ketinggian 30 cm. mula – mula lakukan tanpa menggunakan kertas pasir, kemudian dengan menggunakan kertas pasir yang halus dan yang kasar. Amati posisi dimana terjadi pola – pola aliran dan perubahannya. Catat hasil pengamatan.
6. Ganti corong dengan *no. 3*, isi sampel dengan ketinggian yang sama. Lakukan secara bergantian (tanpa kertas pasir, dengan kertas pasir yang halus dan yang kasar). Amati pola aliran yang terjadi dalam reaktor dan perubahannya.

*c. Menentukan segregasi ukuran dengan penjejak (tracer).*

Langkah – langkah yang perlu dilakukan untuk melihat peristiwa segregasi ukuran, adalah sebagai berikut :

1. Siapkan reaktor, pasang corong *no. 1*. Kemudian isi sampel dengan diameter yang kecil setinggi 10 cm, ratakan permukaannya didalam reaktor.
2. Persiapkan sampel dengan diameter yang lebih besar sebagai penjejak. Timbang beratnya.
3. Isi de dalam reaktor kira – kira setinggi 5 cm (berat telah diketahui) ratakan permukaannya. Lalu tambahkan sampel halus tadi setinggi 10 cm.
4. Siapkan kontainer dan stop watch, buka aliran keluar. Lakukan penggantian kontainer setiap 5 detik hingga sampel dalam reaktor habis.
5. Timbang berat bersih sampel dari masing – masing kontainer. Lakukan pengayakan untuk setiap kontainer, timbang sampel dan penjejak. Catat data yang diperoleh.
6. Lakukan percobaan di atas dengan menambah lapisan kertas pasir yang halus dan yang kasar pada bagian dalam reaktor.
7. Ulangi langkah no. 1 sampai no. 5 tetapi penjejak yang digunakan sebanyak dua kali kira – kira 2 cm di seling dengan sampel halus.

8. Lakukan percobaan no. 7 dengan menambah lapisan kertas pasir yang halus dan yang kasar pada bagian dalam reaktor.
9. Ulangi langkah no. 1 sampai no. 5, dengan menambah selingan tracer sebanyak tiga kali.
10. Lakukan percobaan no. 9 dengan menambah lapisan kertas pasir yang halus dan yang kasar pada bagian dalam reaktor.
11. Ikuti semua langkah – langkah diatas (no. 1 sampai no. 10) dengan menggunakan corong *no. 2* dan kemudian dengan menggunakan corong *no. 3*. Catat data yang diperoleh.

### **Percobaan Aliran Cairan (Liquid Flow)**

Untuk percobaan aliran cairan terdiri dari 2 bagian, yaitu :

*a. Mengoperasikan rekorder (kompensograph)*

1. Hidupkan alat rekorder dengan mengarahkan pannel pada posisi ON
2. Atur batas kalibrasi beda tegangan (antara 10 – 100 mV) untuk memperoleh range grafik yang baik.
3. Masukkan pena pada tempat yang tersedia.
4. Buka tutup pena, periksa kondisi tinta tidak kering.
5. Atur kecepatan dan arah keluaran kertas.
6. Pindahkan knop sebelah kanan hingga paling rendah (atur pena pada posisi nol) dengan alat pengatur.
7. Hidupkan pengatur putaran kertas dan turunkan posisi pena hingga menyentuh kertas pencatat.

*b. Menentukan pola aliran cairan dalam reaktor.*

Dalam menentukan pola aliran yang terjadi dalam reaktor pipa barpacking dan tanpa packing dapat digunakan injektor berupa larutan penjejak. Tahapan proses untuk percobaan tersebut adalah :

1. Pasang instalasi peralatan (reaktor tanpa packing) dengan baik dan aman untuk dioperasikan.
2. persiapkan larutan kalium permanganat dengan konsentrasi 1 N atau gunakan yang telah tersedia.
3. Hidupkan rekorder (alat pencatat), lakukan setting seperti prosedur pengoperasian alat yang tertera di atas.
4. Buka valve air dari sumber utama, biarkan aliran masuk kedalam reaktor. Kemudian lakukan pengaturan flow aliran.
5. Mulai operasi pada flow terendah (skala 1). Setelah konstan, hidupkan rekorder. Biarkan rekorder mencatat beberapa detik, lalu suntikkan larutan  $\text{KmnO}_4$  1 N dengan volume tertentu. Lihat dan amati proses yang terjadi didalam reaktor dan pada rekorder. Lakukan percobaan untuk beberapa variasi volume larutan injeksi.

6. Biarkan rekorder bekerja hingga larutan  $\text{KmnO}_4$  habis mengalir. Kemudian matikan rekorder. Ulangi percobaan jika range grafik yang diperoleh kurang baik (terlalu lebar atau sempit).
7. Lakukan langkah di atas dengan menaikkan flow cairan hingga skala 10 (minimum 4 titik/skala).
8. Ulangi percobaan dengan mengikuti langkah no. 4 sampai no. 6 dan dengan menggunakan packing (raching ring). Lakukan beberapa kali dengan variasi volume larutan injeksi. Amati perbedaan yang terjadi, didalam reaktor dan pada rekorder dengan perubahan volume. Larutan injeksi dan flow cairan.

*c. Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K – 3)*

Untuk menjaga keselamatan selama bekerja dilaboratorium patuhilah peraturan yang ada; seperti :

- a. Gunakan jas laboratorium, kaca mata pelindung (safety glass), sarung tangan karet, safety shoes dan pelindung tubuh lainnya.
- b. Bacalah petunjuk praktikum dengan seksama sebelum memulai praktikum.
- c. Jagalah ketertiban dan kebersihan selama praktikum serta sesudah praktikum berlangsung.
- d. Mintalah bantuan teknisi atau dosen pembimbing bila mengalami kesulitan selama praktikum.

### 1. Latar Belakang

Kesadahan didefinisikan sebagai kemampuan air dalam mengkonsumsi sejumlah sabun secara berlebihan serta mengakibatkan pengerakan pada pemanas air, boiler, atau pemanasan lainnya. Hal ini disebabkan adanya kehadiran ion-ion metal polivalen, terutama kalsium dan magnesium.  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat bereaksi dengan sabun sehingga membentuk garam-garam organik yang tidak melarut dan berbentuk sebagai busa pada permukaan air.

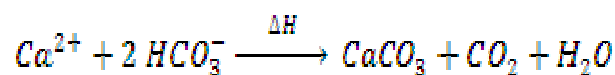
Kalsium dan Magnesium sebagai penyebab kesadahan tersebut di atas dapat dihilangkan dengan proses-proses :

- a. Kapur-soda
- b. Penukar ion

Pada proses kapur-soda, dihasilkan presipitat/endapan  $\text{CaCO}_3$  (Kalsium Karbonat) dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (Magnesium Hidroksida). Proses kapur-soda diterapkan dengan cara menambahkan Kapur dan Soda ke dalam air dengan jumlah tertentu, yang berfungsi sebagai koagulan. Kadang-kadang ditambahkan pula  $\text{FeCl}_3$  untuk membantu proses koagulasi di atas.

Pada proses penukar ion, proses berlangsung dengan adanya reaksi antar ion-ion dalam fasa cair dan ion-ion dalam fasa padat. Ion-ion tertentu dalam larutan/air dapat terserap oleh padatan penukar ion (resin), untuk mempertahankan elektronetralitasnya, maka resin melepaskan kembali ion-ion yang lain ke dalam larutan/air. Pada proses pelunakan (penghilangan kesadahan) dengan penukar ion, maka ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  disisihkan dari air, sementara resin penukar ion melepaskan ion  $\text{Na}^+$  untuk menggantikannya. Reaksi pada resin berlangsung secara “*stoikhiometric dan reversible*”.

Dua jenis kesadahan secara umum ialah kesadahan karbonat dan kesadahan non karbonat. Kesadahan karbonat disebabkan oleh adanya ion-ion  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ , sedangkan kesadahan non karbonat oleh ion-ion  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  (terutama). Keseimbangan antara kedua kesadahan tersebut adalah penting di dalam pelunakan air. Ion  $\text{HCO}_3^-$  akan berdisosiasi pada temperatur tinggi dan membentuk kerak berupa endapan  $\text{CaCO}_3$ .



Seperti dikemukakan di atas, bahwa endapan  $\text{CaCO}_3$  tersebut dapat membentuk kerak pada sistem perpipaan, sehingga dapat mengurangi koefisien perpindahan panas, serta mengakibatkan perubahan pada tahanan gesek pada pengaliran fluida.

Kesadahan karbonat adalah sebagian dari kesadahan total yang dikompensasikan oleh ion-ion bikarbonat dan karbonat yang terdapat di dalam air.

$$\text{Kesadahan bikarbonat} = \frac{1}{2} (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})$$

Kelebihan dari kesadahan total setelah dikurangi dengan kesadahan bikarbonat adalah kesadahan non karbonat.

$$\text{Kesadahan non karbonat} = [(\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) - \frac{1}{2} (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})]$$

Secara sederhana, kesadahan dapat digambarkan sebagai jumlah konsentrasi ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ .

## 2. Maksud dan Tujuan Percobaan

Maksud dari percobaan ini adalah untuk mengetahui hubungan antara prosentase penyisihan kesadahan dalam air terhadap prosentase dosis Kapur-soda yang diperlukan dalam proses pelunakan. Kapasitas penukaran ion pada resin penukar ion akan diamati pada proses pelunakan air dengan metode penukaran ion.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui efektivitas penyisihan kesadahan dengan menggunakan metoda kapur-soda dan penukar ion.

## 3. Penukar Ion

Penukar ion adalah pertukaran ion-ion secara reversible antara cairan dan padatan. Pertukaran ion antar fasa yang berlangsung pada permukaan padatan tersebut merupakan proses penyerapan yang menyerupai proses penyerapan. Dalam pengolahan air, penukar ion dapat digunakan dalam pelunakan air, demineralisasi atau “*recovery*” ion-ion metal yang terdapat di dalam air.

Bahan penukar ion merupakan suatu struktur organik/anorganik yang berupa gugus-gugus fungsional berpori. Kapasitas penukaran ion ditentukan oleh jumlah gugus fungsional per-satuan massa resin.

Penukar ion positif (resin kation) ialah resin yang dapat mempertukarkan ion-ion positif dan penukar ion negatif ialah resin yang dapat mempertukarkan ion-ion negatif. Resin kation mempunyai gugus fungsi asam, seperti sulfonat, sementara resin anion mempunyai gugus fungsi basa, seperti Amina.

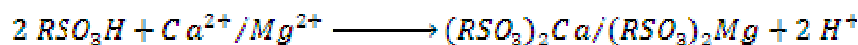
Resin penukar ion dapat digolongkan atas bentuk gugus fungsi asam kuat, asam lemah, basa kuat, dan basa lemah.

Resin kation mengandung ion-ion positif yang “mobile”, seperti  $H^+$  atau  $Na^+$  yang terikat pada gugus-gugus fungsional asam yang “immobile”, seperti  $SO_3^-$  atau  $COO^-$ . Sedangkan resin anion dengan basa “immobile”,  $NH_4^+$  yang terikat pada “mobile” anion,  $OH^-$  atau  $Cl^-$ .

#### 4. Penyisihan Kesadahan dengan Metoda Penukar Ion

Kesadahan pada air yang diketahui disebabkan oleh hadirnya ion-ion logam bervalensi II, dalam hal ini yang dominan adalah  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ , dapat dihilangkan dengan menggunakan resin penukar ion. Reaksi yang akan berlangsung adalah sebagai berikut :

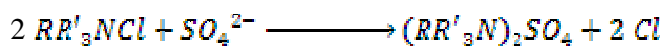
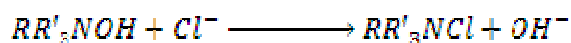
- a. Penukar kation asam kuat



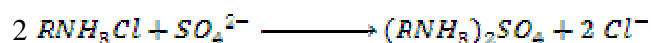
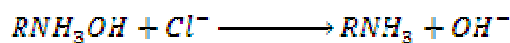
- b. Penukar kation asam lemah



- c. Penukar anion basa kuat



- d. Penukar anion dan basa lemah



## **B.1 TEORI**

### **B.1.1 Definisi**

Kesadahan total yaitu jumlah ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang dapat ditentukan melalui titrasi dengan EDTA sebagai titran dan menggunakan indikator yang peka terhadap semua kation tersebut. Kesadahan total tersebut dapat juga ditentukan dengan menjumlah ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan ion  $\text{Mg}^{2+}$  yang dianalisa secara terpisah misalnya dengan metoda AAS (Atomic Absorption Spectrophometry) yang tidak akan diuraikan disini karena mahalnnya peralatan.

### **B.1.2 Prinsip Analisa**

Eriochrome Black T (Edokrom Hitam T) adalah sejenis indikator yang berwarna merah muda bila berada dalam larutan yang mengandung ion kalsium dan ion magnesium dengan ph  $10,0 \pm 0,1$ .

Sejenis molekul lebih yaitu asa etilendiamintetrasetat dan garam-garam natriumnya (EDTA), dapat membuat pasangan kimiawi (Chelated Comlex) dengan ion-ion kesadahan dan beberapa jenis ion lain. Pasangan tersebut lebih kuat daripada hubungan antara indikator dengan ion-ion kesadahan oleh karena itu pada pH 10, larutan akan berubah menjadi biru yaitu disaat jumlah molekul EDTA yang ditambahkan sebagai litran, sama (ekuivalen) dengan jumlah ion kesadahan dalam sampel dan molekul indikator terlepas dari ion kesadahan.

Perubahan semakin jelas bila pH tinggi, namun pH yang tinggi dapat menyebabkan ion-ion kesadahan hilang dari larutan, karena terjadi pengendapan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dan  $\text{CaCO}_3$ . Pada pH 9,  $\text{CaCO}_3$  sudah mulai terbentuk sehingga titrasi harus selesai dalam waktu 5 menit. Pembentukan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  pada sampel air alam (air sungai, air tanah) belum terjadi pada pH 10.

### **B.1.3 Gangguan**

Selain dari  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  beberapa kation seperti  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  dan sebagainya juga bergabung dengan EDTA. Tetapi untuk air leding, air sungai atau danau, konsentrasi ion-ion ini cukup rendah (konsentrasi kurang dari beberapa mg/l) dan tidak mengganggu. Namun kadang-kadang air tanah dan air buangan industri mengandung konsentrasi ion-ion tersebut lebih dari beberapa mg/l di mana dalam kasus ini sesuatu inhibitor harus digunakan untuk menghilangkan gangguan tersebut (lihat ref. 1, halaman 197).

Kekeruhan juga mengurangi jelasnya warna sehingga sampel yang terlalu keruh harus disaring dahulu.



Pengendapan  $\text{CaCO}_3$  harus dicegah karena mengurangi kadar kesadahan terlarut. Kalau kadar  $\text{Ca}^{2+}$  terlalu tinggi endapan dapat muncul dalam waktu titrasi 5 menit, sehingga sampel harus diencerkan. Cara lain adalah dengan pembubuhan asam terlebih dahulu serta pengadukan supaya semua  $\text{CO}_3^{2-}$  pada pH 10 dihindarkan. Tambahkan asam sampai pH larutan menjadi + 3 (cek dengan kertas pH menjadi 10,0 + 0,1). Cara seperti ini juga dapat dilakukan pada sampel dengan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  rendah, untuk mengurangi resiko gangguan.

#### **B.1.4 Ketelitian**

Penyimpangan bakuyang relative adalah sekitar 2%, untuk seorang laboran yang berpengalaman dan teliti. Sampel yang telah diencerkan dapat mempunyai penyimpangan lebih tinggi Karena kesalahan sistematis buret akan dikalikan dengan faktor pengenceran. Metoda melalui titrasi dengan EDTA in dapat menganalisa sekecil 5 mg/L kesadahan sebagai  $\text{CaCO}_3$ ; untuk kadar < 5 mg/L lihat ref.1, halaman 119.

#### **B.1.5 Pengawetan Sampel**

Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  tidak hilang selama pengawetan hanya dapat mengendap sebagai  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  kalau pH terlalu tinggi (>9). Bila sampel harus disimpan lebih dari 2 hari, lebih baik diasamkan sampai pH < 5 dahulu atau diasamkan 1 jam sebelum supaya semua endapan  $\text{CaCO}_3$  dan lain-lain terlarut kembali.

### **B.2 PROSEDUR**

#### **B.2.1 Alat – alat**

- a. Labu takar 250 ml (untuk larutan buffer)
- b. Botol plastic 250 ml (untuk menyimpan larutan buffer)
- c. Karet penghisap (untuk larutan buffer dan HCL)
- d. 2 labu takar 1 L (untuk larutan buffer dan HCL)
- e. Botol plastic 1 L (untuk larutan EDTA)
- f. Erlemayer 500 ml (untuk standard  $\text{Ca}^{2+}$ )  
Erlemayer 250 ml (untuk menyiapkan sampel)
- g. Corong (untuk standar  $\text{Ca}^{2+}$ )
- h. Gelas ukur 100 ml (untuk 1 + 1 HCl)
- i. Pembakar Bunsen atau pemanas listrik lengkap (untuk standar  $\text{Ca}^{2+}$ )
- j. Buret 25 atau 50 ml, (untuk titrasi dengan EDTA)

- k. Pipet : 100 ml, 50 ml, 25 ml, 20 ml, 2 ml, 1 ml
- l. Beker 100 ml bentuk tinggi (untuk titrasi)
- m. Mortar (untuk membuat bubuk indicator)
- n. Botol tutup kaca (untuk menyimpan indicator)

## 2.2 Reagen

- a. Larutan buffer pH 10,0 + 0,1 :

Larutkan 1,179 g garam di-natrium EDTA (dihidrat) p.a. dan 780 mg  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (magnesium sulfat) atau 644  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (magnesium klorida) dalam + 50 ml air suling. Tambahkan larutan ini pada 16,9 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan 143 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  pekat yang sudah berada dalam labu takar 250 ml, kocok dan encerkan sampai menjadi 250 ml dengan air suling. Simpanlah larutan buffer ini di dalam botol plastic; tutuplah dengan baik agar  $\text{NH}_3$  (amoniak) tidak dapat keluar dan  $\text{CO}_2$  (karbon dioksida) tidak dapat keluar dan  $\text{CO}_2$  (karbon dioksida) tidak dapat masuk. Larutan in tahan selama 1 bulan. Popet dengan karet penghisap selalu digunakan untuk memindahkan 1 atau 2 ml larutan buffer ke dalam sampel.

- b. Larutan standar EDTA (titran) 0,01 M

Larutkan 3,723 gram di-natrium EDTA (dihidrat) p.a. dalam air suling dan encerkan dalam labu takar sampai menjadi 1 L. Dengan demikian 1 ml larutan EDTA sesuai dengan 1 mg kesadahan yang dinyatakan sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Larutan EDTA ini sebaiknya disimpan di botol plastik karena EDTA dapat melarutkan ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  pada dinding kaca biasa. Larutan EDTA harus distandarkan dengan larutan standar primer  $\text{Ca}^{2+}$  perlu diperhatikan bahwa larutan EDTA ini dapat menua.

- c. Larutan Standar Primer  $\text{Ca}^{2+}$

Tuangkan 1 g  $\text{CaCO}_3$  tanpa hidrat p.a. ke dalam gelas erlemayer 500 ml melalui corong yang ditempatkan di atas gelas erlemayer tuangkan sedikit demi sedikit larutan 1 + 1 HCl (yaitu larutan yang terdiri dari setengah bagian HCl pekat dan setengah bagian air suling yang telah dibuat lebih dahulu dalam gelas pengukur 100 ml). Tambahkan 200 ml air suling dan didihkan larutan tersebut di atas pembakar Bunsen selama beberapa menit supaya semua  $\text{CO}_2$  hilang, diinginkan sebelum menambahkan beberapa tetes indikator metal merah. Bila warna kuning muncul ( $\text{pH} > 6$ ) tambahkan 1 + 1 HCl. Sampai warna menjadi oranye. Bila warna merah muncul ( $\text{pH} < 4$ ) tambahkan 1 + 1  $\text{NH}_4\text{OH}$  juga sampai warna menjadi oranye. Warna oranye menunjukkan pH larutan + 5. Kadar larutan standar primer  $\text{Ca}^{2+}$  tersebut adalah 400,44 mg  $\text{Ca}^{2+}$ .

d. Indikator campuran Eriochrome Black T dan NaCl

Campuran 200 mg celupan Eriochrome Black T dengan 100 g NaCl kemudian giling dalam mortar sampai menjadi bubuk halus. Simpan dalam botol kaca tertutup dengan baik. Dengan demikian dapat bertahan sampai lebih dari 1 tahun. Bila berupa larutan, indikator tidak seestabil.

### B.2.3 Cara Kerja

1. Dalam gelas erlemayer 250 ml, tuangkan sampel sebanyak kurang lebih 30 ml (kalau perlu larutan sudah diencerkan) yang akan memerlukan antara 3 sampai 15 ml titran EDTA. Dengan perkataan lain, sampel 30 ml ini harus mengandung sekitar 3 sampai 15 mg/l kesadahan sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Tambahkan beberapa tetes HCl pekat sampai pH menjadi +3 (cek dengan kertas pH) dan kocoklah selama beberapa menit supaya  $\text{CO}_2$  terlarut lenyap ke udara.
2. Ambil sampel dari butir di atas sebanyak 25 ml dan encerkan menjadi 50 ml dalam beker 100 ml bentuk tinggi. Tambahkan 1 sampai 2 ml larutan buffer, biasanya 1 ml sudah cukup untuk member nilai pH yang tetap yaitu  $10 + 0,1$ . Tambahkan + 0,15 g bubuk campuran NaCl dan Eriochrome Black T. kemudian titrasikan dengan larutan EDTA. Titrasi harus dilakukan cukup pelan dengan waktu tunggu beberapa detik antara dua penambahan titran, namun titrasi harus selesai dalam waktu 5 menit di saat warna merah hilang sama sekali menjadi biru. Selama titrasi larutan sampel harus diaduk misalnya dengan pengaduk magnetis.
3. Untuk mendapatkan hasil yang teliti, maka harus dibuat duplikat setiap analisa.

## B.3 PERHITUNGAN

$$\begin{aligned}\text{Kesadahan (sebagai mg CaCO}_3\text{/L)} &= \frac{A \times 1,0009 \times 1000 \times f}{B} \\ &= 1,00009 \times \frac{A}{B} \times f\end{aligned}$$

Dimana :

A = ml titran EDTA

B = ml sampel (sebelum diencerkan)

1,0009 = ekuivalen antara 1 ml EDTA 0,01 M dan 1 mg kesadahan  $\text{CaCO}_3$

F = faktor perbedaan antara kadar larutan EDTA 0,01 M menurut standarisasi dengan  $\text{CaCO}_3$  ( $f < 1$ ).

$$\text{Atau, kesadahan mmol/l} = \frac{A \times 0,01 \times 1000 \times f}{B}$$

Catatan : Bagi  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  berlaku  $50 \text{ mg/L sebagai CaCO}_3 = 1 \text{ meq/L}$

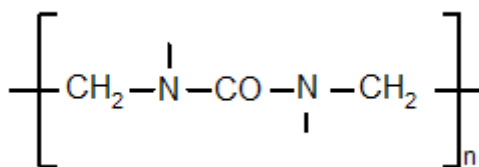
## UREA FORMALDEHID

### I. PENDAHULUAN

Istilah polimer digunakan untuk menggambarkan bentuk molekul raksasa atau rantai yang sangat panjang yang terdiri atas unit-unit terkecil yang berulang-ulang atau **mer** atau **meros** sebagai blok-blok penyusunnya. Molekul-molekul (tunggal) penyusun polimer dikenal dengan istilah **monomer**.

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (non-metallic material) yang penting. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperature rendah. Hal lain yang banyak menjadi pertimbangan adalah daya hantar listrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi, kesesuaian desain dan manufaktur.

Urea-formaldehid resin adalah hasil kondensasi urea dengan formaldehid. Resin jenis ini termasuk dalam kelas resin *thermosetting* yang mempunyai sifat tahan terhadap asam, basa, tidak dapat melarut dan tidak dapat meleleh. Polimer termoset dibuat dengan menggabungkan komponen-komponen yang bersifat saling menguatkan sehingga dihasilkan polimer dengan derajat *cross link* yang sangat tinggi. Karena sifat-sifat di atas, aplikasi resin urea-formaldehid yang sangat luas sehingga industri urea-formaldehid berkembang pesat. Contoh industri yang menggunakan industri formaldehid adalah *addhesive* untuk *plywood*, tekstil resin *finishing*, *laminating*, *coating*, *molding*, *casting*, *laquers*, dan sebagainya.



Gambar 1. Struktur Molekul Urea Formaldehid

Pembuatan resin urea-formaldehid secara garis besar dibagi menjadi 3. Yang pertama adalah reaksi metiolasi, yaitu penggabungan urea dan formaldehid membentuk monomer-monomer yang berupa monometilol dan dimetil urea. Reaksi kedua adalah penggabungan monomer yang terbentuk menjadi polimer yang lurus dan menghasilkan

uap air. Tahap ini disebut tahap kondensasi. Proses ketiga adalah proses *curing*, dimana polimer membentuk jaringan tiga dimensi dengan bantuan pemanasan dalam oven. Pada praktikum ini akan dipelajari pengaruh beban rasio urea-formaldehid pada pembentukan resin. Untuk itu digunakan variasi perbandingan formaldehid dan urea (F/U). Untuk mempelajari kinetika reaksi, sebelum proses *curing* larutan resin ureaformaldehid dideteksi konsentrasi jumlah formaldehid yang bebas.

## II. TUJUAN PRAKTIKUM

Tujuan pelaksanaan praktikum Modul Teknik Polimerisasi adalah:

1. Praktikan mempelajari salah satu teknik polimerisasi, khususnya polimerisasi kondensasi Urea-Formaldehid
2. Praktikan mempelajari reaksi polimerisasi tersebut
3. Praktikan mempelajari pengaruh-pengaruh kondisi operasi terhadap hasil reaksi polimerisasi

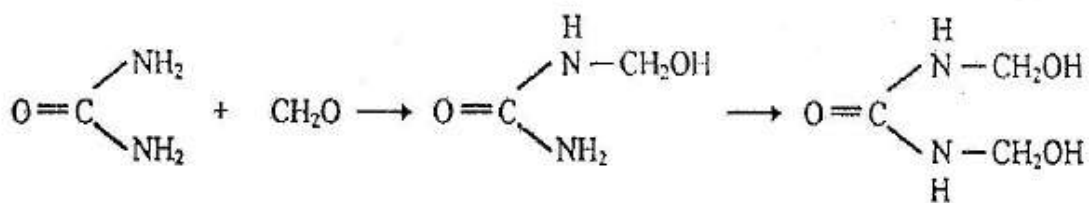
## III. TINJAUAN PUSTAKA

Proses pembentukan rantai molekul raksasa polimer dari unit-unit molekul terkecilnya (mer atau meros) melibatkan reaksi yang kompleks. Proses polimerisasi tersebut yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua jenis reaksi, yaitu :

1. polimerisasi adisi (Addition)
2. polimerisasi kondensasi (Condensation).

Reaksi adisi, seperti yang terjadi pada proses pembentukan makro molekul polyethylene dari molekul-molekul ethylene, berlangsung secara cepat tanpa produk samping (by-product) sehingga sering disebut pula sebagai Pertumbuhan Rantai (**Chain Growth**). Sementara itu, polimerisasi kondensasi, seperti yang misalnya pada pembentukan bakelit dari dua buah mer berbeda, berlangsung tahap demi tahap (**Step Growth**) dengan menghasilkan produk samping, misalnya molekul air yang dikondensasikan keluar.

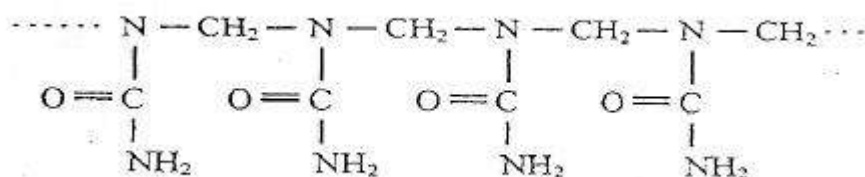
Reaksi urea-formaldehid pada pH di atas 7 adalah reaksi metilolasi, yaitu adisi formaldehid pada gugus amino dan amida dari urea, dan menghasilkan metilol urea. Pada tahap metilolasi, urea dan formaldehid bereaksi menjadi metilol dan dimetil urea.



Rasio dari senyawa mono dan dimetilol yang terbentuk bergantung pada rasio formaldehid dan urea yang diumpangkan. Reaksi berlangsung pada kondisi basa dengan amoniak ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) sebagai katalis dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai *buffer*. *Buffer* ini berfungsi menjaga kondisi pH reaksi agar tidak berubah tiba-tiba secara drastis.

Analisa awal dilakukan dengan menggunakan blanko berupa larutan formaldehid,  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Sampel ke-0 diambil setelah urea ditambahkan pada larutan dan diaduk sempurna. Setelah itu dilakukan pemanasan sampai  $70\text{ }^\circ\text{C}$  untuk mempercepat reaksi.

Reaksi metilolasi diteruskan dengan reaksi kondensasi dari monomer-monomer mono dan dimetilol urea membentuk rantai polimer yang lurus. Derivat-derivat metilol merupakan monomer, penyebab terjadinya reaksi polimerisasi kondensasi. Polimer yang dihasilkan mula-mula mempunyai rantai lurus dan masih larut dalam air. Semakin lanjut kondensasi berlangsung, polimer mulai membentuk rantai 3 dimensi dan semakin berkurang kelarutannya dalam air. Reaksi kondensasi ini dilakukan dalam sebuah labu berleher yang dilengkapi kondensor ohm meter, termometer, agitator dan pipa untuk *sampling point*. Labu berleher ini ditempatkan dalam *waterbath*.



Kondensor berfungsi mengembunkan air yang menguap selama proses polimerisasi. Hal ini dimaksudkan mempercepat tercapainya kesetimbangan reaksi. Agitator berfungsi membuat larutan tetap homogen selama proses. Pada proses *curing*, kondensasi tetap berlangsung, polimer membentuk rangkaian 3 dimensi yang sangat kompleks dan menjadi *thermosetting* resin. Hasil reaksi dan kecepatannya, sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor:

1. perbandingan molekul pereaksi
2. katalis
3. pH sistem
4. temperatur
5. waktu reaksi.

Perubahan pada kondisi reaksi akan menghasilkan resin yang sangat bervariasi, sehingga produk akhir yang dihasilkan mempunyai sifat fisika, kimia, dan mekanis yang berbeda. Oleh sebab itu, kondisi reaksi ditentukan oleh produk akhir yang dikehendaki. Pada prinsipnya, pembuatan produk-produk urea-formaldehid dilakukan melalui beberapa tahapan:

1. tahap pembuatan *intermediate*, yaitu sampai didapatkan resin yang masih berupa cairan atau yang larut dalam air/pelarut lain
2. tahap persiapan (*preparation* sebelum proses *curing*), yaitu pencampuran dengan zat-zat kimia, filter, dan sebagainya
3. tahap *curing* yaitu proses terakhir yang oleh pengaruh katalis, panas, dan tekanan tinggi, resin yang dirubah sifatnya menjadi *thermosetting resin*.

#### IV. RANCANGAN PERCOBAAN

IV.1 Peralatan utama yaitu reaktor urea-formaldehid adalah berupa :

1. Reaktor gelas dengan volum kerja maksimum 2 liter. Dalam reaktor gelas ini reaksi pembuatan *intermediate* dilaksanakan.
2. Perlengkapan reaktor berupa pengaduk, termometer, alat pencuplik dan kondenser yang ditempatkan pada flens penutup reaktor gelas. Flens akan menutup rapat reaktor dan uap hanya dapat keluar melalui kondenser. Di dalam kondenser, uap dikondensasi dan dikembalikan ke dalam reaktor sebagai refluks.
3. *Waterbath*, yang digunakan untuk menciptakan temperatur lingkungan reaktor yang tetap.

Peralatan pendukung yang harus disediakan untuk keperluan analisis dan lainnya adalah :

- Alat ukur densitas cairan.
- Alat titrasi untuk mengukur kadar formaldehid yang tersisa.
- Alat ukur viskositas, stabilitas, *stroke-cure* resin

- Oven
- Cawan porselen
- Timbangan/neraca

#### IV.2 Bahan/zat Kimia yang digunakan :

- Urea
- Formaldehid (dalam bentuk larutan formalin)
- Na-sulfit
- Na-karbobat
- Alkohol
- Indikator Corellin
- Asam sulfat

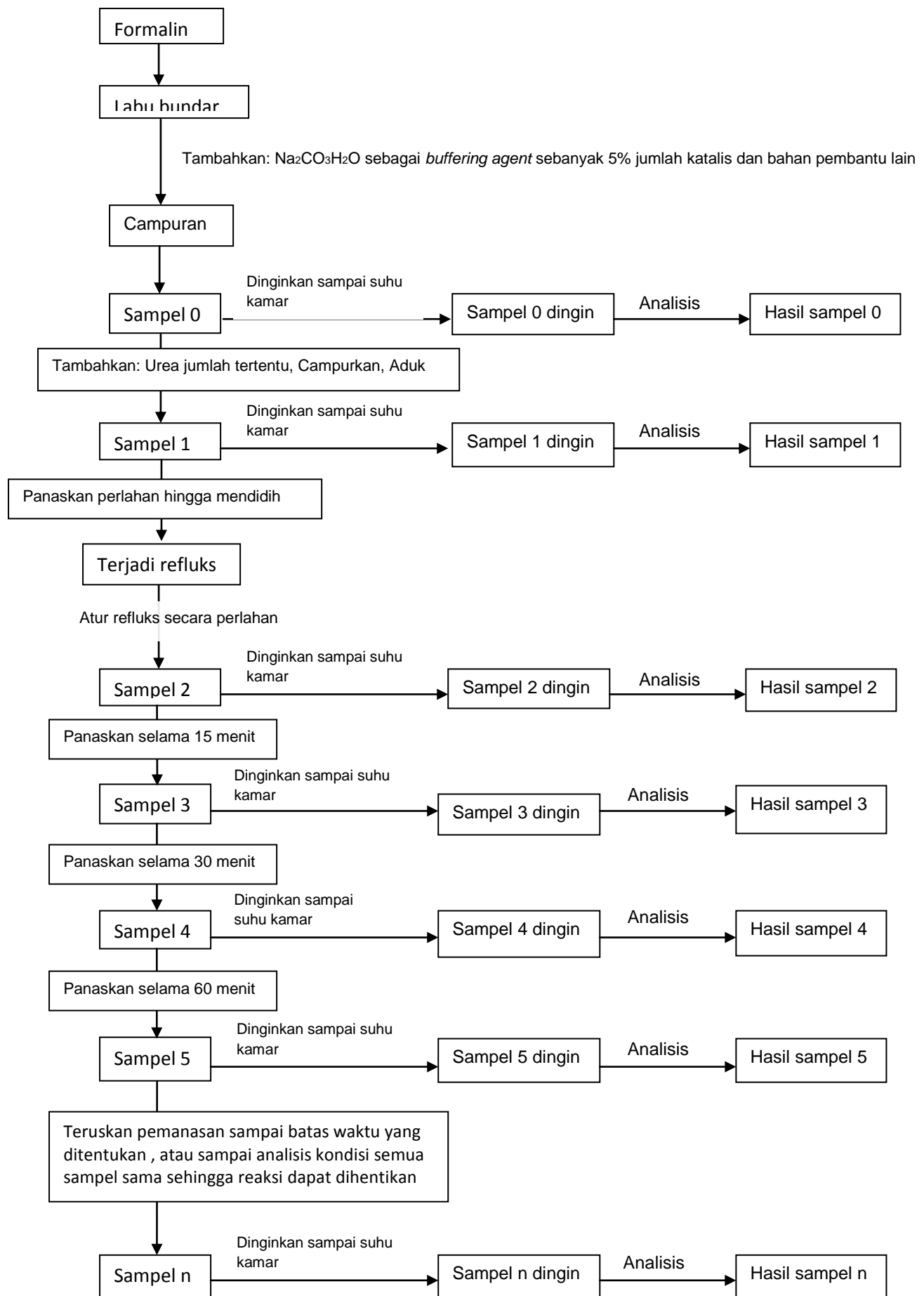
### V. PROSEDUR PRAKTIKUM

Tahapan percobaan pembuatan resin urea-formaldehid adalah sbb :

1. Susun peralatan sesuai sketsa gambar, periksa apakah setiap komponen peralatan dapat bekerja sesuai fungsinya.
2. Siapkan peralatan untuk analisis. Sebaiknya disediakan botol-botol pencuplik agar cuplikan dapat diambil sesuai dengan waktu yang ditentukan
3. Siapkan bahan-bahan yang diperlukan untuk reaksi. Jumlah bahan-bahan tersebut harus terlebih dahulu ditentukan dengan tepat sesuai dengan produk yang ingin diperoleh.
4. Lakukan percobaan reaksi kondensasi. Secara rinci, prosedur percobaan reaksi kondensasi dijabarkan pada lampiran. Kelangsungan reaksi dapat diamati dengan mengambil cuplikan setiap selang waktu tertentu, kemudian ditentukan kadar formaldehid bebasnya secara titrasi. Pada saat kadar formaldehid bebas telah menunjukkan harga yang konstan, reaksi dihentikan.

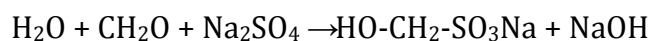
Prosedur kerja praktikum teknik polimerisasi disajikan pada gambar berikut :





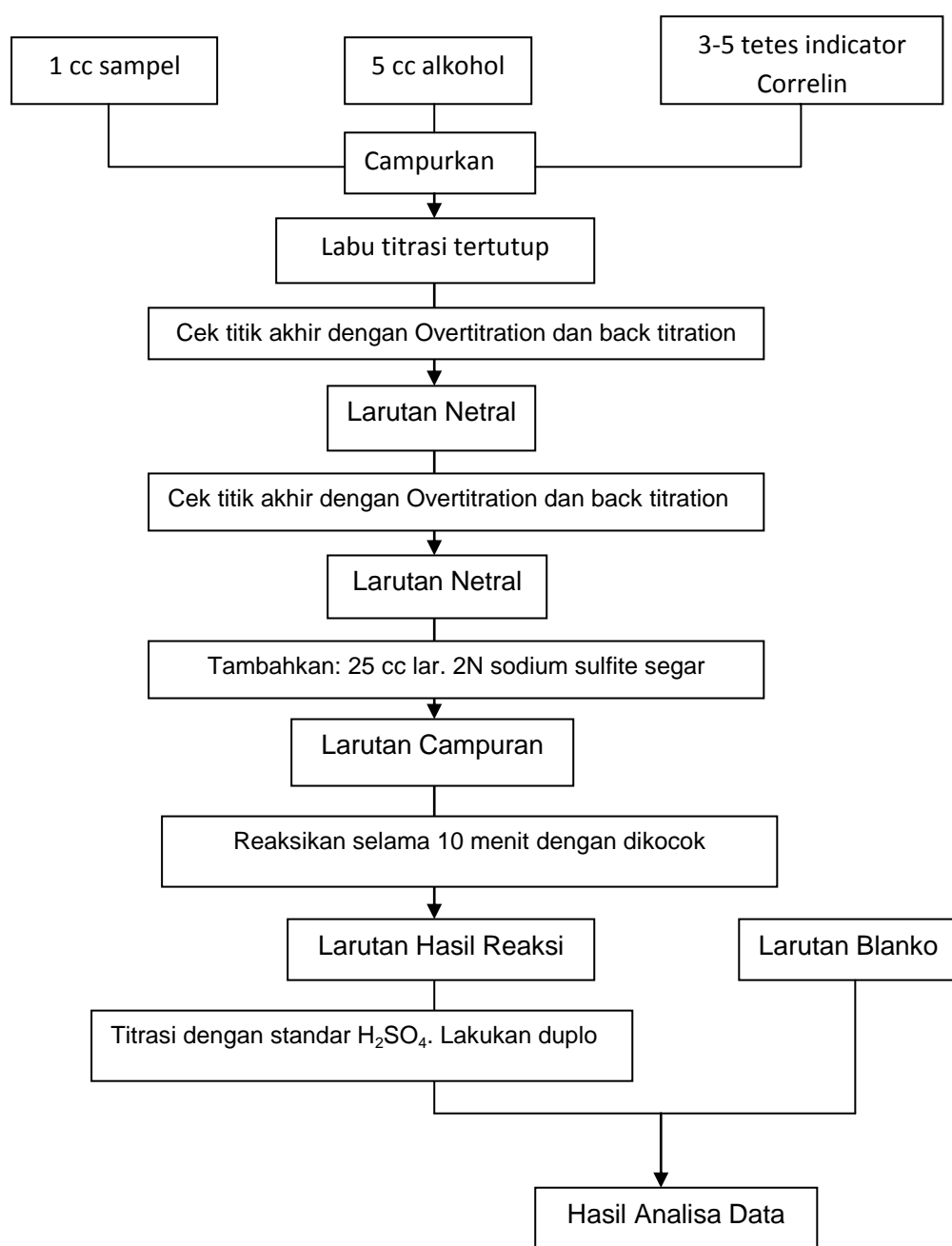
### Prosedur Test I

Test I dilakukan untuk menganalisa kadar formaldehid bebas dengan menggunakan sodium sulfit. Dasar reaksinya adalah:



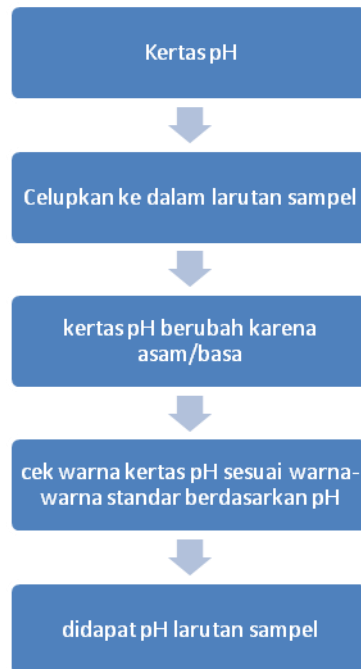
Sehingga NaOH yang terbentuk ekuivalen dengan kadar formaldehid bebas dalam larutan.

Prosedur pengerjaan Test I disajikan pada Gambar berikut :



### **Prosedur Test II**

Test II dilakukan untuk menguji pH larutan dengan menggunakan kertas pH. Prosedur Test II dapat dilihat pada Gambar berikut :

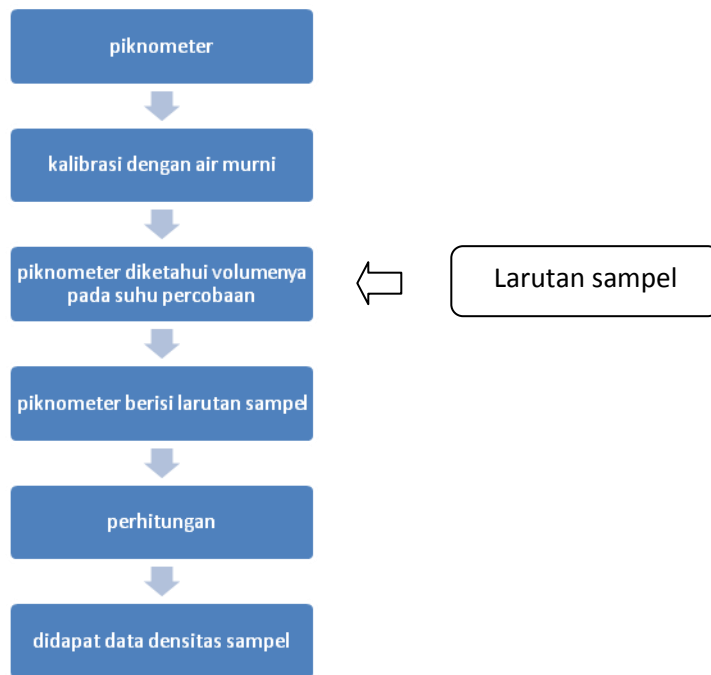


### **Prosedur Test III**

Test III dilakukan untuk menentukan viskositas cairan dengan alat viskosimeter Ostwald pada temperatur konstan. Viskometer dikalibrasi dengan menggunakan air pada suhu tertentu untuk mendapatkan harga K.

### **Prosedur Test IV**

Test IV dilakukan untuk menentukan densitas sampel dengan piknometer. Prosedur Test IV dapat dilihat pada Gambar berikut :



### Data Percobaan

1. Densitas Air pada Berbagai Temperatur

Temperatur (°C)	$\rho$ (g/mL)
25	
26	
27	
28	

2. Viskositas Air pada Berbagai Temperatur

Temperatur (°C)	$\mu$ (cP)
25	
26	
27	
28	

3. Massa  
molekul relative

Zat	Rumus Molekul	MR
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	60
Formaldehid	$\text{CH}_2\text{O}$	30
Amoniak	$\text{NH}_4\text{OH}$	35
Natrium Karbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	106
Natrium sulfit	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	126

## 4. Densitas Zat pada Temperatur Percobaan

Zat	Rumus Molekul	$\rho$ (g/mL)
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
Formaldehid	$\text{CH}_2\text{O}$	
Amoniak	$\text{NH}_4\text{OH}$	
Natrium Karbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	
Natrium sulfit	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	

## 5. Penentuan Densitas Resin

Massa piknometer kosong = ..... g

Massa piknometer + aqua dm = .....g

Densitas aqua dm (pada T percobaan) = ..... g/mL

Volume piknometer = .....mL

Massa piknometer + resin = .....g

No.	Volume Sampel (mL)	Volume Aqua dm (mL)	Massa pikno + larutan (g)	Massa lar.(g)	Densitas lar. (g/mL)
1					
2					
3					
4					
5					

## 6. Penentuan Viskositas

Waktu dalam aqua dm = .....detik

Gravitasi spesifik aqua dm =.....

Viskositas aqua dm (pada T percobaan)=..... cP

No	Cr (g/100mL)	t (detik)
1		
2		
3		
4		
5		

## 7. Penentuan Kinetika Reaksi

F/U =.....

Volume formalin = .....mL

Massa urea = .....g

Massa amonia = .....g

Massa buffer = .....g

Konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  = .....M

Volume sampel = .....mL

Temperatur = ..... °C

Sampel Blanko	t (menit)	V H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			T (°C)	Cf
		I	II	Average		
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

### Contoh Perhitungan

#### 1. Penentuan Jumlah Formaldehid

Massa larutan formalin =  $\rho \cdot V$

dimana:  $\rho$  larutan formalin = 1.079 g/mL

Misalkan V(volume percobaan) = 500 mL

Maka  $\rightarrow$  massa larutan formalin = 500 mL \* 1,079 g/mL

massa larutan formalin = 539,5 g

Jika larutan formalin mengandung 36% formaldehid,

massa formaldehid = 0,36 \* 539,5 = 194,22 g

$$\text{Mol formaldehid} = \frac{\text{massa formaldehid}}{\text{MR}}$$

$$\text{Mol formaldehid} = \frac{194,22}{30} = 6,474 \text{ mol}$$

#### 2. Penentuan Jumlah Urea

Misalkan untuk F/U = 1,65

Maka  $\rightarrow$  mol urea = F/1,65 = 6,474/1,65 = 3,924 mol

Massa urea = mol urea \* MR urea = 3,924 mol \* 66 g/mol

Massa urea = 235,418 g

#### 3. Penentuan Jumlah Katalis dan Buffer

Misal: massa total campuran = X g

massa katalis 5% massa total = 0,05 X

massa buffer 5% massa katalis = 0,05 \* 0,05 \* X

X = massa (formalin + urea + katalis + buffer)

X = 539,5 + 235,418 + 0,05X + 0,05 \* 0,05 \* X

0,9475 X = 774,918

X = 817,855 g

Massa NH<sub>4</sub>OH yang ditambahkan = 40,89 g

NH<sub>4</sub>OH yang digunakan 21%-W/W = 194,73 g

Volume NH<sub>4</sub>OH yang ditambahkan (larutan 21%-W/W) adalah:

(massa/densitas)larutan = (194,73/0,934) = 208,49 mL

Massa Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang ditambahkan = 2,5.10<sup>-3</sup>.X = 2,045 g

#### 4. Penentuan Kadar Formaldehid Bebas

Misalkan Cc, blanko = 0,2

$C_c$ , titran  $H_2SO_4 = 0,7$

Pada kondisi tersebut  $C$  sampel = 1,5

Maka → konsentrasi formaldehid bebas adalah:

$$C_f = \left( \frac{\text{massa } CH_2O \text{ (g)}}{100 \text{ mL}} \right) = \left( \frac{3 * (C_{c, \text{titran}} - C_{c, \text{titran}}) * NH_2SO_4}{C_{c, \text{sampel}}} \right)$$
$$C_f = \left( \frac{3 * (0,7 - 0,2) * 1}{1,5} \right) = 1,05 \text{ g/100mL}$$

5. Penentuan Orde dan Konstanta Laju Reaksi

Persamaan umum laju reaksi:

$$-\frac{dC_f}{dt} = k * C_f^n$$

Untuk menentukan orde dan konstanta laju reaksi secara sederhana digunakan metoda integral.

- Jika diasumsikan reaksi mengikuti orde 1 terhadap konsentrasi, persamaan kinetika laju reaksinya adalah:

$$-\frac{dC_f}{dt} = k * C_f^1$$

Integrasi persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\int_{C_0}^{C_f} \frac{dC_f}{C_f} = - \int_0^t k * dt$$
$$\ln \frac{C_f}{C_0} = -k.t$$
$$\ln C_f = \ln C_0 - kt$$

Dengan demikian, bila dialurkan  $\ln C_f$  terhadap  $t$  (waktu) akan diperoleh hubungan linier dengan gradien garis  $-k$  menunjukkan konstanta laju reaksi.

- Jika diasumsikan reaksi mengikuti orde 2 terhadap konsentrasi, persamaan kinetika laju reaksinya adalah:

$$-\frac{dC_f}{dt} = k * C_f^2$$

Integrasi persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\int_{C_0}^{C_f} \frac{dC_f}{C_f^2} = - \int_0^t k \cdot dt$$

$$\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_f} = -k \cdot t$$

$$\frac{1}{C_f} = \frac{1}{C_0} + kt$$

Dengan demikian, bila dialurkan  $1/C_f$  terhadap  $t$  (waktu) akan diperoleh hubungan linier dengan gradien garis  $k$  menunjukkan konstanta laju reaksi.

- Jika diasumsikan reaksi mengikuti orde 0 terhadap konsentrasi, persamaan kinetika laju reaksinya adalah:

$$-\frac{dC_f}{dt} = k$$

Integrasi persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\int_{C_0}^{C_f} dC_f = - \int_0^t k \cdot dt$$

$$C_f - C_0 = -kt$$

$$C_f = C_0 - kt$$

Dengan demikian, bila dialurkan  $C_f$  terhadap  $t$  (waktu) akan diperoleh hubungan linier dengan gradien garis  $-k$  menunjukkan konstanta laju reaksi.

- Jika diasumsikan reaksi mengikuti orde 1,5 terhadap konsentrasi, persamaan kinetika laju reaksinya adalah:

$$-\frac{dC_f}{dt} = k \cdot C_f^{1,5}$$

Integrasi persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\int_{C_0}^{C_f} \frac{dC_f}{C_f^{1,5}} = - \int_0^t k \cdot dt$$

$$2(C_f^{-0,5} - C_0^{-0,5}) = -k \cdot t$$

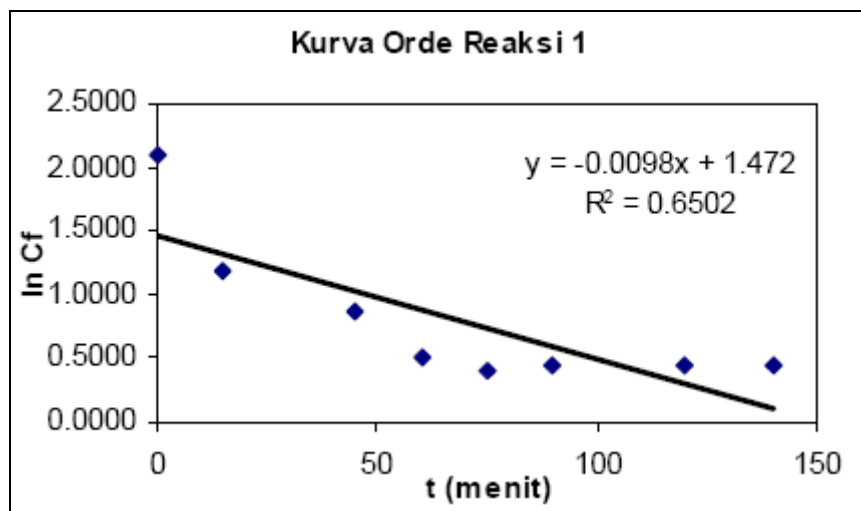
$$C_f^{-0,5} = -1/2kt + C_0^{-0,5}$$



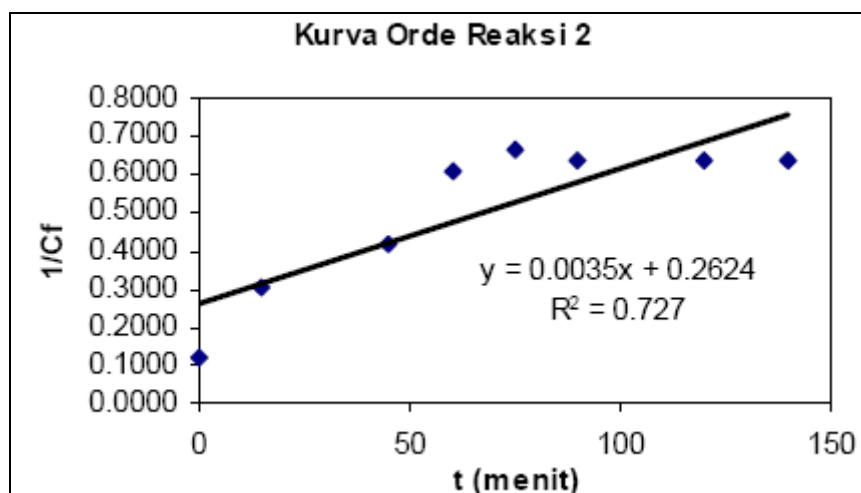
Dengan demikian, bila dialurkan  $C_f$  terhadap  $t$  (waktu) akan diperoleh hubungan linier dengan gradien garis  $-0,5k$ . Konstanta laju reaksi adalah 2 kali gradien. Berikut contoh data percobaan:

Sampel	t (menit)	V H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			T (°C)	$C_f$	$\ln C_f$	$1/C_f$	$C_f^{-0,5}$
		I	II	Average					
Blanko		0.2	0.2	0.2	26				
0	0	2.8	3	2.9	26	8.1	2.0919	0.1235	0.3514
1	15	1.4	1.2	1.3	70	3.3	1.1939	0.3030	0.5505
2	45	0.9	1.1	1	70	2.4	0.8755	0.4167	0.6455
3	60	0.7	0.8	0.75	70	1.65	0.5008	0.6061	0.7785
4	75	0.7	0.7	0.7	70	1.5	0.4055	0.6667	0.8165
5	90	0.65	0.8	0.725	70	1.575	0.4543	0.6349	0.7968
6	120	0.7	0.75	0.725	70	1.575	0.4543	0.6349	0.7968

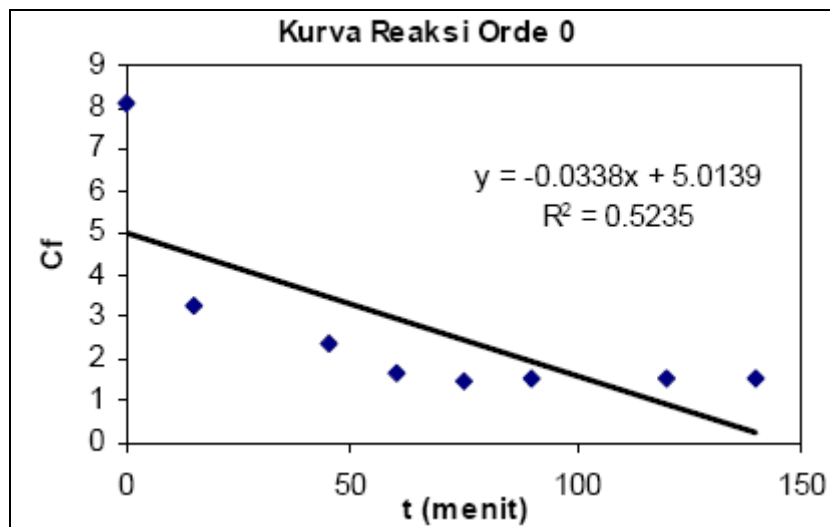
Jika persamaan kinetika laju reaksi tersebut diasumsikan mengikuti orde 1:



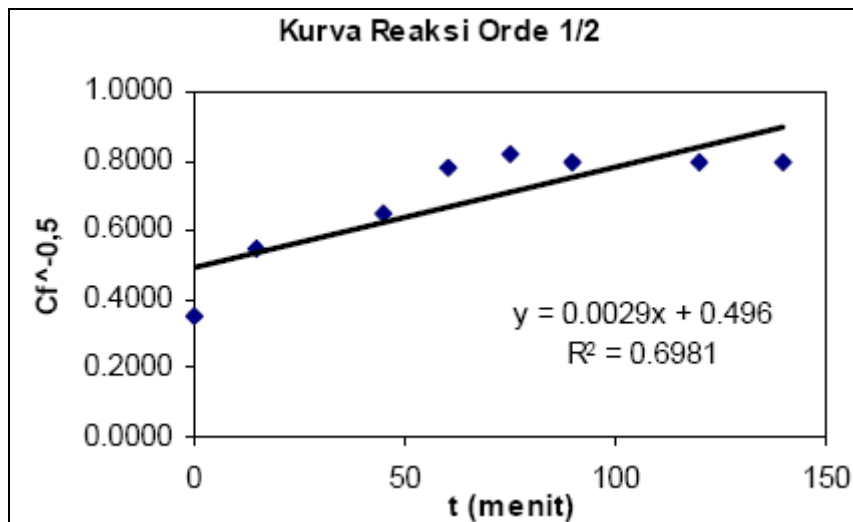
Jika persamaan kinetika laju reaksi tersebut diasumsikan mengikuti orde 2:



Jika persamaan kinetika laju reaksi tersebut diasumsikan mengikuti orde 0:



Jika persamaan kinetika laju reaksi tersebut diasumsikan mengikuti orde 1/2:



Dari keempat pendekatan/tebakan orde reaksi tersebut, yang paling mendekati kurva linear adalah jika persamaan kinetika reaksi tersebut dimodelkan sebagai persamaan laju reaksi orde 2 ( $R^2$  paling mendekati 1 yaitu 0,727). Dan konstanta laju reaksi persamaan kinetika tersebut adalah 0,0035. Maka secara umum persamaan kinetika reaksi polimerisasi urea formaldehid sesuai rangkaian data tersebut adalah:

$$-\frac{dC_f}{dt} = 0,0035 * C_f^2$$

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latarbelakang**

Kebutuhan akan air mutlak diperlukan baik yang mengandung mineral maupun yang tidak mengandung mineral (*pure water*). Untuk kebutuhan makhluk hidup air mineral sangat diperlukan untuk dikonsumsi, sedangkan untuk keperluan proses di industri khususnya industri kimia justru sebaliknya. Pengaruh mineral pada proses industri kimia cukup kompleks yaitu dari menyebabkan kerak pada proses pemanasan seperti boiler dan heat exchanger, sampai turunnya yield dan selektivitas pada proses reaksi, dan masih banyak lagi pengaruh lainnya. Untuk itu diperlukan suatu unit pengolahan air untuk menghilangkan kandungan mineral sebelum air tersebut digunakan dalam suatu industri khususnya industri kimia.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Banyak metode yang dapat digunakan untuk penghilangan mineral (penyisihan kesadahan) yang terkandung pada air diantaranya adalah dengan menggunakan metode penukar ion (ion exchange). Pada metode penukar ion media yang sering digunakan adalah berupa resin. Resin penukar ion merupakan suatu polimer yang mempunyai gugus tertentu. Pada dasarnya resin penukar ion dibagi menjadi 2 jenis yaitu kation dan anion, dimana kemampuan dalam proses penukaran ion dipengaruhi oleh banyaknya bagian sisi aktif yang terkandung dalam resin dan kemampuan penukaran ionnya. Konsentrasi sisi aktif dan kemampuan penukaran ion suatu resin biasanya tercantum dalam properties resin tersebut.

Permasalahannya yang muncul adalah bagaimana cara memaksimalkan konsentrasi sisi aktif dan kemampuan penukaran ion suatu resin.

### **1.3. Tujuan Percobaan**

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui efektivitas penyisihan kesadahan dan fenomena yang terjadi terhadap pengaruh laju alir air umpan, pengaruh tinggi resin dalam unggun, dan pengaruh konsentrasi larutan regenerasi

## 1.4 Ruang Lingkup

Percobaan dilakukan dengan mengubah posisi dari umpan:

- a. Dari kolom kation ke kolom anion
- b. Dari kolom anion ke kolom kation (hanya satu variasi saja, karena hanya untuk mengetahui performen dari proses penukaran ion)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kesadahan

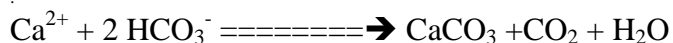
Kesadahan didefinisikan sebagai kemampuan air dalam mengkonsumsi sejumlah sabun secara berlebihan. Umumnya mineral di air didominasi oleh ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Pada prinsipnya kesadahan terbagi menjadi 2 jenis yaitu kesadahan karbonat dan non karbonat. Kesadahan karbonat disebabkan adanya ion-ion  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ , sementara kesadahan non karbonat oleh ion-ion  $\text{Cl}_2^-$  dan  $\text{SO}_4^-$  (utama). Berikut beberapa kation dan anion yang terdapat pada air:

**Tabel 1. Beberapa kation dan anion pada air**

Kation	Anion
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$
$\text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$
$\text{K}^+$	$\text{NO}_3^-$
$\text{NH}_4^+$	$\text{F}^-$
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{PO}_4^{3-}$

Sumber : Berne F dan Cordornier J

Kesetimbangan antara kedua kesadahan tersebut adalah penting di dalam pelunakan air (*water softener*). Ion  $\text{HCO}_3^-$  akan berdisosiasi pada suhu tinggi dan membentuk kerak berupa endapan  $\text{CaCO}_3$



Kesadahan total merupakan jumlah konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ , sedangkan kesadahan karbonat merupakan penjumlahan dari konsentrasi ion karbonat dan bikarbonat yaitu  $\frac{1}{2} \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ . Dengan mengurangi kesadahan total dan kesadahan karbonat diperoleh kesadahan non karbonat

$$\text{Kesadahan non karbonat} = \{ [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \} - \{ [\frac{1}{2} \text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \}$$

## 2.1 Penyisihan dengan Resin Penukar Ion

Resin penukar ion merupakan suatu polimer yang terbuat dari polystyrene dengan divinil benzene sebagai cross link. Resin penukar ion terbagi menjadi 2 jenis yaitu kation dan anion.

### 1. Resin kation

Melepaskan ion positif pada resin ( misalnya *mobile*  $H^+$  atau  $Na^+$ ) untuk ditukar dengan kandungan unsur kation pada air . Resin kation mempunyai *immobile* berupa  $SO_3^-$  atau  $COO^-$

### 2. Resin anion

Melepaskan ion negative ( misal  $OH^-$  atau  $Cl^-$ ) untuk di tukar dengan kandungan unsur anion pada air. Resin anion mempunyai *immobile*  $NH_2^+$ .

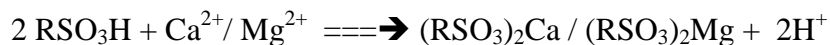
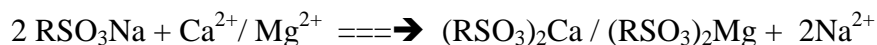
**Tabel 2. Group fungsional kation dan anion**

Group fungsional kation	Group fungsional anion
$-SO_3H$ (strong acidic)	$= N^+$ (strong basic)
$-PO_3H_2$	$=N$
$-COOH$	$=NH$
$-OH$ (weak acidic)	$-NH_2$ (weak basic)

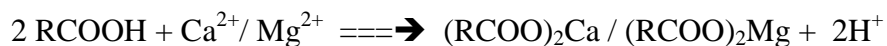
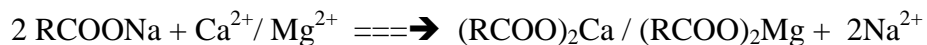
Sumber : IAEA, Vienna (2002)

Reaksi yang berlangsung pada proses demineralisasi adalah sebagai berikut:

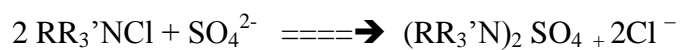
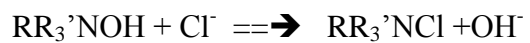
#### a. Reaksi kation asam kuat



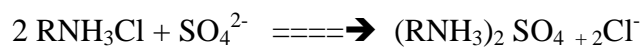
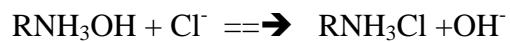
#### b. Reaksi kation asam lemah



c. Reaksi anion basa kuat



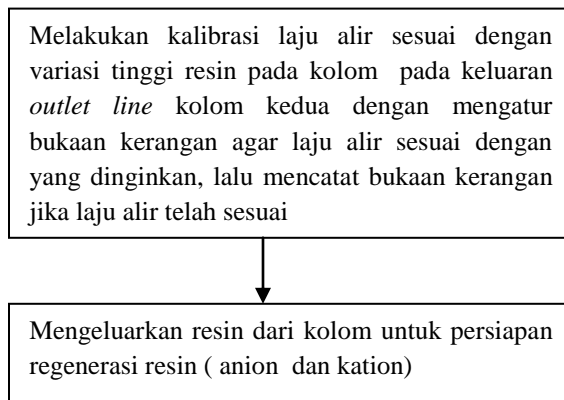
d. Reaksi anion basa lemah



## BAB III METODE PERCOBAAN

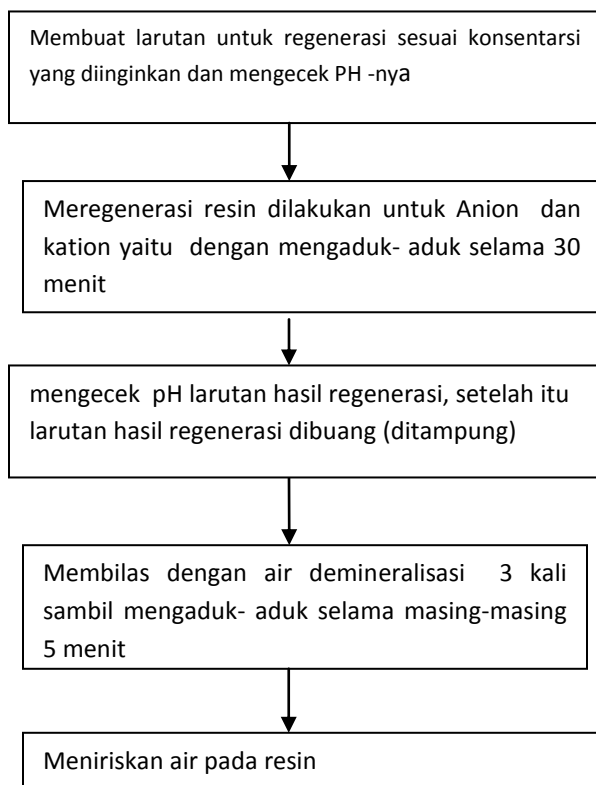
### 3.1. Digram alir percobaan

#### a. Tahap Persiapan



**Gambar 1.** Diagram alir persiapan percobaan

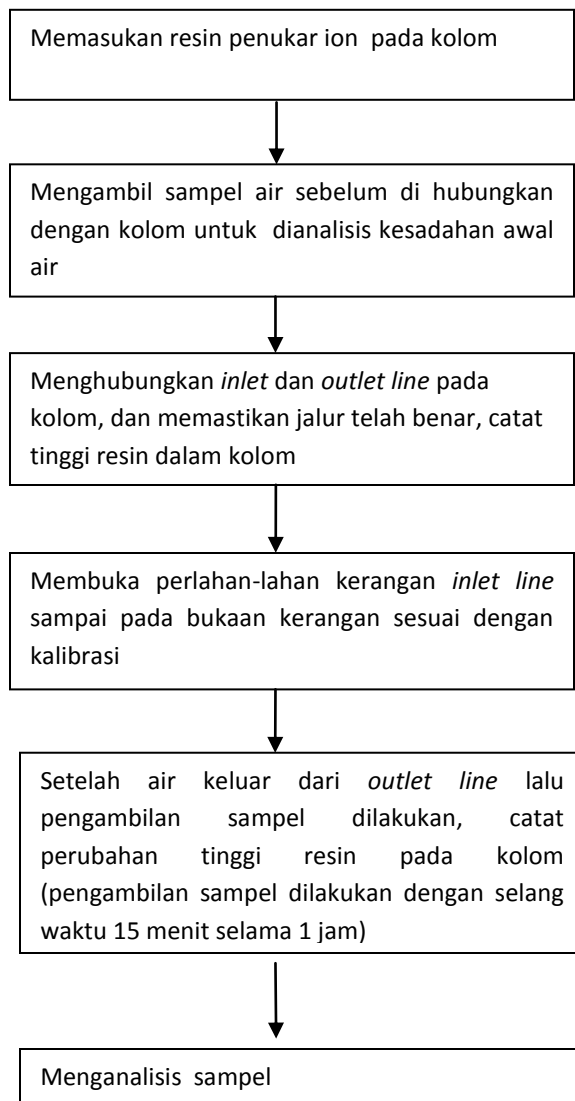
#### b. Tahap Regenerasi



**Gambar 2.** Diagram alir regenerasi resin



### c. Tahap Percobaan



**Gambar 3.** Diagram alir percobaan penukar ion

*Catatan : pencatatan tinggi resin dan perubahannya dilakukan untuk variasi laju alir umpan dan variasi tinggi resin dalam kolom (tujuannya untuk mengetahui bed expansion resin)*

### 3.2. Alat dan bahan Percobaan

#### a. Alat- alat yang diperlukan dalam percobaan

- Labu takar 250 ml ( untuk larutan buffer)
- Botol plastic 250 ml (untuk menyimpan larutan buffer)
- Karet penghisap (untuk larutan buffer dan HCl)
- 2 labu takar 1 liter ( untuk larutan buffer dan HCl)
- Botol plastic 1 liter ( untuk larutan EDTA)

- Erlenmeyer 500 ml (untuk standar  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Erlenmeyer 250 ml (untuk menyiapkan sampel)
- Corong (untuk standar  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Gelas ukur 100 ml ( untuk 1 + 1 HCl)
- Pembakar busen atau pemanas listrik lengkap (untuk standar  $\text{Ca}^{2+}$ )
- Buret 25 atau 50 ml (untuk titrasi EDTA)
- Pipet: 100 ml, 50 ml, 25 ml, 20 ml, 2 ml, dan 1 ml
- Beker 100 ml bentuk tinggi untuk titrasi
- Mortar ( untuk membuat bubuk indicator)
- Botol tutup kaca ( untuk menyiapkan indicator)

b. Bahan – bahan yang diperlukan dalam percobaan

- Resin kation maupun anion
- HCl
  - ❖ untuk buffer
  - ❖ untuk regenerasi resin kation atau disesuaikan dengan *mobile* dari resin kation
- NaOH untuk regenerasi atau disesuaikan dengan *mobile* resin anion
- $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- $\text{NH}_4\text{OH}$  pekat
- EDTA
- $\text{NH}_4\text{Cl}$
- $\text{CaCO}_3$
- EBT ( Eriochrome Black T)
- NaCl
- Air suling

### 3.3. Prosedur Percobaan

a. Tahap persiapan

- Melakukan kalibrasi laju alir sesuai dengan variasi tinggi resin pada kolom pada keluaran *oulet line* kolom kedua dengan mengatur bukaan kerangan agar laju alir sesuai dengan yang diinginkan (sebelum kalibrasi dilakukan pastikan *inlet line* dan *out line* pada kolom terhubung dengan baik), lalu mencatat bukaan kerangan jika laju alir telah sesuai
- Mengeluarkan resin dari kolom untuk persiapan regenerasi resin (anion dan kation)

b. Tahap Regenerasi

- Membuat larutan dengan konsentrasi tertentu untuk regenerasi resin (bahan kimia yang digunakan disesuaikan dengan *mobile*/gugus aktif dari resin tersebut)
- Mengukur larutan tersebut dengan pH meter atau kertas lakmus
- Mempersiapkan resin yang akan diregenerasi dalam wadah atau tempat tertentu.
- Memasukan larutan ke dalam resin, kemudian diaduk-aduk selama 30 menit
- Mengukur larutan tersebut dengan pH meter atau kertas lakmus
- Membuang/menampung air hasil regenerasi, selanjutnya melakukan pembilasan (pembilasan dilakukan sebanyak 3 kali dengan tetap mengaduk-aduk masing-masing selama 5 menit)
- Meniriskan air pembilasan pada resin
- Resin siap untuk digunakan

c. Tahap Percobaan

- Memasukan resin hasil regenerasi ke dalam kolom
- Mengambil sampel air yang akan digunakan sebagai umpan pada proses penukar ion untuk dilakukan analisis kesadahan awal
- Menghubungkan *inlet* dan *out line* ke kolom yang berisi resin
- Memastikan jalur telah terkoneksi dengan benar
- Mencatat tinggi resin dalam kolom
- Membuka perlahan-lahan kerangan *inlet* sesuai dengan bukaan hasil kalibrasi, setelah air keluar dari unggun kedua, **mengambil sampel air dan mencatat tinggi resin dalam kolom setelah air umpan dimasukan**, selanjutnya pengambilan sampel dilakukan setiap selang waktu 15 menit selama 1 jam.
- Menganalisis sampel
- Langkah di atas diulangi untuk variasi yang lainnya.

### 3.4 Variabel Percobaan

a. Variabel tetap

- Konsentrasi kesadahan air umpan (sesuai kadar dari sumber air umpan)
- Suhu air umpan (suhu lingkungan)

b. Variabel berubah

- Konsentrasi larutan regenerasi
- Laju alir air umpan
- Ketinggian Resin dalam kolom

### 3.5 Analisis Sampel

#### 1. Definisi

Kesadahan total yaitu sejumlah ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang dapat ditentukan melalui titrasi dengan EDTA sebagai titran dan menggunakan indikator yang peka terhadap semua kation tersebut. Kesadahan total tersebut juga ditentukan dengan menjumlahkan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang dianalisis secara terpisah dengan metoda AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry).

#### 2. Prinsip Analisis

Erichrome Black T adalah sejenis indikator yang berwarna merah muda bila berada dalam larutan yang mengandung ion kalsium dan ion magnesium dengan pH  $10,0 \pm 0,1$ .

Sejenis molekul lebih yaitu asam etilendiamintetrasetat dan garam-garam natriumnya (EDTA), dapat membuat pasangan kimiawi (Chelated Complex) dengan ion-ion kesadahan, oleh karena itu pH 10,0 larutan akan berubah menjadi biru yaitu disaat jumlah molekul EDTA yang ditambahkan sebagai titran sama atau ekuivalen dengan jumlah ion kesadahan dalam sampel dan molekul indikator terlepas dari ion kesadahan.

Perubahan semakin jelas bila pH tinggi, namun pH yang tinggi dapat menyebabkan ion-ion kesadahan hilang dari larutan karena terjadi pengendapan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dan  $\text{CaCO}_3$ . Pada pH 9  $\text{CaCO}_3$  sudah mulai terbentuk sehingga titrasi harus selesai dalam waktu 5 menit. Pembentukan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  pada sampel air alam (air sungai dan air tanah) belum terjadi pada pH 10.

#### 3. Gangguan

Selain  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  beberapa kation seperti  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ , serta  $\text{Mn}^{2+}$  dan sebagainya juga bergabung dengan EDTA. Tetapi untuk air ledeng, air sungai dan danau konsentrasi ion-ion ini cukup rendah (konsentrasi kurang dari beberapa mg/l) dan tidak mengganggu. Namun kadang-kadang air tanah dan buangan industri mengandung konsentrasi ion-ion tersebut lebih dari beberapa mg/l di mana dalam kasus ini sesuai inhibitor harus digunakan untuk menghilangkan gangguan tersebut.

Kekeruhan juga mengurangi jelasnya warna sehingga sampel yang terlalu keruh harus disaring dahulu. Pengendapan  $\text{CaCO}_3$  harus dicegah karena mengurangi kadar kesadahan terlarut. Kalau kadar  $\text{Ca}^{2+}$  terlalu tinggi endapan dapat muncul dalam waktu titrasi 5 menit, sehingga sampel harus diencerkan. Cara lain adalah dengan pembubuhan asam terlebih dahulu serta pengadukan agar semua  $\text{CO}_3^{2-}$  pada pH 10 dihindarkan. Tambahkan asam sampai pH larutan menjadi +3 (cek dengan kertas pH menjadi  $10,0 \pm 0,1$ ) Cara seperti ini juga dapat

dilakukan pada sampel dengan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  rendah, untuk mengurangi resiko gangguan.

#### 4. Ketelitian

Penyimpanan baku yang relative adalah sekitar 2% , untuk seorang laboran yang berpengalaman dan teliti. Sampel yang telah diencerkan dapat mempunyai penyimpanan lebih tinggi karena kesalahan sistematis buret akan dikalikan dengan faktor pengenceran. Metode melalui titrasi dengan EDTA ini dapat menganalisis sekecil 5 mg/l kesadahan sebagai  $\text{CaCO}_3$  .

#### 5. Pengawetan Sampel

Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  tidak hilang selama pengawetan hanya dapat mengendap sebagai  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  kalau pH terlalu tinggi > 9. Bila sampel harus disimpan lebih dari 2 hari, lebih baik diasamkan sampai  $\text{pH} < 5$  dahulu atau diasamkan 1 jam sebelumnya agar semua endapan  $\text{CaCO}_3$  dan lainnya terlarut kembali.

#### 6. Reagen

##### a) Larutan Buffer pH 10,0 + 0,1

Larutkan 1,179 gram garam di-natrium EDTA (dihidrat) p.a. dan 780 mg  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Magnesium sulfat) atau 644 mg  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Magnesium Klorida) dan tambahkan 50 ml air suling. Tambahkan larutan ini pada 16,9 gram  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan 143 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  pekat yang sudah berada dalam labu takar 250 ml , kocok dan encerkan sampai menjadi 250 ml dengan air suling. Simpanlah larutan buffer ini di dalam botol plastik, tutuplah dengan baik agar  $\text{NH}_3$  (amoniak) tidak dapat keluar dan  $\text{CO}_2$  tidak dapat keluar dan  $\text{CO}_2$  tidak dapat masuk. Larutan ini tahan selama 1 bulan. Pipet dengan karet hisap selalu untuk memindahkan 1 atau 2 ml larutan buffer ke dalam sampel.

##### b) Larutan Standar EDTA (titran) 0,01 M

Larutkan 3,723 gram di-natrium EDTA(dihidrat) dalam air suling dan encerkan dalam labu takar capai menjadi 1 liter. Dengan demikian 1 ml larutan EDTA sesuai dengan 1 mg kesadahan yang dinyatakan sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Larutan EDTA ini sebaiknya disimpan dalam botol plastik karena EDTA dapat melarutkan ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  pada dinding kaca biasa. Larutan EDTA harus distandarkan dengan larutan  $\text{Ca}^{2+}$  standar primer  $\text{Ca}^{2+}$ . Perlu diperhatikan bahwa larutan EDTA ini dapat menua.

##### c) Larutan Standar Primer $\text{Ca}^{2+}$

Tuangkan 1 gram  $\text{CaCO}_3$  tanpa hidrat p.a. ke dalam gelas erlenmeyer 500 ml melalui corong yang ditempatkan di atas gelas Erlenmeyer, tuangkan sedikit demi sedikit larutan 1+ 1 HCl (yaitu larutan yang terdiri dari setengah bagian HCl pekat dan setengah bagian air suling

yang telah dibuat lebih dahulu dalam gelas pengukur 100 ml). Tambahkan 200 ml air suling dan didihkan larutan tersebut di atas pembakar busen selama beberapa menit agar semua  $\text{CO}_2$  hilang, dinginkan sebelum menambahkan beberapa tetes indikator metal merah. Bila warna kuning muncul ( $\text{pH} > 6$ ) tambahkan 1 +1 HCl sampai warna menjadi oranye. Bila warna merah muncul ( $\text{pH} < 4$ ) tambahkan 1+1  $\text{HH}_4\text{OH}$  juga sampai warna oranye. Warna oranye menunjukkan pH larutan +5. Kadar larutan primer  $\text{Ca}^{2+}$  tersebut adalah 400,44 mg  $\text{Ca}^{2+}$ .

d) Indikator campuran Eriochrome Black T (EBT)

Campuran 200 mg celupan EBT dengan 100 g NaCl kemudian haluskan dalam mortar sampai menjadi bubuk halus. Simpan dalam botol kaca tertutup dengan baik. Dengan demikian dapat bertahan sampai lebih dari 1 tahun, bila berupa larutan, indikator tidak stabil.

e) Cara kerja Analisis

- Dalam gelas Erlenmeyer 250 ml, tuangkan sampel sebanyak kurang lebih 30 ml (kalau perlu larutan sudah diencerkan) yang akan memerlukan antara 3 sampai 15 ml titran EDTA. Dengan kata lain, sampel 30 ml ini harus mengandung sekitar 3 sampai 15 mg/l kesadahan sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Tambahkan beberapa tetes HCl pekat sampai pH menjadi +3 (cek dengan kertas pH). Dan kocoklah selama beberapa menit agar  $\text{CO}_2$  teralrut hilang ke udara
- Ambil sampel dari butir di atas sebanyak 25 ml dan encerkan menjadi 50 ml dalam beker 100 ml bentuk tinggi. Tambahkan 1 sampai 2 ml larutan buffer , biasanya 1 ml sudah cukup untuk memberi nilai pH yang tetap yaitu 10,0 + 0,1 . Tambahkan 0,15 g bubuk campuran NaCl dan EBT. Kemudian dititrasi dengan larutan EDTA. Titrasi harus dilakukana perlahan-lahan dengan waktu tunggu beberapa detik antara dua penambahan titran, namun titrsai harus selesai dalam waktu 5 menit di saat warna merah hilang sama sekali menjadi biru. Selama titrasi larutan sampel harus diaduk misalnya dengan pngaduk magnetis.
- Untuk mendapatkan hasil yang teliti, maka harus dibuat duplikat setaip analisis.

## 7. Perhitungan

$$\text{Kesadahan (sebagai mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times 1,0009 \times 1000 \times f}{B}$$

Dimana,

A = volume titran EDTA, ml

B = volume sampel (sebelum diencerkan), ml

1,0009 = ekuivalen antara 1 ml EDTA 0,01 M dan 1 mg kesadahan CaCO<sub>3</sub>

f = Faktor perbedaan antara larutan EDTA 0,01 M menurut standarisasi dengan CaCO<sub>3</sub> (f<1)

### 3.6. Pengolahan Data

1. Menghitung % penyisihan kesadahan dan % *bed expansion* :

$$\% \text{ Efisiensi penyisihan kesadahan} = \frac{\text{kesadahan inlet} - \text{kesadahan outlet}}{\text{kesadahan inlet}} \times 100\%$$

$$\% \text{ bed expansion resin} = \frac{H_1 - H_0}{H_0} \times 100 \%$$

H<sub>1</sub> = tinggi resin dalam kolom setelah umpan masuk

H<sub>0</sub> = tinggi resin dalam kolom sebelum umpan masuk

2. Membuat grafik hubungan antara:

- ❖ Untuk laju alir umpan dari kation ke anion

1. Efisiensi penyisihan dan waktu ( untuk variasi laju alir umpan)
2. Efisiensi penyisihan dan waktu (untuk variasi tinggi resin dalam kolom)
3. Efisiensi penyisihan dan waktu ( untuk variasi konsentrasi larutan regenerasi)

- ❖ Untuk laju alir umpan dari anion ke kation

1. Efisiensi penyisihan terhadap waktu
2. Efisiensi penyisihan terhadap waktu (membandingkan antara umpan dari “kation ke anion” dan dari “anion ke kation dengan kondisi operasi yang sama)

3. Membuat grafik variasi konsentrasi larutan regenerasi dengan pH “grafik batang” (sebelum dan setelah resin dimasukan “dalam 1 gambar” )
4. Membuat grafik hubungan laju alir dan % bed expansion

## DAFTAR PUSTAKA

1. \_\_\_\_\_, "Panduan pelaksanaan Lab. OTK " versi lama, Jurusan Teknik Kimia, FT. Untirta
2. \_\_\_\_\_, 2002, " Application of Ion Exchange Process For The Treatment Of Radioactive Waste and Management of Spent Ion Exchange.pdf", IAEA, Vienna, Austria
3. Berne F dan Cordornier J , " Industrial Water Treatment" , Gulf Publishing Company Editions Technip.



## PENUKAR PANAS

### 1. TUJUAN PENELITIAN

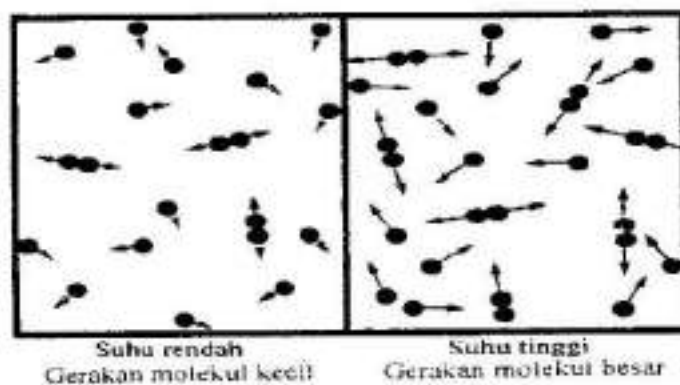
1. Melihat Fenomena perpindahan panas secara konveksi dan terjadinya pendidihan
2. Menentukan harga koefisien perndahan panas Overall (U) sistem dua fluida di dalam alat penukar panas *Plate and Frame*
3. Mempelajari pengaruh variabel laju alir fluida, temperatur fluida, dan arah aliran terhadap koefisien perpindahan panas overall (U)
4. Membandingkan unjuk kerja *Counter Current* dan *Co-Current*

### 2. DASAR TEORI

Apabila dua benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi, atau radiasi. Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat saja berlangsung secara simultan.

#### 2.1. Konduksi ( keadaan *steady* )

Suatu material bahan yang mempunyai *gradient*, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi *thermal* pada logam - logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi *thermal* mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul [McCabe,1993]



Gambar 2.1 Pergerakan molekul yang sama dengan suhu beda

Contoh perpindahan kalor secara konduksi antara lain: perpindahan kalor pada logam cerek pemasak air atau batang logam pada dinding tungku. Laju

perpindahan kalor secara konduksi sebanding dengan gradien suhu [McCabe,1993] .

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

dan dengan konstanta kesetimbangan ( konduksi ) maka menjadi persamaan *Fourier*

$$q = - k A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots( 2.1 )$$

dimana; q = laju perpindahan kalor

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = gradient suhu kearah perpindahan kalor

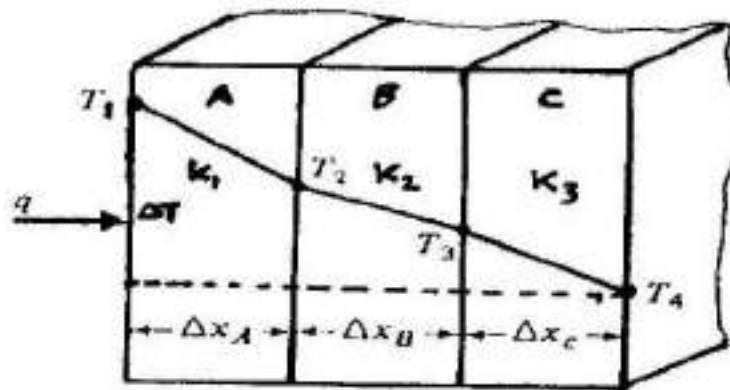
k = konduktivitas termal

A = luas permukaan bidang hantaran

Tanda ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II Thermodinamika yaitu “ Kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur “ [Holman,1986].

### 2.1.1. Laju perpindahan panas secara konduksi pada tahanan seri

Laju perpindahan panas secara konduksi pada tahanan seri dengan ketebalan material, konduktifitas thermal yang berbeda, sehingga penurunan temperatur juga berbeda, maka kalor yang dipindahkan :



Gambar 2.2 Konduksi pada tahanan seri [McCabe,1993]

$$q = - \frac{(T_4 - T_1)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots( 2.2 )$$

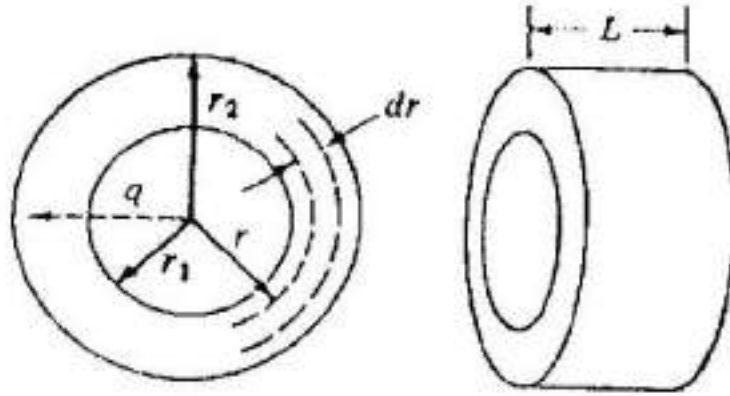
dimana : R = Tahanan perpindahan panas

$$R = \Delta x / ( k \cdot A )$$

A = Luas permukaan perpindahan panas

### 2.1.2. Laju perpindahan panas secara konduksi pada silinder

Laju perpindahan panas secara konduksi pada silinder mempunyai perbedaan dengan laju perpindahan panas secara konduksi pada pelat / balok, karena beda persamaan luas bidang permukaan [ Geankoplis, 1993]



Gambar 2.3. Perpindahan panas secara konduksi pada silinder  
[Geankoplis, Christie j, 1993]

$$q = -k \cdot A_{Ln} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

$$A_{Ln} = \frac{2 \pi L \cdot (r_2 - r_1)}{\ln (r_2 / r_1)}$$

$$\partial T = (T_2 - T_1)$$

$$\partial r = (r_2 - r_1)$$

### 2.2. Konveksi

Arus fluida yang melintas pada suatu permukaan, maka akan ikut terbawa sejumlah enthalphi. Aliran enthalphi ini disebut aliran konveksi kalor atau konveksi. Konveksi merupakan suatu fenomena makroskopik dan hanya berlangsung bila ada gaya yang bekerja pada partikel atau ada arus fluida yang dapat membuat gerakan melawan gaya gesek [McCabe, 1993]. Contoh sederhana perpindahan panas secara konveksi adalah aliran air yang dipanaskan dalam belanga.

Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton tentang pendinginan [Holman, 1986].

$$q = -h \cdot A \cdot \partial T \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

$q$  = Kalor yang dipindahkan

$h$  = Koefisien perpindahan kalor secara konveksi

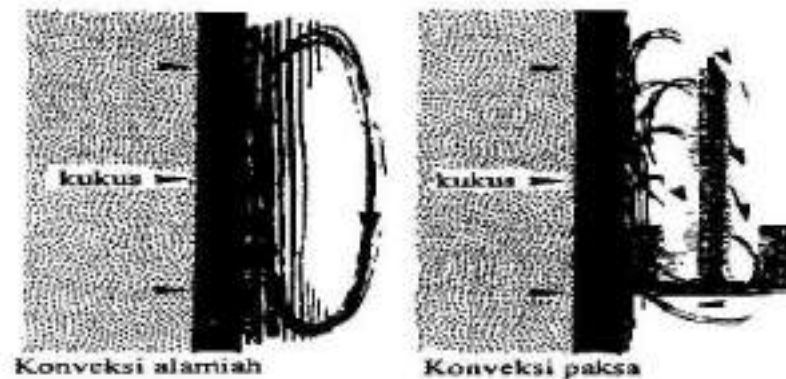
$A$  = Luas bidang permukaan perpindahan panas

$T$  = Temperatur

Tanda minus ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif ( + ). Berdasarkan gaya penyebab terjadinya arus aliran fluida, konveksi dapat diklasifikasikan:

### 2.2.1. Konveksi alamiah ( *natural / free convection* )

Konveksi alamiah dapat terjadi karena ada arus yang mengalir akibat gaya apung, sedangkan gaya apung terjadi karena ada perbedaan densitas fluida tanpa dipengaruhi gaya dari luar sistem. Perbedaan densitas fluida terjadi karena adanya gradien suhu pada fluida. Contoh konveksi alamiah antara lain aliran udara yang melintasi radiator panas [McCabe,1993]



Gambar 2.4 Ilustrasi aliran fluida pada konveksi alamiah dan paksa

### 2.2.2. Konveksi paksa ( *forced convection* )

Konveksi paksa terjadi karena arus fluida yang terjadi digerakkan oleh suatu peralatan mekanik ( contoh : pompa, pengaduk ), jadi arus fluida tidak hanya tergantung pada perbedaan densitas. Contoh perpindahan panas secara konveksi paksa antara lain : pemanasan air yang disertai pengadukan.

### 2.3. Radiasi ( pancaran )

Pada radiasi panas, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar. Jika gelombang tersebut mengenai suatu benda, maka gelombang dapat mengalami transisi ( diteruskan ), refleksi ( dipantulkan ), dan absorpsi ( diserap ) dan menjadi kalor. Hal itu tergantung pada jenis benda, sebagai contoh memantulkan sebagian besar radiasi yang jatuh padanya, sedangkan permukaan yang berwarna hitam dan tidak mengkilap akan menyerap radiasi yang diterima dan diubah menjadi kalor. Contoh radiasi panas antara lain pemanasan bumi oleh matahari.

Menurut hukum *Stefan Boltzmann* tentang radiasi panas dan berlaku hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan ( dari benda hitam ) dengan

laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan benda [ **Artono Koestoer,2002** ].

$$q \text{ pancaran} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:  $\sigma$  = konstanta proporsionalitas ( tetapan *Stefan boltzmann* )

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$$

A = luas permukaan bidang benda hitam

T = temperatur absolut benda hitam

## 2.4.Sistem aliran penukar panas

Proses pertukaran panas antara dua fluida dengan temperatur yang berbeda, baik bertujuan memanaskan atau mendinginkan fluida banyak diaplikasikan secara teknik dalam berbagai proses thermal di industri. Terdapat berbagai jenis penukar panas menurut ukuran, efektifitas, perpindahan panas, aliran , jenis konstruksi. Namun berdasar sistem kerja yang digunakan, penukar panas dapat digolongkan menjadi dua system utama, yaitu :

### 2.4.1. Pertukaran panas secara langsung

Materi yang akan dipanaskan atau didinginkan dikontakkan langsung dengan media pemanas atau pendingin ( missal : kontak langsung antara fluida dengan kukus, es ). Methode ini hanya dapat digunakan untuk hal – hal tertentu yang khusus.

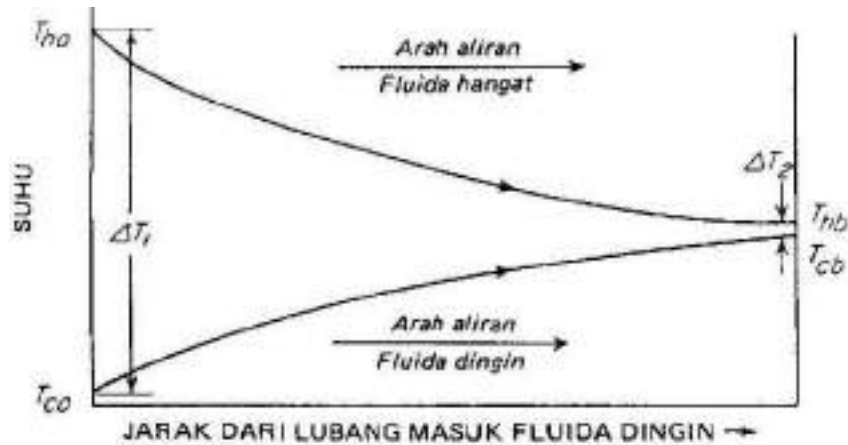
### 2.4.2.Pertukaran panas secara tidak langsung

Pertukaran panas secara tidak langsung memungkinkan terjadinya perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida lain melalui dinding pemisah. Berdasarkan arah aliran fluida, pertukaran panas dapat dibedakan :

#### 2.4.2.1. Pertukaran panas dengan aliran searah ( *co – current / paralel flow* )

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida ( dingin dan panas ) masuk pada sisi penukar panas yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas (  $T_{cb}$  ) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas (  $T_{hb}$  ), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak. Neraca panas yang terjadi :

$$M_c \cdot ( T_{cb} - T_{ca} ) = M_h \cdot ( T_{ha} - T_{hb} ) \dots\dots\dots (2.6)$$



Gambar 2.5 Profil temperatur pada aliran *co – current* [McCabe,1993]

Dengan assumpsi nilai kapasitas panas spesifik (  $c_p$  ) fluida dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan serta keadaan steady state, maka kalor yang dipindahkan :

$$q = U \cdot A \cdot T_{LMTD} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :  $U$  = koefisien perpindahan panas secara keseluruhan (  $W / m^2 \cdot ^\circ C$  )

$A$  = luas perpindahan panas (  $m^2$  )

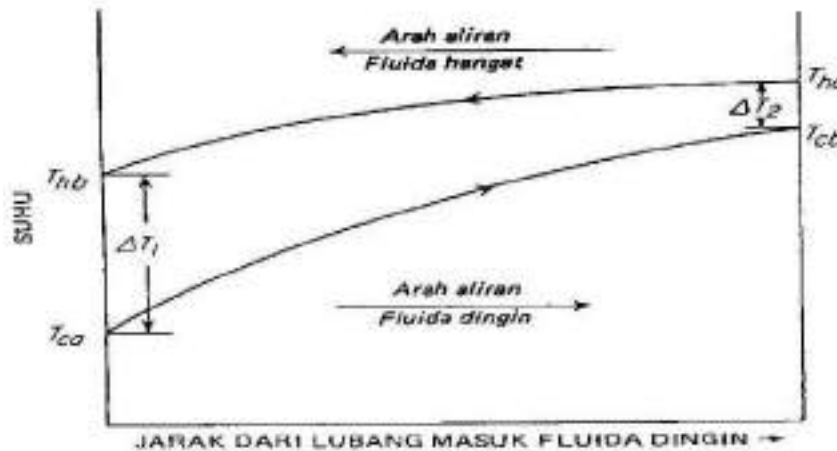
$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \quad (\text{log mean temperature diffrensial})$$

$$\Delta T_2 = T_{hb} - T_{cb}$$

$$\Delta T_1 = T_{ha} - T_{ca}$$

#### 2.4.2.2. Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah ( *counter flow* )

Penukar panas jenis ini, kedua fluida ( panas dan dingin ) masuk penukar panas dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan . Temperatur fluida dingin yang keluar penukar panas (  $T_{cb}$  ) lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar penukar panas (  $T_{hb}$  ), sehingga dianggap lebih baik dari alat penukar panas aliran searah (*Co-Current*).



Gambar 2.6. Profil temperatur pada aliran counter current [McCabe,1993]

Kalor yang dipindahkan pada aliran *counter current* mempunyai persamaan yang sama dengan persamaan ( 2.7 ), dengan perbedaan nilai  $T_{LMTD}$  , dengan pengertian beda  $\Delta T_1$  dan  $\Delta T_2$ , yaitu:

$$\Delta T_1 = T_{hb} - T_{ca}$$

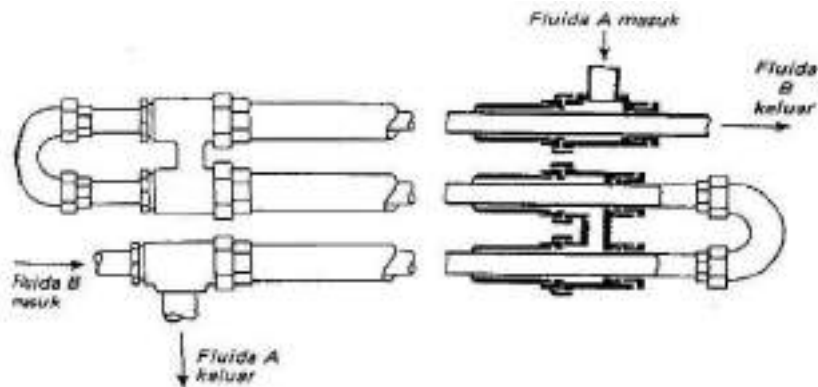
$$\Delta T_2 = T_{ha} - T_{cb}$$

## 2.5. Alat penukar panas

Alat penukar panas konvensional seperti penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*) dan penukar panas cangkang buluh (*shell and tube heat exchanger*) selama beberapa decade mendominasi fungsi sebagai penukar panas di industri. Perkembangan kemudian, karena tuntutan efisiensi energi, biaya, serta tuntutan terhadap beban perpindahan panas yang lebih tinggi dengan ukuran penukar panas yang kompak menjadi penting. Menanggapi hal itu, maka dibuat suatu penukar panas kompak. Salah satu jenis penukar panas kompak tersebut adalah penukar panas *Plate and frame Heat Exchanger*.

### 2.5.1. Penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*)

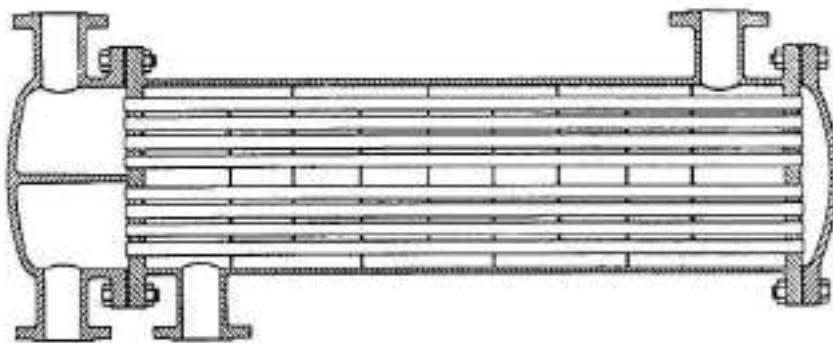
Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi. Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar digunakan penukar panas jenis selongsong dan buluh (*shell and tube heat exchanger*).



Gambar 2.7. Penukar panas jenis pipa rangkap

### 2.5.2. Penukar panas cangkang dan buluh ( *shell and tube heat exchanger* )

Alat penukar panas cangkang dan buluh terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang ). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat ( *baffle* ). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal ( *residence time* ), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.



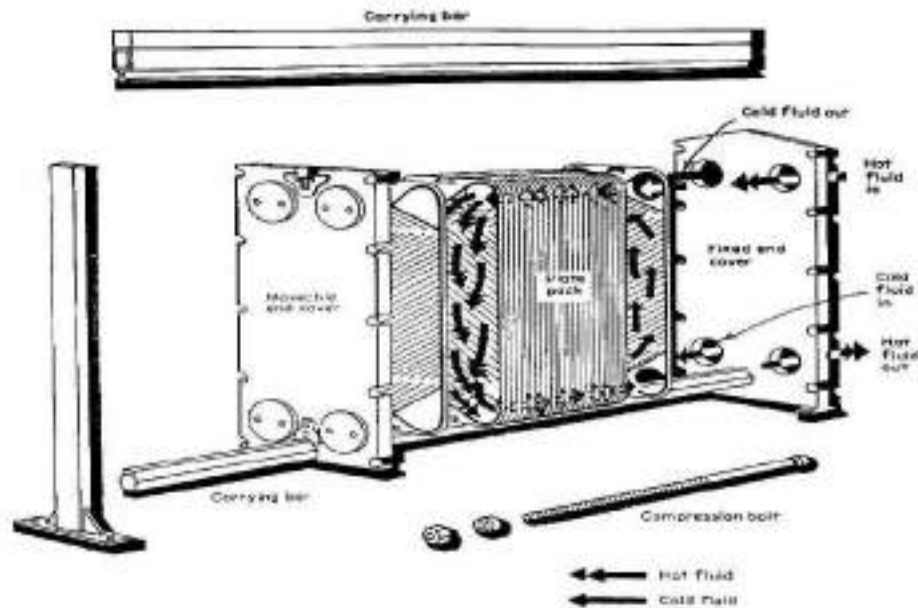
Gambar 2.8. Penukar panas jenis cangkang dan buluh

### E.3.3. Penukar Panas Plate and Frame ( *plate and frame heat exchanger* )

Alat penukar panas pelat dan bingkai terdiri dari paket pelat – pelat tegak lurus, bergelombang, atau profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak ( biasanya terbuat dari karet ). Pelat – pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat



( kebanyakan segi empat ) terdapat lubang pengalir fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebaliknya karena ada sekat.



Gambar 2.9. Penukar panas jenis pelat and Frame

## 2.6. Perhitungan Perpindahan Panas

### 2.6.1. Neraca enthalphi dalam penukar panas

Panas yang dipindahkan untuk salah satu arus fluida dalam penukar panas

$$q = m \cdot (H_b - H_a) \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana

$q$  = laju perpindahan kalor ke dalam arus fluida

$m$  = Laju alir massa

$H_a, H_b$  = Enthalphi persatuan massa arus fluida masuk dan keluar alat penukar panas.

Perpindahan kalor dari atau ke udara sekitar tidak dikehendaki. Salah satu dari kedua arus fluida yang berada disebelah luar dapat mengambil kalor atau melepaskan kalor ke udara sekitar jika fluida itu lebih dingin atau lebih panas. Pencegahan hal itu dilakukan dengan mengisolasi penukar panas. Dengan

menggunakan persamaan ( 2.8 ) dapat digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dipindahkan masing - masing fluida :

- Fluida panas,  $q = m_h \cdot (H_{hb} - H_{ha})$
- Fluida dingin,  $q = m_c \cdot (H_{cb} - H_{ca})$

dimana,  $m_c, m_h$  = Laju alir massa fluida dingin, fluida panas

$H_{ca}, H_{ha}$  = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida panas saat masuk penukar panas.

$H_{cb}, H_{hb}$  = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida panas saat keluar penukar panas.

$q_c, q_h$  = laju perpindahan panas fluida dingin, panas.

Tanda  $q_c$  adalah positif ( + ), tetapi tanda  $q_h$  negatif ( - ). Hal itu dibuat karena fluida panas melepas kalor, dan panas yang dilepaskan diambil fluida dingin, sehingga persamaan menjadi :

$$q_c = - q_h$$

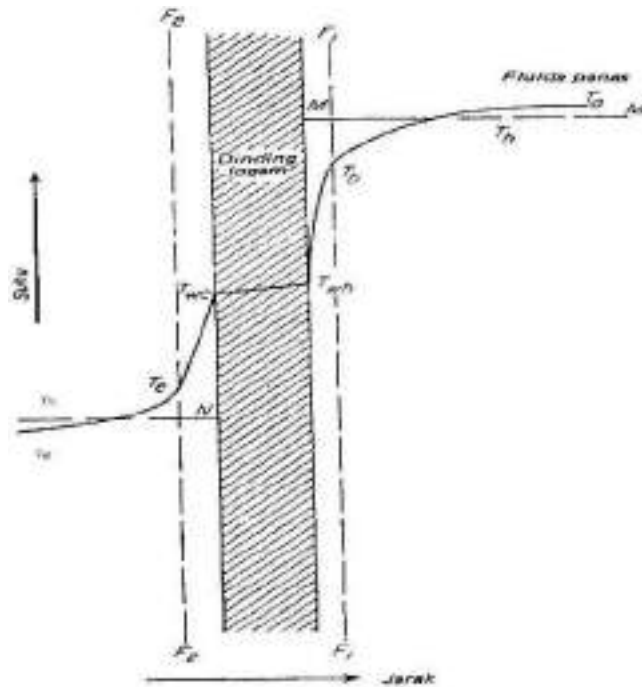
$$m_h \cdot (H_{ha} - H_{hb}) = m_c \cdot (H_{cb} - H_{ca})$$

dan jika kalor spesifik (  $c_p$  ) dianggap konstan, neraca enthalphi dapat dituliskan :

$$m_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{ha} - T_{hb}) = m_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{cb} - T_{ca}) \dots\dots\dots ( 2.9 )$$

## 2.6.2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

Profil gradient temperatur perpindahan panas yang terjadi pada suatu dinding ( logam ) antara fluida panas pada satu sisi dan fluida dingin pada sisi lain dengan pengaliran konveksi paksa. Pada gambar 2-10 memperlihatkan penurunan temperature secara bertahap yang terdiri dari konveksi ( pada fluida panas ), konduksi ( pada logam ) dan konveksi pada fluida dingin. Dengan persamaan Fourier tentang konduksi dan persamaan Newton tentang pendinginan ( konveksi), maka panas yang dipindahkan dapat dibedakan, antara lain :



Gambar 2.10 Gradien suhu pada konveksi paksa

1. Konveksi pada fluida panas,
 
$$dq = -h A dT$$

$$dq = -h A (T_{wh} - T_h)$$

$$dq = h A (T_h - T_{wh})$$

$$dq = h_1 A_1 (T_h - T_{wh})$$

$$(T_h - T_{wh}) = dq \cdot (1 / (h_1 dA_1))$$
2. Konduksi pada dinding logam,
 
$$dq = -k A_{Lmtd} dT / \Delta x$$

$$dq = -k A (T_{wc} - T_{wh}) / \Delta x$$

$$dq = k A_{Lmtd} (T_{wh} - T_{wc}) / \Delta x$$

$$(T_{wh} - T_{wc}) = dq (\Delta x / (k dA_{Lmtd}))$$
3. Konveksi pada fluida dingin,
 
$$dq = h_2 A_2 (T_{wc} - T_c)$$

$$(T_{wc} - T_c) = dq (1 / (h_2 dA_2))$$

Dari penggabungan di atas didapat persamaan :

$$(T_h - T_{wh}) = dq (1 / h_1 dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2)$$

Karena  $dq = U A \Delta T$  atau  $dq = U A (T_h - T_c)$  , dari ( persamaan 2.7 )

atau  $(T_h - T_c) = dq/dAU = dq (1 / h_1 dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2)$

$$\text{Maka } \frac{1}{dA \cdot U} = \left[ \frac{1}{h_1 \cdot dA_1} + \frac{\Delta x}{k \cdot dA_{LMTD}} + \frac{1}{h_2 \cdot dA_2} \right] \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan di atas (2.10) dengan assumpsi tidak ada kerak atau kotoran pada salah satu atau kedua permukaan tabung penukar panas. Namun jika kerak atau kotoran diperhitungkan sebagai penambah tahanan terhadap aliran panas yang mempengaruhi nilai U, maka pers. (2.10) menjadi:

$$(T_h - T_c) = dq/dAU = dq (1 / h_1 dA_1 + 1 / h_{d1} dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2 +$$

$$1 / h_{d2} dA_2)$$

$$\text{Maka } \frac{1}{dA \cdot U} = \left\{ \frac{1}{h_1 \cdot dA_1} + \frac{1}{h_{d1} \cdot dA_1} + \frac{\Delta x}{k \cdot dA_{LMTD}} + \frac{1}{h_2 \cdot dA_2} + \frac{1}{h_{d2} \cdot dA_2} \right\}$$

### 3. CARA KERJA

#### Percobaan I

1. Hidupkan pemanas 600W, siapkan 500 gram air dan thermometer dalam gelas beker, tuangkan sedikit zat warna (potassium permanganat). Catat suhu awal air sebelum dipanaskan, hidupkan stop watch ketika air mulai dipanaskan. Amati apa yang terjadi sejak air dipanaskan sampai mendidih. Catat waktu yang diperlukan hingga air mulai mendidih ( $100^{\circ}\text{C}$ )
2. Matikan pemanas setelah air mendidih, timbang kembali untuk mengetahui banyaknya air yang menguap

#### Percobaan II

Langkah-langkah dalam melakukan percobaan adalah sebagai berikut:

1. Memastikan semua alat-alat percobaan dalam kondisi baik.
2. Memastikan semua sistem perpipaan serta kerangan ( jalur ) telah siap untuk dioperasikan.
3. Start pompa air dingin dan pompa air panas untuk sirkulasi ke masing-masing tangki penampungan.
4. Melakukan kalibrasi laju air untuk masing-masing sistem aliran ( air dingin dan air panas ).

5. Melakukan pengambilan data untuk aliran searah (**Co-Current**) dan berlawanan arah (**Counter-Current**) dengan cara mencatat temperatur masuk dan keluar HE pada masing-masing sistem aliran (air dingin dan air panas).

#### **4. ALAT DAN BAHAN PERCOBAAN**

##### **4.1. Alat Bantu**

1. Thermometer
2. Gelas beaker berisi air 500 ml
3. Rangkaian *Plate and Frame Heat Exchanger*
4. Stop Watch

##### **4.2. Bahan Percobaan**

1. Sedikit zat warna di atas pemanas listrik 600 W
2. Air, sebagai fluida panas dan dingin (fluida dingin dialirkan sekali lewat)

#### **5. GAMBAR ALAT (Terlampir)**

#### **6. HASIL PERCOBAAN**

1. Dari neraca panas dapat diperoleh panas hilang ke lingkungan.
2. Grafik-Grafik:
  - 2.1. Grafik kalibrasi aliran fluida panas dan fluida dingin
  - 2.2. Grafik  $T$  Vs  $x$ , panjang plate
  - 2.3.  $Q$  (m,H) Vs  $T$ , untuk masing-masing tipe aliran . Dalam satu grafik ada dua kurva (Hot dan Cold)
  - 2.4. Harga  $U$  (Koefisien perpindahan panas keseluruhan) Heat Exchanger yang dipakai.

#### **7. PEMBAHASAN (terlampir)**

#### **8. PENUGASAN**

1. Pengubahan laju alir, baik aliran panas maupun aliran dingin.
2. Pengubahan temperatur masukan aliran panas maupun aliran dingin
3. Pengubahan arah aliran berlawanan arah atau aliran searah.

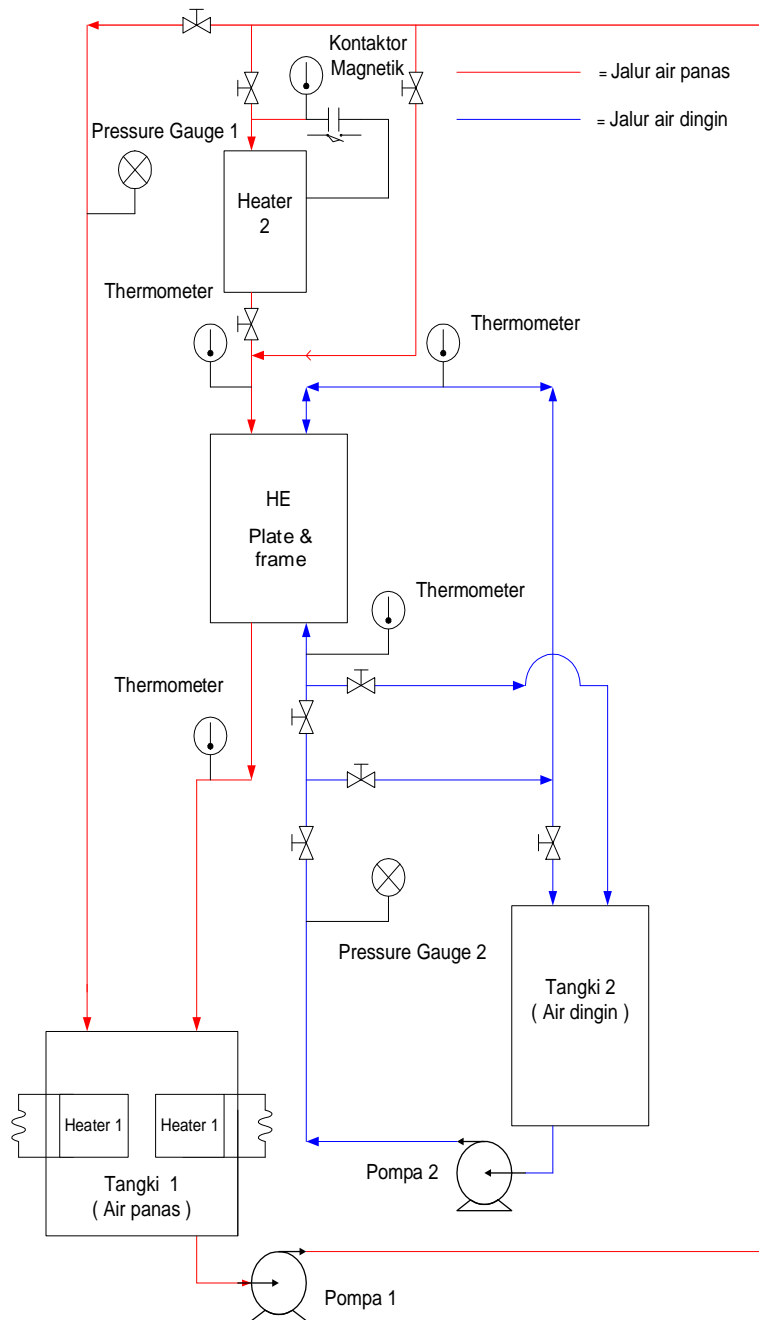
Keragaman tersebut dapat diarahkan untuk mempelajari kelakuan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ).

#### **9. DAFTAR PUSTAKA**

1. Artono Koestoer, Raldi .”Perpindahan Kalor”. Salemba Teknika. Jakarta 2002
2. Holman, JP. Alih bahasa E.Jasifi. “Perpindahan Kalor”. Penerbit Erlangga.Jakarta.1995

3. MC. Cabe, W.L, Smith, JC, Harriot, P, “ Unit Operation of Chemical Engineering”, 4th ed, Mc.Graw-Hill, New York, 1985, Chapter 11, 12, 15
4. Kern, DQ, “Process Heat Transfer”, Mc.Graw-Hill, New York, 1965
5. Kays, W.M. and London, A.L, “Compact Heat Exchanger”, 2 nd Edition McGraw-Hill, New York, 1964
6. Modul Praaktikum Laboratorium Teknik Kimia ITB
7. Modul Praktikum Laboratorium Teknik Kimia Bung Hatta Padang

**Diagram rangkain alat percobaan tampak seperti gambar di bawah ini :**



**Diagram rangkaian peralatan percobaan**

## Modul – 1.06

**SEDIMENTASI**

**I. Tujuan Praktikum :** Mahasiswa dapat memahami tentang proses pemisahan zat padat-cair atau yang disebut dengan **suspensi non-koloidal**, berdasarkan pada pemanfaatan gaya gravitasi.

**II. Alat dan Bahan :**

**2.1. Rangkaian alat sedimentasi yang terdiri dari :**

- Tangki umpan (*Homogenizing tank*) .
- Tangki rerata (*Equalizing tank*) .
- Tangki pengendap (*Settling tank*) .

**2.2. Alat pendukung, terdiri dari :**

- Peralatan yang berguna menganalisis kesadahan .
- Piknometer .

**2.3. Bahan :**

- Powder ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) .
- Air .

**III. Deskripsi Peralatan :**

**3.1. Homogenizing Tank**

Yaitu: tangki yang berpengaduk yang berguna untuk menyeragamkan konsentrasi larutan.

**3.2. Equalization Tank**

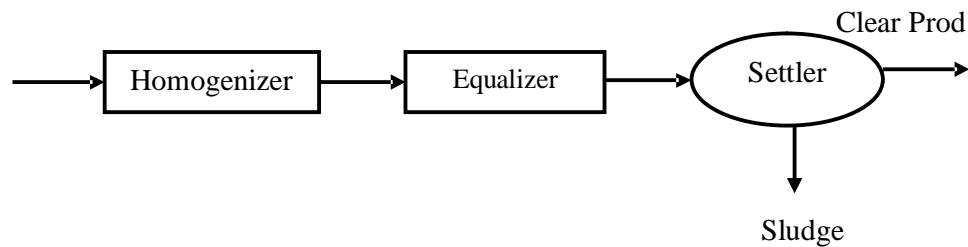
Yaitu: tangki yang berpenyekat yang berguna untuk meratakan debit umpan setiap saat.

**3.3. Settling Tank**

Yaitu : tangki pengendap yang berupa *circular tank conical*.

Gambar peralatan dapat dilihat pada gambar 1.





**Gambar 1. Rangkaian alat sedimentasi**

#### **IV. Dasar teori :**

**Sedimentasi** adalah suatu proses yang bertujuan untuk memisahkan /mengendapkan zat-zat padat atau tersuspensi non koloidal dalam air.

Pengendapan dapat dilakukan dengan memanfaatkan gaya gravitasi.

Cara yang sederhana adalah dengan membiarkan padatan mengendap dengan sendirinya. Setelah partikel – partikel mengendap maka air yang jernih dapat dipisahkan dari padatan yang semula tersuspensi di dalamnya. Cara lain yang lebih cepat dengan melewati air pada sebuah bak dengan kecepatan tertentu sehingga padatan terpisah dari aliran air tersebut dan jatuh ke dalam bak pengendap.

Kecepatan pengendapan partikel yang terdapat di air tergantung pada berat jenis, bentuk dan ukuran partikel, viskositas air dan kecepatan aliran dalam bak pengendap.

Pada dasarnya terdapat dua jenis alat sedimentasi yaitu jenis rectangular dan jenis circular. Proses sedimentasi dapat dikelompokkan dalam tiga klasifikasi, bergantung dari sifat padatan di dalam suspensi:

##### **1. Discrete (*free settling*)**

Kecepatan pengendapan dari partikel-partikel discrete adalah dipengaruhi oleh gravitasi dan gaya geser yang didefinisikan sebagai:

$$V_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho_l)D}{(3C_D \rho_l)}} \dots\dots\dots(1)$$

## 2. Flocculent

Kecepatan pengadukan dari partikel-partikel meningkat, dengan setelah adanya penggabungan diantaranya.

## 3. Hindered/Zone settling

Kecepatan pengendapan dari partikel-partikel di dalam suspensi dengan konsentrasi padatan melebihi 500 mg/l.

### Sedimentasi Kontinu

Pada proses sedimentasi kontinu waktu detensi ( $t$ ) adalah sebesar volume basin ( $v$ ) dibagi dengan laju alir ( $Q$ ).

$$t = \frac{v}{Q} \dots\dots\dots(2)$$

*Overflow rate* ( $V_o$ ) menggambarkan besarnya kecepatan pengendapan adalah fungsi dari laju alir ( $Q$ ) dibagi dengan luas permukaan basin ( $A_p$ ).

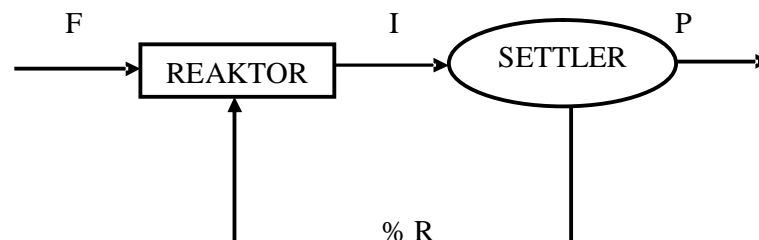
$$V_o = \frac{Q}{A_p} \dots\dots\dots(3)$$

Laju linier ( $V$ ) menggambarkan besarnya kecepatan horizontal adalah fungsi dari laju alir ( $Q$ ) dibagi dengan luas area tegak lurus aliran.

$$V = \frac{Q}{2\pi rH} \dots\dots\dots(4)$$

Ketinggian tangki sedimentasi ( $H$ ) adalah

$$H = v_o t \dots\dots\dots(5)$$



**Gambar 1. Bagan Percobaan Sedimentasi Kontinue**

### Sedimentasi Batch

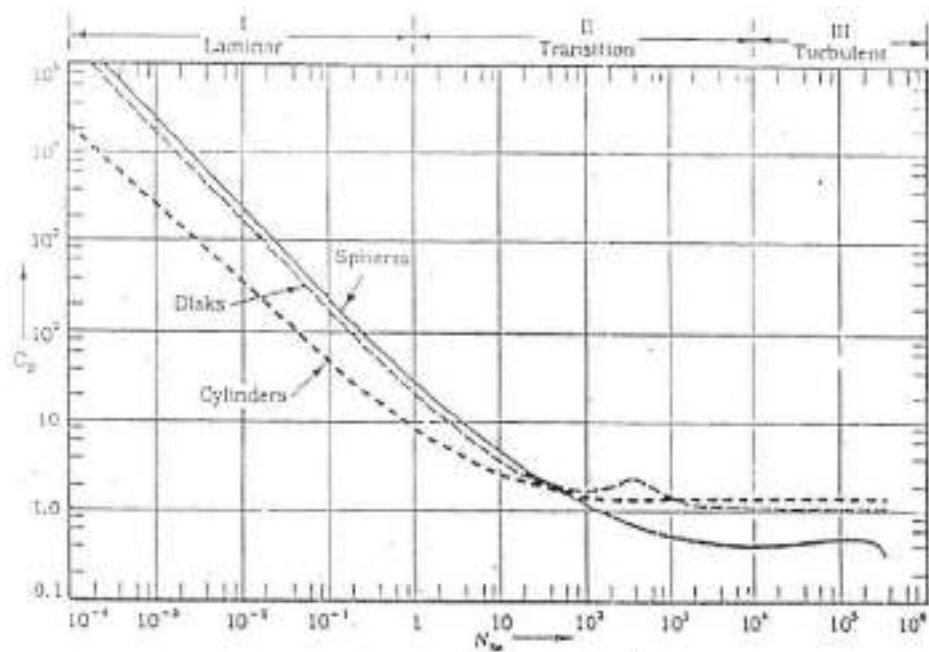
Besarnya nilai koefisien Drag ( $C_D$ ) bergantung pada pola aliran sekitar partikel, apakah laminar atau turbulen. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai  $C_D$  sebagai fungsi dari nilai bilangan Reynolds ( $N_{Re}$ ).

$$N_{Re} = \frac{V_s d}{\nu} = \frac{V_s d \rho}{\mu} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Aliran laminar } (N_{Re} < 1) \quad ; \quad C_D = \frac{24}{N_{Re}}$$

$$\text{Aliran Transien } (1 < N_{Re} < 10^4) \quad ; \quad C_D = \frac{24}{N_{Re}} + 3\sqrt{N_{Re}} + 0,34$$

$$\text{Aliran Turbulen } (N_{Re} > 10^4) \quad ; \quad C_D = 0,4$$



**V. Prosedur Percobaan:**

Persiapkan bahan dan peralatan yang akan digunakan sebagaimana mestinya, pastikan semua peralatan berfungsi dengan baik, ukur jumlah umpan berdasarkan *density* atau kesalahannya.

**5.1. Pelaksanaan Percobaan:**

- 5.1.1. Buatlah kurva kalibrasi hubungan antara bukaan *valve* terhadap debit.
- 5.1.2. Alirkan umpan dari *homogenizing tank* ke dalam *equalizing tank*.
- 5.1.3. Pastikan *overflow* dalam dalam *equalizing tank* sudah stabil.
- 5.1.4. Alirkan umpan ke dalam *settler* dengan debit tertentu.
- 5.1.5. Ukur *density* / *hardness clear product*.
- 5.1.6. Ukur volume *settler*.

**5.2. Pengolahan data**

- 5.2.1. Buatlah kurva hubungan antara % efisiensi penyisihan terhadap debit umpan.
- 5.2.2. Ukur waktu deteksi.

**Tugas Pendahuluan**

1. Turunkan persamaan laju pengendapan ( $V_s$ ).
2. Tuliskan persamaan laju pengendapan ( $V_s$ ) sebagai fungsi dari bilangan Reynolds ( $N_{re}$ ).