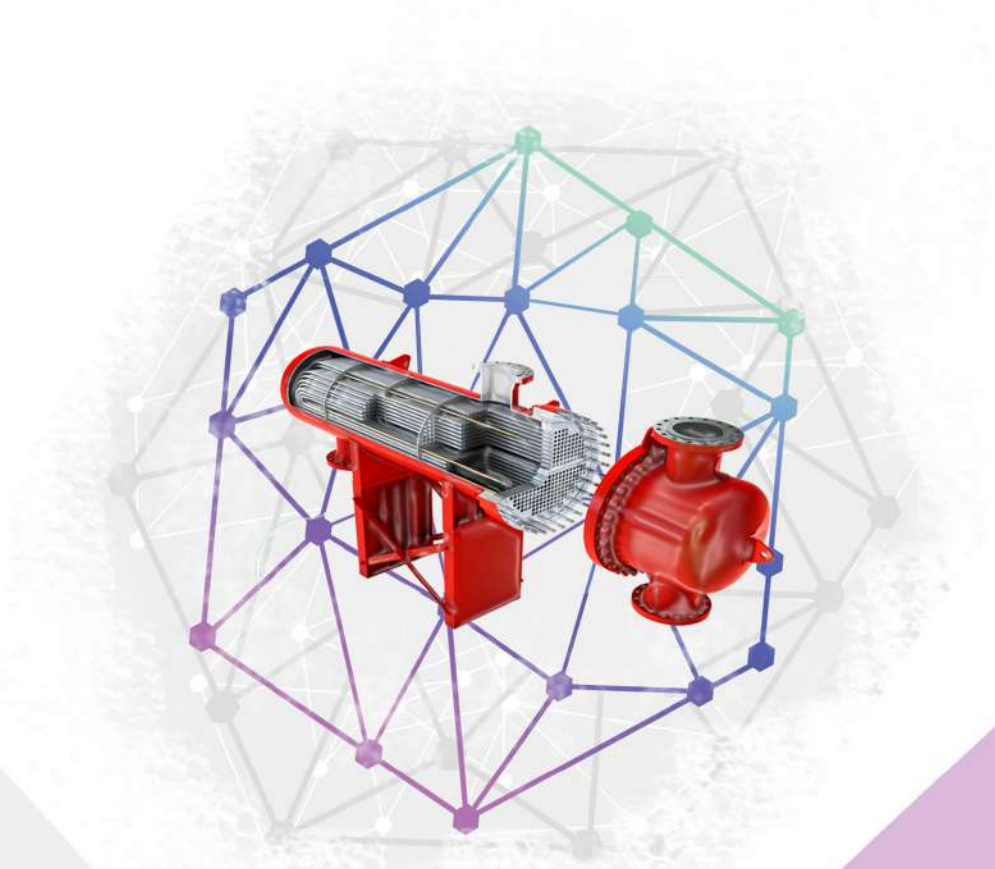
Institut Teknologi Indonesia

PENUNTUN PRAKTIKUM TEKNIK KIMIA I



TIM PENYUSUN

Dr. Ir. Kudrat Sunandar, M.T
Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc
Dr. ir. Sri Handayani, M.T
Dr. Ir. Enjarlis, M.T
Dra. Lin Marlina, M.Si
Adam Malik, S.T

Laboratorium
PROGRAM STUDI
TEKNIK KIMIA

PENUNTUN

PRAKTIKUM TEKNIK KIMIA I

TIM PENYUSUN :

1. **Dr. Ir. Kudrat Sunandar, M.T**
2. **Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc**
3. **Dr. Ir. Sri Handayani, M.T**
4. **Dr. Ir. Enjarlis, M.T**
5. **Dra. Lin Marlina, M.Si**
6. **Adam Malik, S.T**

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

TANGERANG SELATAN

2018

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala Puji Hanya untuk Allah SWT Tuhan Yang Maha Berilmu, karena atas berkat dan rahmat-Nya kami dapat menyelesaikan Diktat **Penuntun Praktikum Teknik Kimia I** ini dengan baik. Diharapkan dengan adanya diktat ini, Mahasiswa mendapatkan panduan dalam Praktikum Teknik Kimia I pada Program Studi Teknik Kimia – Institut Teknologi Indonesia.

Materi yang ditulis dalam diktat ini berisi sebanyak lima modul praktikum. Di dalamnya berisi tentang pemahaman dan konsep dasar unit proses teknik kimia. Isi buku ini disusun mulai dari tujuan praktikum, teori penunjang/dasar teori, percobaan yang akan dikerjakan, serta matriks percobaan untuk memudahkan mahasiswa menuliskan hasil pengamatan. Dengan mengacu pada diktat praktikum ini Mahasiswa diharapkan dapat memahami dan mengerti akan konsep dasar serta logika dalam unit proses teknik kimia dasar. Yang diharapkan nantinya bisa menjadi bekal untuk menjadi seorang sarjana teknik kimia yang handal dimasa mendatang.

Kami menyadari bahwa diktat ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat kami harapkan untuk semakin menyempurnakannya pada kesempatan mendatang. Terima Kasih.

Tangerang Selatan, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
TATA TERTIB PRAKTIKUM LABORATORIUM TEKNIK KIMIA I iii
MODUL 1. MIXING 1
MODUL 2. HEAT EXCHANGER 5
MODUL 3. ION EXCHANGE 17
MODUL 4. SEDIMENTASI 25
MODUL 5. SIRKUIT FLUIDA 29
DAFTAR PUSTAKA 42

TATA TERTIB PRAKTIKUM LABORATORIUM TEKNIK KIMIA I

1. PRAKTIKAN

a. Hanya mahasiswa yang telah memenuhi syarat-syarat (baik syarat akademik maupun syarat administratif) yang dapat mengikuti praktikum.

b. Hanya praktikan yang telah menyelesaikan semua kewajiban dilaboratorium (termasuk pengembalian/penggantian alat-alat yang rusak) untuk mendapatkan nilai evaluasi hasil praktikum.

c. Setiap praktikan diwajibkan memiliki buku harian (*log book*) laboratorium untuk mencatat hasil dan segala hal yang berhubungan dengan praktikum.

d. Setiap praktikan diwajibkan membawa tissue dan lap.

2. PRAKTIKUM

a. Sebelum melakukan percobaan semua hal yang berhubungan dengan teori, alat-alat, bahan dan pelaksanaan praktikum harus dipahami benar-benar.

b. Pengarahan dan test awal dilaksanakan sebelum praktikum oleh dosen penanggung jawab modul (teori) dan pada hari praktikum oleh asisten (lisan tentang cara kerja). Praktikan harus membuat laporan awal yang berisi pendahuluan sampai dengan matrik data percobaan.

c. Data yang diperoleh dari hasil percobaan perlu dicatat pada laporan awal oleh masing masing praktikan dan harus ditandatangani oleh asisten.

d. Selama praktikum dilaksanakan, aturan-aturan yang ada harus diperhatikan dan ditaati, antara lain :

- Dilarang makan, merokok dan menggunakan HP selama praktikum di dalam laboratorium.
- Diwajibkan menggunakan perlengkapan khusus sesuai dengan keperluannya (misalnya : sepatu tertutup, jaslab, masker dan sarung tangan).
- Melaporkan segala hal / kejadian di laboratorium yang cenderung membahayakan secepat mungkin kepada asisten , staf laboran yang terdekat.

- Melaporkan segala kerusakan / ketidakberesan di labotarorium terutama yang berkaitan dengan sarana pendukung (air, listrik dll) kepada asisten / staf laboran.
- Tidak diperbolehkan meninggalkan laboratorium tanpa ijin dsari asisten.

e. Waktu Praktikum adalah : Senin, Rabu dan Kamis, jam 12.30 – 16.00, dianjurkan praktikan hadir 15 menit sebelum praktikum dimulai. Keterlambatan hanya diberi toleransi selama 15 menit dengan alasan yang dapat dipertanggungjawabkan.

f. Setelah selesai praktikum, praktikan diwajibkan :
- Membersihkan alat-alat yang dipakai praktikum
- Membersihkan meja-meja
- Merapikan kursi-kursi
- Mematikan semua sarana pendukung yang digunakan (misalnya : mematikan kran, mematikan aliran listrik dll).

g. Sisipan diberikan 1 (satu) kali hanya bagi mahasiswa yang sakit atau halangan lain yang diijinkan dengan terlebih dahulu memberitahunkan secara tertulis.

h. Setiap kejadian pelanggaran selama praktikum akan dicatat pada buku pelanggaran. Pelanggaran pertama dan kedua akan mengurangi penilaian sedangkan pelanggaran ke 3 akan dikenai sangsi tidak diperbolehkan melanjutkan praktikum dan diberi nilai E untuk praktikum tersebut.

3. ALAT DAN BAHAN

a. Peminjamam alat dan bahan dilakukan oleh praktikan , dengan menggunakan bon peminjaman yang ditandatangani oleh asisten.

b. Dalam bon peminjaman alat/permintaan bahan harus dicantumkan jumlah serta spesifikasi alat/bahan yang diminta.

c. Semua alat (baik instrument ataupun barang gelas) yang dipinjam menjadi tanggungjawab praktikan yang bersangkutan, dan harus dikembalikan dalam keadaan bersih dan baik. Dalam hal barang gelas yang dikembalikan telah kotor sehingga tidak dapat dibersihkan lagi dianggap sebagai alat rusak dan harus diganti sesuai dengan aturan penggantian alat.

d. Dalam hal alat yang dipinjam merupakan satu set lengkap, harus kembali dalam keadaan satu set lengkap pula.

e. Dalam hal menggunakan alat yang telah tersedia di laboratorium seperti timbangan, oven harus sesuai dengan petunjuk pemakaian masing-masing serta seizin asisten/petugas yang bertanggung jawab terhadap alat tersebut.

f. Semua alat yang dipinjam tidak boleh dipindah tangankan.

g. Pengambilan bahan-bahan kimia harus menggunakan alat-alat yang bersih. Bahan kimia yang rusak karena kelalaian dalam pemakaian, dianggap rusak dan harus diganti.

h. Penyelesaian peminjaman/penggantian alat/bahan harus diselesaikan pada praktikum terakhir.

4. LAPORAN.

a. Setiap praktikum harus dilaporkan dalam jenis laporan, format sesuai dengan yang telah ditentukan.

b. Laporan awal dibawa pada saat akan mulai praktikum

c. Laporan akhir dikumpulkan pada :

- Praktikum Kimia Analitik selama 2 hari setelah praktikum.
- Praktikum Kimia Fisika selama 2 hari setelah praktikum.
- Praktikum Kimia Organik selama 3 hari setelah praktikum.
- Praktikum Teknik Kimia I selama 4 hari setelah praktikum
- Praktikum Teknik Kimia II selama 4 hari setelah praktikum

d. Waktu pengumpulan laporan dari jam 09.00 s.d 14.00 WIB

e. Bagi yang tidak mengumpulkan laporan tidak boleh mengikuti praktikum selanjutnya.

f. Setiap kali praktikum dan mengumpulkan laporan, kartu praktikum harus ditandatangani oleh asisten yang membimbing praktikum dan penerima laporan (dalam hal ini staf laboratorium)

5. LAIN-LAIN

a. Hal-hal lain yang belum diatur dalam aturan ini akan diatur kemudian.

b. Segala perubahan atau perbaikan terhadap isi peraturan ini hanya dapat dilakukan dengan persetujuan Ka.Lab. Teknik Kimia.

MODUL 1. MIXING

1. Tujuan :

- Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pengadukan.

2. Teori :

2.1 Pengadukan

Pengadukan merupakan suatu operasi yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi ketidaksamaan komposisi, suhu atau sifat lain yang terdapat dalam suatu bahan. Selain itu pencampuran juga digunakan untuk berbagai ragam operasi, dimana derajat homogenitas bahan yang bercampur itu sangat berbeda-beda. Pengadukan dapat terjadi karena adanya gerakan dari bahan tersebut.

Agar bahan tersebut dapat bergerak diperlukan suatu pengadukan dimana pengadukan tersebut akan memberikan suatu gerakan tertentu pada suatu bahan di dalam bejana. Pemilihan pengaduk sangat ditentukan oleh jenis pencampuran yang diinginkan serta keadaan bahan yang akan dicampur.

Pengadukan zat cair dilakukan untuk berbagai tujuan, antara lain :

a. Membuat suspense partikel zat padat
b. Untuk meramu zat cair yang mampu campur(*miscible*), sebagai contoh metilalkohol dengan air
c. Untuk mendispersikan (menyebarkan) gas dalam zat cair dalam bentuk gelembung – gelembung kecil

2.2 Alat Pengadukan

Zat cair biasanya diaduk di dalam suatu tangki atau bejana, biasanya yang berbentuk silinder dengan sumbu terpasang vertikal. Didalam tangki itu dipasang *impeller* pada ujung poros yang ditumpu dari atas dan digerakkan oleh motor.Tangki itu biasanya dilengkapi dengan lubang masuk dan lubang keluar, kumparan kalor, mantel dan sumur untuk menempatkan thermometer atau piranti pengukuran suhu lainnya. *Impeller* itu akan membangkitkan pola aliran didalam sistem, yang menyebabkan zat cair tersirkulasi didalam bejana dan akhirnya kembali ke *impeller*.

Menurut bentuknya *impeller* terbagi tiga, yaitu :

1. *Propeller* (baling – baling)
2. *Paddle* (dayung)
3. *Turbin*.

2.3 Waktu Pencampuran

Waktu pencampuran adalah waktu yang dibutuhkan fluida untuk bercampur merata keseluruh tangki sehingga campuran besifat homogen. Waktu pencampuran dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

a. Ada tidaknya *buffle*
b. Bentuk pengaduk
c. Kecepatan putar
d. Ukuran pengaduk
e. Posisi pengaduk
   - *Centrally* dan vertical
   - *Off-centre* dan vertical
   - Miring terhadap sumbu vertical
   - Horizontal pada sisi tangki dan membentuk sudut terhadap diameter tangki.
f. Jumlah daun pengaduk
g. Jumlah pengaduk dalam suatu proses
h. Karakteristik campuran
   - Densitas
   - Viskositas
   - *Miscible* atau *inmiscible*
i. Perbandingan cairan dan diameter tangki
j. Bilangan tak berdimensi

2.3.1 **Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengadukan**

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pengadukan, yaitu:

a. Aliran, aliran laminar atau turbulen mempengaruhi proses pengadukan dari segi homogenitas larutan.
b. Ukuran partikel/luas permukaan, semakin luas permukaan kontak bahan-bahan yang harus dicampur,yang berarti semakin kecil partikel dan semakin mudah gerakannya di dalam campuran, maka proses pencampuran semakin baik.
c. Kelarutan, semakin besar kelarutan bahan-bahan yang akan dicampur satu terhadap lainnya, semakin baik pencampurannya.

Pencampuran cairan dengan cairan digunakan untuk mempersiapkan atau melangsungkan proses-proses kimia dan fisika serta juga untuk membuat produk akhir yang komersial.Tangki atau bejana biasanya berbentuk silinder dengan sumbu terpasang vertikal, bagian atas bejana itu bisa terbuka saja keudara atau dapat pula tertutup. Ujung bawah tangki itu biasanya agak membulat, jadi tidak datar saja, maksudnya agar tidak terdapat terlalu banyak sudut-sudut tajam atau daerah yang sulit ditembus arus zat cair.

Kedalaman zat cair biasanya hamper sama dengan diameter tangki. Di dalam tangki itu dipasang pengaduk (*impeller*) pada ujung poros menggantung, artinya poros itu ditumpu 5 dari atas. Poros itu digerakkan oleh motor, yang kadang-kadangdihubungkan langsung dengan poros itu, namun biasanya dihubungkan melalui peti roda gigi untuk menurunkan kecepatannya.

3 Alat dan Bahan :

Alat :
1. Alat *mixing*
2. *Beaker glass*
3. Viskometer Oswald
4. Piknometer
5. Neraca/timbangan

Bahan :
1. Akuades
2. Zat cair A

4. Variabel dan Parameter :

Variabel

- Kecepatan pengadukan
- Konsentrasi zat cair A
- Jenis impeller
- Suhu

Parameter :

- Viskositas
- Densitas

5. Cara Kerja :

a. Dipasang alat *mixing*
b. Diukur viskositas dan densitas awal bahan
c. Dimasukan bahan ke alat *mixing*
d. Diatur kecepatan putaran pengaduk (disesuaikan dengan variable)
e. Diukur kembali viskositas dan densitasnya setiap 10 detik selama 60 menit

6. Matriks percobaan

t (detik)	Densitas campuran	Viskositas (μ)		
		t1	t2	tavg

MODUL 2. HEAT EXCHANGER

1. Tujuan

1.1. Mempelajari prinsip kerja *heat exchanger shell and tube.*

1.2. Menentukan pengaruh jenis aliran terhadap :

a. Efisiensi transfer panas

b. Harga koefisien perpindahan panas *overall* (U)

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Transfer Panas

Ka1or mengalir dengan sendirinya dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah. Pemberian atau pengurangan panas tidak hanya mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat dari bagian lain ke benda atau tempat lain. Peristiwa ini disebut perindahan panas.

Kalor dapat terdistribusi dengan tiga macam cara yaitu:

a. Radiasi

b. Konduksi

c. Konveksi

2.1.1. Radiasi

Radiasi adalah pemindahan panas atas dasar gelombang-gelombang elektromagnetik. Misalnya tubuh manusia akan mendapat panas pancaran dari setiap permukaan dari suhu yang lebih tinggi. Apabila sejumlah energi kalor mengenai suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan terus keluar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi dilibatkan juga kondisi fisik permukaan. Laju perpindahan panas secara radiasi dinyatakan sebagai berikut :

$$q = \delta A (T_1^4 - T_2^4)$$

Keterangan :

δ = Konstanta Stefan-Boltzman 5,669 x10^{-8} (w/m^2 k^4)

A = Luas penampang (m^2)

T = Temperatur (K)

2.1.2. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas berdasarkan gerakan fluida. Perpindahan kalor dengan jalan konveksi dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk perpindahan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada konveksi, massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus dibawa ke suhu yang sama tinggi. Bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil daripada bagian massa yang suhunya lebih dingin. Hal ini karena terjadinya sirkulasi sehingga kalor akhimya tersebar pada seluruh zat. Laju perpindahan panas secara konveksi dinyatakan sebagai berikut :

$$q = h\,A\,(\Delta T)$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan panas (w)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

ΔT = Perubahan atau perbedaan suhu (^0C)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (w/m^oC)

2.1.3. Konduksi

Konduksi adalah proses transport panas secara perambatan melalui satu medium atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Setiap benda memiliki nilai konduktivitas termal (kemampuan mengalirkan panas) tertentu yang akan mempengaruhi panas yang akan dihantar.

Perpindahan panas secara konduksi dinyatakan sebagai berikut :

[redacted]

Keterangan :

Q = Laju perpindahan panas (w)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

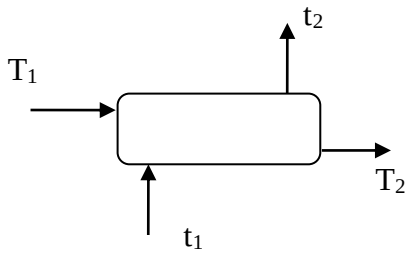
dT/dx = Gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu (T) terhadap jarak perpimdahan panas

k = Konduktivitas thermal bahan (w/m^{o}C)

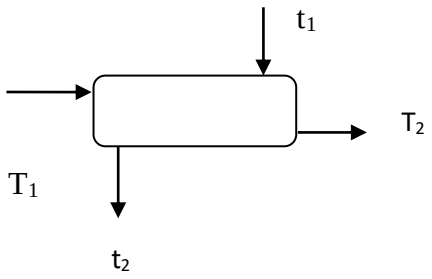
2.2. Alat Penukar Panas

Pada dasarnya, alat penukar panas merupakan alat yang difungsikan untuk mengakomodasikan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dengan adanya perbedaan temperatur. Contoh-contoh alat penukar panas di industri yaitu boiler, reboiler, *cooler*, *heater*, evaporator, kondensor, dll. Jenis-jenis alat penukar panas yaitu *heater, cooler,* dan *heat exchanger.* Tipe *heat exchanger* yaitu *double pipe, shell and tube, dan plate and frame.* Namun yang sering digunakan dalam industri adalah *shell and tube.* Dalam proses perpindahan panas menggunakan alat penukar panas terdapat 2 jenis aliran, yaitu :

a. Aliran searah (*co current),* dapat digambarkan sebagai berikut :



b. Aliran berlawanan (*counter current),* dapat digambarkan sebagai berikut :



Untuk menghitung hubungan antara kalor, koefisien transfer panas, dan perubahan temperatur dalam alat penukar panas digunakan persamaan

q = Ud x A x LMTD

Keterangan :

q = laju perpindahan panas

Ud = koefisien transfer panas *overall* setelah terjadi pengotoran

A = luas permukaan transfer panas

LMTD = perbedaan temperatur rata – rata antara aliran fluida (panas dan dingin).

Untuk menghitung LMTD dipengaruhi oleh arah aliran, sehingga :

a. *co current*

$$LMTD = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{ln\frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

dimana : $\Delta T1 = T1 - t1$

$\Delta T2 = T2 - t2$

b. *counter current*

$$LMTD = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{ln\frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

dimana $\Delta T1 = T1 - t2$

$\Delta T2 = T2 - t1$

Keterangan :

T1 = suhu fluida panas masuk

T2 = suhu fluida panas keluar

t1 = suhu fluida dingin masuk

t2 = suhu fluida dingin keluar

2.1.1. Tipe-tipe alat penukar panas

2.1.1.1. *Double Pipe*

Alat penukar panas *double pipe* terdiri dari dua pipa logam standart yang pada kedua 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.

Gambar 2.1 *Double pipe heat exchanger*

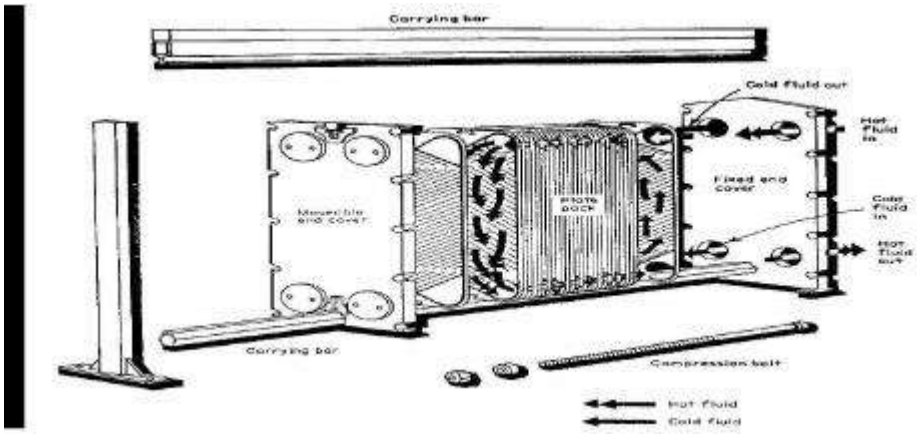
2.1.1.2. *Shell and Tube*

Alat penukar panas *shell and tube* terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara paralel 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.

Gambar 2.2 *Shell and tube heat exchanger*

2.1.1.3. *Plate and Frame*

Alat penukar panas *plate and frame* terdiri dari satu paket pelat tegak lurus, bergelombang, atau profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak (biasanya dari karet). Pelat–pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat pengekang pada setiap sudut pelat (kebanyakan segi empat) dan terdapat lubang pengalir fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan fluida yanglain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat.



Gambar 2.3 *plate and frame heat exchanger*

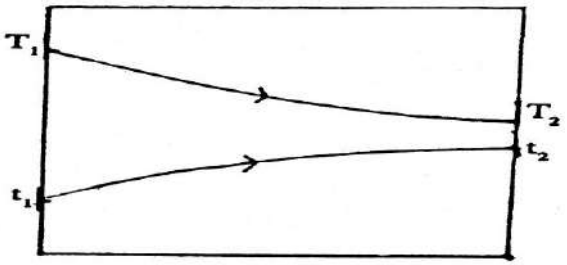
2.3.Aplikasi alat penukar panas

- *Chiller* = alat untuk mendinginkan suatu fluida sampai dibawah suhu air pendingin. Fluida pendingin yang digunakan adalah *refrigerant* seperti nitrogen cair, freon, dll.
- Condenser = alat untuk mengkondensasi (mencairkan) suatu uap/gas. Biasanya pada kondensor panas yang terlibat bisa hanya panas laten, maupun panas laten dan sensibel.
- Cooler = Mendinginkan suatu fluida hingga mencapai suhu tertentu. Panas yang terlibat biasanya hanya panas sensibel.

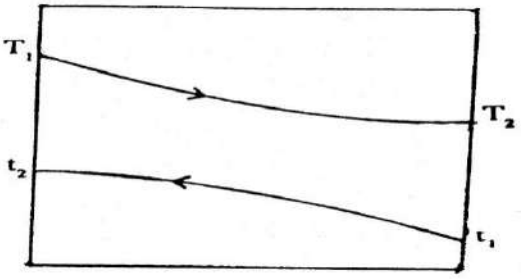
- Heater = Memanaskan suatu fluida hingga mencapai suhu tertentu. Panas yang terlibat biasanya panas sensibel.
- Reboiler = merupakan bagian dari menara destilasi, diman berfungsi untuk mendidihkan kembali fluida yang berada dalam kolom bawah destilasi.
- Boiler = berfungsi untuk menghasilkan steam.
- Vaporizer = berfungsi untuk mengubah fasa suatu fluida menjadi uap. Panas yang terlibat biasanya bisa hanya panas laten, maupun panas sensibel dan panas laten
- Evaporator = berfungsi untuk memekatkan suatu larutan dengan cara menguapkan pelarutnya.

2.4. Distribusi suhu pada alat penukar panas.

Distribusi suhu tanpa terjadinya perubahan fasa (misalnya pada *heater/cooler)* dapat dijelaskan melalui kurva sebagai berikut :



Gambar 2.4. Distribusi suhu untuk aliran co-current.



Gambar 2.5. Distribusi suhu untuk aliran counter-current.

keterngan = t = suhu fluida dingin

T = suhu fluida panas

2.5.Koefisien Transfer Panas Overall.

Menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi. Terbagi menjadi 2 yaitu *clean overall coefficient* (Uc) dan *dirty overall coefficient* (Ud).

Uc adalah koefisien transfer panas menyeluruh sebelum terjadinya pengotoran.

$$Uc = \frac{hio\ x\ ho}{hio + ho}$$

Ud adalah koefisien transfer panas menyeluruh setelah terjadinya pengotoran.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d$$

Keterangan :

$$U_D = \frac{U_C}{(Rd \times U_C) + 1}$$

Uc = koefisien transfer panas sebelum terjadinya pengotoran

Ud = koefisien transfer panas setelah terjadinya pengotoran

Rd = *fouling factor*

2.6. *Fouling Factor*

Fouling adalah peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak dikehendaki di permukaan *heat exchanger* yang berkontak dengan fluida kerja termasuk permukaan *heat transfer*. Peristiwa tersebut adalah pengendapan, pengerakan, korosi, polimerisasi, dan proses biologi. *Fouling* dapat menghalangi proses transfer panas yang dikehendaki. *Fouling* disebabkan oleh:

a. Adanya pengotor berat yaitu kerak yang berasal dari hasil korosi
b. Adanya pengotor atau *cake* dari senyawa logam Ca dan Mg.

Akibat dari *fouling*:

a. Mengakibatkan kenaikan tahanan *heat transfer*
b. Kehilangan energi lebih besar
c. Membutuhkan luas permukaan lebih besar
d. Waktu *shut down* lebih panjang
e. Biaya perawatan meningkat.

3. Metodologi Percobaan

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1. Alat :

- Seperangkat alat penukar panas *heat exchanger shell and tube*
- Komputer

3.1.2. Bahan :

- Air

3.2. Variabel dan Parameter

3.2.1. Variabel

- Jenis aliran (*co current* dan *counter current*)

3.2.2. Parameter

- Efisiensi transfer panas

4. Prosedur Percobaan

a. Disiapkan komputer serta *software* untuk alat *heat exchanger*
b. Dinyalakan alat *heat exchanger*
c. Pastikan valve pada flowing control tertutup rapat

d. Dialirkan fluida dingin
e. Dinyalakan pemanas pada alat *heat exchanger* dengan menggunakan *software* pada temperatur yang diinginkan
f. Diatur laju alir fluida dingin
g. Dibuka *valve*, lalu dialirkan fluida panas
h. Ditunggu sampai temperatur keluar fluida konstan
i. Dihentikan laju alir fluida panas, lalu ditutup *valve*
j. Dimatikan alat fluida

5. Matriks Percobaan

Sample Number	Temp T1 [°C]	Temp T2 [°C]	Temp T3 [°C]	Temp T4 [°C]	Hot Water Flowrate Fhot [l/min]	Cold Water Flowrate Fcold [l/min]	Flow Orientation	Specific Heat Hot Fluid Cph [kJ/kg K]	Specific Heat Cold Fluid Cpc [kJ/kg K]
1									
2									
3									

Sample Number	Hot fluid Average Temperature [°C]	Density Hot Fluid [kg/m³]	Cold fluid Average Temperature [°C]	Density Cold Fluid [kg/m³]	Thot [°C]	Tcold [°C]	Hot Mass Flow Rate qmh [kg/s]	Cold Mass Flow Rate qmc [kg/s]
1								
2								
3								

Sample Number	**Heat Power emitted Qe [W]**	**Heat Power absorbed Qa [W]**	**Heat Power lost Qf [W]**	**Overall Efficiency [%]**	**Temp Efficiency of hot fluid [%]**	**Temp Efficiency of cold fluid [%]**	**Mean Temp Efficiency [%]**	**LMTD**	**Overall Heat Transfer Coefficient U**
1									
2									
3									

MODUL 3. ION EXCHANGE

1. Tujuan Percobaan

Tujuan dari percobaan ini adalah :

- Untuk mempelajari kinerja bahan resin
- Menghitung jumlah kadar SO_4^{2-} sisa dan kadar SO_4^{2-} yang terserap
- Mempelajari hubungan kadar SO_4^{2-} dengan jumlah resin

2. Dasar Teori

Penukar ion (ion exchange) adalah suatu bahan granular tak larut yang memiliki radikal asam atau basa pada struktur molekulnya yang dapat melaksanakan pertukaran ion, tanpa mengalami perubahan fisis, tanpa kerusakan atau kelarutan, ion positif atau negatif diikat pada radikal ini untuk ion-ion yang bertanda sama dalam larutan di cairan akan saling berhubungan. Proses ini, dikenal sebagai Pertukaran ion (Ion exchange) dan komposisi ionik yang tersedia di dalam cairan yang mengalami pengolahan akan dimodifikasi tanpa mengubah jumlah total dari ion-ion di dalam cairan tersebut. Bahan pentukar ion yang pertama adalah bahan galian alami yaitu zeoli yang kemudian digantikan oleh bahan anorganik sintetis yaitu Aluminium silikat dan bahan organik sintetis. Bahan organik sintetis digunakan lebih banyak saat ini dan dikenal sebagai Resin dalam bentuk granular pada umumnya atau dalam bentuk merjan atau butiran. Berdasarkan jenis ion atau muatan yang dipertukarkan, resin dapat dibagi menjadi 2 :

1. resin penukar kation

   Adalah resin yang akan menukar atau mengambil kation dari larutan. Apabila yang dialirkan larutan garam, MX kedalam buret yang telah berisi resin penukarkation, maka akan terjadi suatureaksi pertukaran :

   $$MX\ (aq) + Res\text{-}H \rightarrow HX\ (aq) + Res\text{-}\ M$$

2. resin penukar anion.

   Adalah resin yang akan menukar dan mengambil anion dari larutan. Apabila dialirkan suatu larutan dalam buret yang telah berisi resin penukar anion, maka akan terjadi suatu reaksi penukaran :

   $$MX\ (aq) + Res\text{-}H \rightarrow H2O\ (aq) + Res\text{-}X$$

2.1 Resin Penukar Ion

Resin adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi sampai tingkat yang tinggi yang mengandung ikatan-ikatan hubung silang (*cross-linking*) serta gugusan yang mengandung ion-ion yang dapat dipertukarkan. Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terbagi menjadi dua yaitu resin penukar kation dan resin penukar anion. Resin penukar kation**,** mengandung kation yang dapat dipertukarkan, sedang resin penukar anion, mengandung anion yang dapat yang dapat dipertukarkan.Secara umum rumus struktur resin penukar ion yang dapat merupakan resin penukar kation (Gambar 1) dan resin penukar anion. (Gambar 2).

Gambar 1. Resin Penukar Kation

Gambar 2. Resin Penukar Anion

Sifat-sifat Penting Resin Penukar Ion adalah adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas Penukaran ion

   Sifat ini menggambarkan ukuran kuantitatif jumlah ion-ion yang dapat dipertukarkan dan dinyatakan dalam mek (milliekivalen) pergram resin kering dalam bentuk hidrogen atau kloridanya atau dinyatakan dalam milliekivalen tiap milliliter resin (meq/ml).

2. Selektivitas

   Sifat ini merupakan suatu sifat resin penukar ion yang menunjukan aktifitas pilihan atas ion tertentu. Hal ini disebabkan karena penukar ion merupakan suatu proses stoikhiometrik dan dapat balik (*reversible*) dan memenuhi hukum kerja massa. Faktor yang yang menentukan selektivitas terutam aadalah gugus ionogenik dan derajat ikat silang. Secara umum selektivitas penukar anion dipengaruhi oleh muatan ion dan jari-jari ion. Selektivitas resin penukar ion akan menentukan dapat atau tidaknya suatu ion dipisahkan dalam suatu larutan apabila dalam larutan tersebat terdapat ion-ion bertanda muatan sama, demikian juga dapat atau tidaknya ion yang telah terikat tersebut dilepaskan.

3. Derajat ikat silang *(crosslinking*)

   Sifat ini menunjukan konsentrasi jembatan yang ada di dalam polimer. Derajat ikats ilang tidak hanya mempengaruhi kelarutan tetapi juga kapasitas pertukaran, perilaku mekaran, perubahan volume, selektivitas, ketahanan kimia dan oksidasi.

4. Porositas

   Nilai porositas menunjukan ukuran pori-poris aluran-saluran kapiler. Ukuran saluran saluran ini biasanya tidak seragam. Porositas berbanding lansung derajat ikat silang, walaupun ukuran saluran-saluran kapilernya tidak seragam. Jalinan resin penukar mengandung rongga-rongga, tempat air terserap masuk. Porositas mempengaruhi kapasitas dan keselektifan. Bila tanpa pori, hanya gugus ionogenik di permukaan saja yang aktif.

5. Kestabilan resin

Kestabilan penukar ion ditentukan juga oleh mutu produk sejak dibuat. Kestabilan fisik dan mekanik terutama menyangkut kekuatan dan ketahanan gesekan. Ketahanan terhadappengaruh osmotik, baik saat pembebanan maupun regenerasi, juga terkait jenis monomernya. Kestabilan termal jenis makropori biasanya lebih baik daripada yang gel, walau derajat ikat silang serupa. Akan tetapi lakuan panas penukar kation makropori agak mengubah struktur kisi ruang dan porositasnya.

2.2 Kesadahan

Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Metode paling sederhana untuk menentukan kesadahan air adalah dengan sabun. Dalam air lunak, sabun akan menghasilkan busa yang banyak. Pada air sadah, sabun tidak akan menghasilkan busa atau menghasilkan sedikit sekali busa. Cara yang lebih kompleks adalah melalui titrasi. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari $CaCO_3$.

Air sadah digolongkan menjadi dua jenis, berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation (Ca^{2+} atau Mg^{2+}), yaitu air sadah sementara dan air sadah tetap.

Air sadah sementara Air sadah sementara adalah air sadah yang mengandung ion bikarbonat (HCO^{3-}), atau boleh jadi air tersebut mengandung senyawa kalsium bikarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) dan atau magnesium bikarbonat ($Mg(HCO_3)_2$). Air yang mengandung ion atau senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah sementara karena kesadahannya dapat dihilangkan dengan pemanasan air, sehingga air tersebut terbebas

dari ion Ca^{2+} dan atau Mg^{2+}. Dengan jalan pemanasan senyawa-senyawa tersebut akan mengendap pada dasar ketel. Reaksi yang terjadi adalah :

$$Ca(HCO_3)_2\ (aq) \rightarrow CaCO_3\ (s) + H_2O\ (l) + CO_2\ (g).$$

Air sadah tetap Air sadah tetap adalah air sadah yang mengadung anion selain ion bikarbonat, misalnya dapat berupa ion Cl^-, NO^{3-} dan SO_4^{2-}. Berarti senyawa yang terlarut boleh jadi berupa kalsium klorida ($CaCl_2$), kalsium nitrat ($Ca(NO_3)_2$), kalsium sulfat ($CaSO_4$), magnesium klorida ($MgCl_2$), magnesium nitrat ($Mg(NO_3)_2$), dan magnesium sulfat ($MgSO_4$). Air yang mengandung senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah tetap, karena kesadahannya tidak bisa dihilangkan hanya dengan cara pemanasan. Untuk membebaskan air tersebut dari kesadahan, harus dilakukan dengan cara kimia, yaitu dengan mereaksikan air tersebut dengan zat-zat kimia tertentu. Pereaksi yang digunakan adalah larutan karbonat, yaitu Na_2CO_3 (aq) atau K_2CO_3 (aq). Penambahan larutan karbonat dimaksudkan untuk mengendapkan ion Ca^{2+} dan atau Mg^{2+}.

$$CaCl_2\ (aq) + Na_2CO_3\ (aq) \rightarrow CaCO_3\ (s) + 2NaCl\ (aq)$$

$$Mg(NO_3)_2\ (aq) + K_2CO_3\ (aq) \rightarrow MgCO_3\ (s) + 2KNO_3\ (aq)$$

Dengan terbentuknya endapan $CaCO_3$ atau $MgCO_3$ berarti air tersebut telah terbebas dari ion Ca^{2+} atau Mg^{2+} atau dengan kata lain air tersebut telah terbebas dari kesadahan.

Pada industri yang menggunakan ketel uap, air yang digunakan harus terbebas dari kesadahan. Proses penghilangan kesadahan air yang sering dilakukan pada industri-industri adalah melalui penyaringan dengan menggunakan zat-zat sebagai berikut :Resin pengikat kation dan anion.

Resin adalah zat polimer alami ataupun sintetik yang salah satu fungsinya adalah dapat mengikat kation dan anion tertentu. Secara teknis, air sadah dilewatkan melalui suatu wadah yang berisi resin pengikat kation dan anion, sehingga diharapkan kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dapat diikat resin. Dengan demikian, air tersebut akan terbebas dari kesadahan.

3. Alat dan Bahan

3.1 Alat yang digunakan

- Neraca analitik
- Kaca arloji
- Spatula
- Beaker gelas
- Erlenmeyer
- Corong
- Batang pengaduk
- Kertas saring
- Gelas ukur
- Pipet tetes
- Pipet volume
- Buret

3.2 Bahan yang digunakan

- Air
- Larutan $NaNO_3$ 0.25 M
- Indikator K_2CrO_4 1%
- Resin anion dan kation
- Larutan Na_2SO_4 0.25 M

4. Cara Kerja

4.1 Blangko

a. Dibuat larutan $NaNO_3$ 0.25 M dan Na_2SO_4 0.25 M sebanyak 100 mL.

b. Diambil 20 mL Larutan $NaNO_3$ 0.25 M dan Na_2SO_4 0,25 M, dimasukkan masing-masing ke dalam labu erlenmeyer.

c. Ditambahkan ± 2 tetes indikator PP ke dalam larutan Na_2SO_4, dan ±2 tetes indokator K_2CrO_4 1% ke dalam larutan $NaNO_3$.
d. Dititrasi larutan $NaNO_3$ dengan $AgNO_3$ 0.25 M dan Na_2SO_4 dengan NaOH 0.25 M.
e. Dihitung konsentrasi, dicatat sebagai konsentrasi mula-mula.

4.2 Percobaan dengan Variasi Resin

Resin kation

1. Ditimbang ± 6 gram resin kation.
2. Dimasukkan resin ke dalam kolom kromatografi yang telah berisi kapas.
3. Ditambahkan air suling hingga ± 1 cm di atas permukaan resin.
4. Dirangkai corong pisah di atas kolom kromatografi.
5. Dimasukkan ± 20 mL Na_2SO_4 0.25 M ke dalam corong pisah.
6. Dibuka kran corong pisah dan dijaga kecepatan keluaran 2 mL/detik atau 1 tetes/2 detik, laju influent sama dengan laju effluent.
7. Ditambahkan ± 2 tetes indikator PP 2% pada effluent.
8. Dititrasi effluent dengan NaOH 0.25 M, dilakukan percobaan secara duplo.

Resin anion

1. Ditimbang ± 6 gram resin anion.
2. Dimasukkan resin ke dalam kolom kromatografi yang telah berisi kapas.
3. Ditambahkan air suling hingga ± 1 cm di atas permukaan resin.
4. Dirangkai corong pisah di atas kolom kromatografi.
5. Dimasukkan ± 20 mL $NaNO_3$ 0.25 M ke dalam corong pisah.
6. Dibuka kran corong pisah dan dijaga kecepatan keluaran 2 mL/detik atau 1 tetes/2 detik, laju influent sama dengan laju effluent.
7. Ditambahkan ± 2 tetes indikator K_2CrO_4 1% pada effluent.
8. Dititrasi effluent dengan $AgNO_3$ 0.25 M, dilakukan percobaan secara duplo.

5. Matriks Percobaan

No	Resin (gr)	Volume larutan (ml)		Cl^- Sisa (M)	
		I	II	I	II
1					
2					
3					

7. Perhitungan

$[Na^+]$ blanko $= \frac{Vol.NaOH\ x\ M.NaOH}{Vol.Sampel}$

$[Na^+]$ sisa $= \frac{Vol.NaOH\ x\ M.NaOH}{Vol.Sampel}$

$[H^+]$ terserap = $[Na^+]$ blanko - $[Na^+]$ sisa

Koefisien Distribusi (K_D) $= \frac{volume\ larutan}{bobot\ resin}$

Kapasitas kolom kation $= \frac{Vol.Titran\ x\ M.Titran}{bobot\ resin}$

Kapasitas kolom resin $= \frac{Vol.titran}{V.\ kolom}$

MODUL 4. SEDIMENTASI

1. Tujuan

a. Mempelajari pengaruh konsentrasi terhadap kecepatan sedimentasi

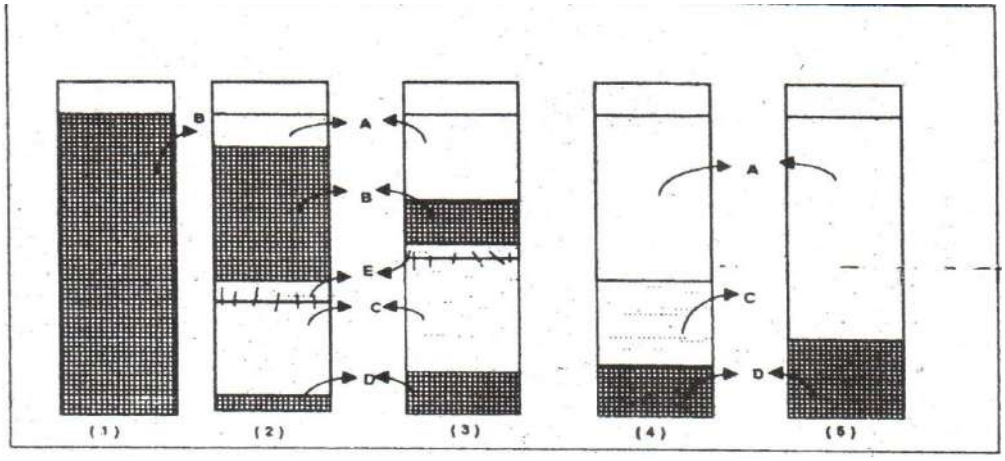
b. Menentukan kecepatan sedimentasi untuk berbagai macam konsentrasi slurry $CaCO_3$

c. Mencari hubungan antara tinggi lapisan batas (Z) dengan waktu (θ) sedimentasi

2. Tinjauan pustaka

Sedimentasi adalah pemisahan suspense dengan pengendapan gaya beratnya sendiri menjadi cairan bening dan suspense yang lebig pekat.

Mekanismenya dapat diterangkan sebagai berikut :



Gambar 1. Sedimentasi secara Batch

keterangan gambar.1 :

A : Clear Liquid

B : Uniform Concentration

C : Variabel Size and Concentration Zone

D : Course Solid

E : Transition

Sedimentasi dapat dilakukan secara batch atau kontinyu. Batch alatnya berupa tanki silinder dengan umpan dimasukkan dari atas yang kemudian dibiarkan mengendap dan

cairan bening diambil dengan dituangkan dari tangki. Secara kontinyu alatnya berupa tangki yang diameternya besar dan dilengkapi pengaduk yang berputar untuk membantu mengumpulkan endapan kebagian pengeluaran pada tengah-tengah dasar tangki. Zat padat dalam slurry akan mengendapt. Pada saat awal, prosesnya pada kondisi jatuh bebas. Makin lama kecepatan pengendapan akan menurun (hindered settling).

Misalkan umpan slurry konsentrasinya Co (lb zat padat/ft^3 slurry), tinggi slurry mula-mula pada percobaan = Zo dan luas penampang dari alat = S.

Maka berat zat padat yang ada = Co.Zo ..... (1)

Jika C_L = konsentrasi lapis batas dan waktu untuk mencapai permukaan = θ_L, banyaknya padatan yang lewat melalui lapisan ini = $C_1 . S . \theta_L . (V_L + \tilde{V}_L)$.... (2)

Jumlah ini sama dengan jumlah padatan total sehingga

$C_1 . S . \theta_L . (V_L + \tilde{V}_L) = C_o.Z_o.S$ ..... (3)

Jika Z_L = tinggi dari permukaan pada θ_L

$$\bar{V}L = \frac{Z_L}{\theta_L} \text{.....(4)}$$

Subtitusikan persamaan 4 ke 3 sehingga

$$C_L = \frac{C_o.z_o}{Z_L.V_L.\theta_L} \text{.....(5)}$$

Dari data test laboratorium bias dibuat grafik hubungan antara waktu (θ) dengan tinggi lapisan batas (Z) sebagai berikut :

Jika diambil waktu $\theta = \theta_L$ dan dibuat garis singgung dari kurva tersebut, maka perpotongan garis singgung dengan sumbu Z disebut Z_i, V_L adalah slope kurva pada $\theta = \theta_L$ yang garis singgungnya memotong sumbu $Z = Z_i$, sehingga persamaannya :

$$V_L = \frac{Z_i - Z_L}{\theta_L} \text{.....}(6a)$$

Atau

$$Z_i = Z_L + \theta_L + V_L \text{ .....(6b)}$$

Dari persamaan 5 maka

$$C_L = \frac{C_o . z_o}{Z_i} \text{.....(7)}$$

3. Alat dan bahan

Alat :

1. Beaker glass
2. Gelas Ukur 1000 ml
3. Pengaduk gelas
4. Timbangan Analitik
5. Stopwatch

Bahan :

1. $CaCO_3$
2. Aquadest

4. Cara Kerja

1. Timbang 40 gr, 60 gr, dan 80 gr $CaCO_3$
2. Masing-masing masukkan dalam 1 lt aquadest, kemudian diaduk hingga terbentuk slurry yang homogen.
3. Masukkan ke dalam gelas ukur 1000 ml
4. Amati pengendapannya dan waktu pengendapan sehingga diperoleh hubungan tinggi permukaan bidang batas (Z) dengan waktu (θ)
5. Pengendapan ditunjukkan dengan adannya bidang batas cairan bening dengan slurry yang lebih pekat secara perlahan akan turun.
6. Percobaan dihentikan bila bidang batas masing-masing slurry tidak turun lagi.

5. Matriks Percobaan

Bobot $CaCO_3$	Waktu (detik)	Ketinggian (cm)

6. Perhitungan

1. Dari data yang diperoleh buat grafik hubungan tinggi lapisan batas (Z) dengan waktu (θ) untuk masing-masing konsentrasi.
2. Buktikan bahwa mula-mula hubungannya adalah linier (free settling) dan bagian selanjutnya melengkung (hindered settling).
3. Cari hubungan Z dengan θ (cari kecepatan sedimentasi) untuk bagian yang linier dan cari kecepatan sedimentasi dengan bagian yang melengkung.
4. Tentukan harga V_L 9kecepatan sedimentasi) dan C_L konsentrasi slurry untuk interval waktu 5 menit.
5. Gambar grafik hubungan C_L dan V_L untuk masing-masing konsentrasi.

MODUL 5. SIRKUIT FLUIDA

1. Tujuan Percobaan

- Mempelajari sifat-sifat aliran fluida dalam beberapa macam ukuran pipa
- Untuk melihat pengaruh variasi bukaan valve terhadap aliran fluida
- Memperoleh pengertian tentang perubahan tekanan yang terjadi pada aliran fluida

2. Dasar Teori

A. Pengertian Sirkuit Fluida

Secara teoritis sirkuit fluida adalah jalur aliran dimana zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk (distorsi) secara permanen. Fluida adalah zat yang dapat mengalir atau sering disebut zat alir. Biasanya fluida yang dapat dialirkan dalam bentuk cairan dan gas. Zat cair adalah fluida yang non kompresibel (tidak dapat ditekan) artinya tidak berubah volumenya jika mendapat tekanan. Gas adalah fluida yang kompresibel, artinya dapat ditekan.

B. Mekanisme Aliran Fluida

Aliran fluida dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu :

a. Aliran laminer, terjadi pada fluida yang mengalir tanpa pencampuran secara lateral, tidak terdapat aliran silang atau pusaran pada kecepatan rendah .
b. Aliran turbulen, terjadi pada kecepatan yang lebih tinggi dimana terjadi pembentukan pusaran dan menyebabkan terjadinya pencampuran lateral .

Kriteria untuk membedakan kedua jenis aliran ini adalah, apabila fluida dalam suatu aliran akan terlihat seperti berlapis – lapis secara sliding terhadap lapisan yang berbeda di dekatnya dengan kecepatan yang cukup kecil disebut aliran laminer, kemudian apabila kecepatan diperbesar gerakan partikel fluida semakin tidak teratur disebut turbulen. Pada suatu kecepatan dimana aliran tidak laminer dan turbulen disebut daerah transisi.

Fluida terdiri dari 2 jenis yaitu fluida cair dan fluida gas.

- Ciri fluida cair:

Tidak kompresibel, yaitu volume fluida akan tetap walaupun dikenai tekanan tertentu. Mengisi volume tertentu. Mempunyai permukaan bebas. Daya kohesi besar, jarak antar molekul rapat.

- Ciri fluida gas:

  Kompresibel, mengisi seluruh bagian wadah, Jarak antar molekul besar, daya kohesi dapat diabaikan.

Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volumenya, fluida dapat digolongkan menjadi 2 golongan :

a. Incompressible fluid

Fluida digolongkan sebagai *incompressible fluid* jika volume dari fluida hanya sedikit terpengaruh oleh perubahaan yang agak besar pada suhu dan tekanan.

b. Compressible fluid

Fluida digolongkan sebagai *compressible fluid* jika volume dari fluida sangat peka terhadap perubahan suhu dan tekanan. Dalam praktikum ini hanya bersangkutan dengan *incompressible fluid*.

C. Bilangan Reynold

Pada fluida yang mengalir, bekerja gaya-gaya seperti gaya gravitasi, gaya tekanan, gaya viskositas, gaya inersia, gaya tegangan permukaan dan lain-lain. Untuk fluida yang mengalir melalui saluran yang terisi penuh, gaya-gaya yang berpengaruh adalah gaya inersia dan viskositas. Perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskositas disebut bilangan Reynold. Bilangan reynold merupakan perbandingan antara gaya dinamis dari aliran massa terhadap tegangan geser yang disebabkan oleh viskositas cairan. Reynold mempelajari kondisi dimana satu jenis aliran berubah menjadi aliran jenis lain dan menemukan bahwa kecepatan kinetis dimana aliran laminer

berubah menjadi aliran turbulen, bergantung pada empat buah besaran : diameter tabung, viskositas, densitas, dan kecepatan linier rata-rata zat cair. Untuk saluran berbentuk pipa persamaan bilangan Reynoldnya adalah :

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{} \qquad (1)$$

Re : Bilangan Reynold

μ :Viskositas absolute zat

: Densitas

D : Diameter pipa

V : kecepatan

Dengan suatu eksperimen diperoleh bahwa bilangan Reynold dibawah 2000 menunjukkan aliran dalam keadaan laminer, bilangan Reynold di atas 4000 menunjukkan aliran turbulen. Antara 2000 dan 4000 terdapat daerah transisi.

D. Nilai liquid horse power (LHP)

Tenaga yang digunakan untuk diberikan kepada cairan. Nilai LHP tergantung pada jarak transfer cairan yang tinggi atau elevasi yang diinginkan. Rumus LHP adalah :

$$LHP = \left[\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z + \left(\frac{\Delta V^2}{2\,gc}\right) + F\right] x\ \frac{m}{550}$$

Keterangan ΔP : Perbedaan tekanan m : Massa

ΔZ : Perbedaan ketinggian : Densitas

E. DHP (drive horse power)

Tenaga yang dikeluarkan atau digunakan sebagai tenaga penggerak pompa. Rumus DHP adalah :

- DHP = I x V
- DHP teoritis = BHP / efm

Keterangan : efm : efisiensi motor

V : kecepatan

F. Nilai BHP (breake horse power)

Energi yang digunakan untuk diberikan kepada pompa yang biasanya digunakan sebagai tenaga pemutar impeller yang terdapat pada pompa untuk memperoleh gaya sentrifugal.

Rumus BHP adalah :

BHP = LHP / eff

Keterangan : eff : efisiensi pompa

2.2.Energi fluida

Hubungan antara energi fluida yang melewati peralatan, pipa-pipa kran dapat diperoleh menjadi neraca energi. Energi dibawa bersama aliran fluida ke sekeliling atau sebaliknya, dari sekeliling ke fluida.

Energi yang dibawa bersama fluida termasuk :

- Energi internal, U

  Energi total yang terdapat dalam bahan yang disebabkan oleh karena gerakan-gerakan dan kedudukan relative dari atom-atom dan molekul-molekul penyusunnya.

- Energi yang dibawa oleh fluida yang disebabkan oleh kondisi alirannya atau posisinya meliputi :
  - ✓ Energi potensial : energi yang dimiliki oleh fluida tersebut karena ketinggiannya relative terhadap waktu.

    Ep = m.g.z dalam unit absolute atau Ep = m.g.z / (2 gc)
  - ✓ Energi kinetik : energi yang dimiliki oleh fluida tersebut karena kecepatannya.

    Ek = ½ m. V^2 dalam unit absolute, atau Ek = (m.V^2) / (2 gc)
  - ✓ Energi Tekanan : energi yang dimiliki oleh fluida tersebut karena dalam keadaan bertekanan.

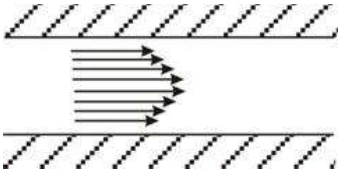
    E_T = P . V

Energi yang ditransfer antara sistem dan sekelilingnya ada dua macam:

1. panas yang diserap oleh fluida yang mengalir dari sekelilingnya
2. panas yang dilakukan oleh fluida yang mengalir untuk sekelilingnya.

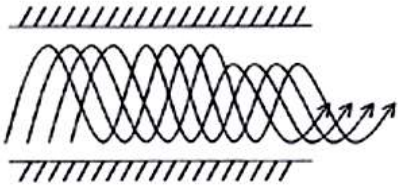
2.3.Profil kecepatan dan aliran dalam fluida

Pada aliran dalam pipa, partikel-partikel fluida bergerak dengan kecepatan yang berbeda. Partikel yang berada pada dinding pipa mempunyai kecepatan nol. Sedangkan partikel yang berada pada dinding pipa mempunyai kecepatan maksimum. Hal ini disebabkan karena perubahan momentum dan gesekan yang terjadi antara lapisan. Untuk aliran laminer lapisan-lapisan fluida terdapat dari dinding pipa sampai sumbu pipa sehingga profil kecepatan patikel-partikel berbentuk parabola seperti pada gambar di bawah ini.



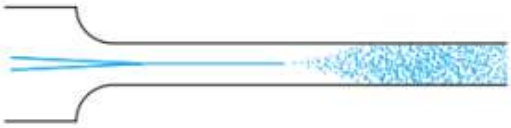
Gambar 1 Aliran Laminer

Semakin besar bilangan Reynold, momentum yang biasa berpindah antar lapisan fluida semakin besar kenaikan bilangan reynold sampai mencapai batas kritisnya akan menyebabkan aliran menjadi turbulen dan terjadi dua regional aliran yaitu daerah laminer dekat dinding pipa dan daerah turbulen mulai dari batas daerah laminer sampai sumbu pipa. Akibatnya profil aliran, tidak parabol lagi, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2 Aliran Turbulen

Adapun distribusi kecepatan relative dalam aliran laminer dan turbulen di dalam pipa adalah sebagai berikut :



Gambar 3 Aliran Laminer dan Turbulen

2.4. Persamaan Aliran

Fluida kompresibel adalah fluida yang dapat ditekan dengan disertai perubahan volume atau jika volumenya berubah terdapat perubahan tekanan. Fluida inkompresibel adalah fluida yang tidak mengalami perubahan volume bila ditekan atau volumenya independen terhadap tekanan. Persamaan untuk aliran fluida terdiri dari :

a. Persamaan Kontinuitas

Aliran steady pada suatu volume kendali (pk). Berlaku persamaan :

$$\int pk\ pv.d.A = 0$$

yang menyatakan bahwa laju bersih aliran massa keluar dari volume kendali itu harus nol. Di penampang 1 laju bersih massa keluar adalah $\rho_1 V_1 dA_1$ dan di penampang 2 laju tersebut : $\rho_2 V_2 dA_2$, karena tidak ada aliran melalui dinding tabung, maka :

$$\rho_1 V_1 dA_1 = \rho_2 V_2 dA_2$$

persamaan kontinuitas yang diterapkan pada dua penampang di sepanjang sebuah tabung aliran dalam aliran steady.

A_1 = Luas penampang daerah 1

A_2 = Luas penampang daerah 2

V_1 = Laju alir fluida daerah 1

V_2 = Laju alir fluida daerah 2

ρ_1 = Densitas fluida daerah 1

ρ_2 = Densitas fluida daerah 2

Jika $\rho_1 = \rho_2$, maka $A_1.V_1 = A_2 .V_2$

b. Persamaan Bernoulli

$$U_1 + Ep_1 + Ek_1 + ET_1 + W - F = U_2 + Ep_2 + Ek_2 + ET_2$$

$$U_1 + \frac{m.Z_1.g}{gc} + \frac{m.V_1^2}{2gc} + P_1.V_1 + W - F = U_2 + \frac{m.Z_2.g}{gc} + \frac{m.V_2^2}{2gc} + P_2.V_2$$

Bila fluida yang ditinjau merupakan satu satuan massa (m = 1), maka :

$$U_1 + \frac{Z_1.g}{gc} + \frac{m.V_1^2}{2gc} + P_1.V_1 + W - F = U_2 + \frac{Z_2.g}{gc} + \frac{m.V_2^2}{2gc} + P_2.V_2$$

Jika aliran mempunyai kondisi isothermal, maka $U_1 = U_2$

$$\frac{Z_1.g}{gc} + \frac{m.V_1^2}{2gc} + P_1.V_1 + W - F = \frac{Z_2.g}{gc} + \frac{m.V_2^2}{2gc} + P_2.V_2$$

Diketahui bahwa : $\rho = \frac{m}{v} = \frac{massa}{volume}$

Jika fluida dianggap mendekati incompressible, maka volume dari satu satuan massa dapat dianggap bernilai konstan, sehingga densitasnya konstan, dan persamaannya menjadi :

$$\frac{Z_1 g}{gc} + \frac{V_1^2}{2gc} + \frac{P_1}{\rho} + W - F = \frac{Z_2 g}{gc} + \frac{V_2^2}{2gc} + \frac{P_2}{\rho}$$

Jika g = gravitasi actual (g diatas permukaan daratan) dan gc = gravitasi sea level (g diatas permukaan air laut) dianggap sama, maka :

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + W - F = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho}$$

$$Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} = W - F$$

$$\Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho} = W - F$$

Δz = Static head , perbedaan ketinggian antara dua permukaan

$\Delta v^2/2g$ = Velocity head

$\Delta P / \rho$ = Pressure head

W = Kerja yang dilakukan fluida

F = Rugi friksi

V = Kecepatan linier aliran fluida

ρ = Densitas fluida

P = Tekanan

g = Percepatan gravitasi

2.5. Friction Loss

Kerugian friksi (friction loss) yang disebabkan adanya friksi dan gesekan meliputi :

a. Rugi friksi pada pipa lurus (persamaan fanning)

$\Delta Hf = (2.F.v^2.L) / 2gc.D$

atau $\Delta Pf = (2.F.v2.l. \rho) / 2\ gc.D$

Dimana:

ΔHf = Rugi friksi pada pipa lurus

f = faktor gersekan (merupakan fungsi bilangan Reynold)

v = kecepatan linier aliran fluida dalam pipa

D = diameter pipa

L = pangjang pipa

ΔPf = perssure drop

ρ = densitas

b. Rugi friksi karena pembesaran saluran (enlargement), ΔHe

$$\Delta He = (V_1^2 - V_2^2) / 2\ gc$$

Dimana:

V_1 = laju alir linier pada pipa kecil

V_2 = laju alir linier pada pipa besar

c. Rugi friksi karena penyempitan saluran (contraction) , Hc

$$Hc = (k.\ V_2^2) / 2gc$$

Dimana:

k = konstanta yang merupakan fungsi kecepatan radio

V_2 = laju alir linier dalam pipa kecil

d. Rugi friksi pada fitting (elbow, valve , meter) persamaan fanning

$$\Delta Hf = (2.\ F\ .\ v^2\ .Le) / 2\ gc\ .D$$

Dimana : Le = panjang ekuivalen

Jadi, energi yang hilang dari penanggulangan friksi adalah fungsi dari :

- Sifat pengaliran fluida : massa (m),densitas (ρ), viskositas (μ)
- Penahanan pipa : panjang pipa (L). Diameter internal pipa (D), kekasaran pipa (ε)
- Gerakan relatif dari fluida (v)

Untuk aliran laminer diperoleh : f = 64 / Re , maka terbentuk persamaan Poiseville dari persamaan fanning, yaitu :

$$\Delta P = (32.L.v.\ \mu) / 2gc.D$$

Untuk persamaan bernoulli tanpa gesekan

$$\Delta P/\ \rho + \Delta z + \Delta v^2 / 2g = W- F$$

Pada aliran potensial satu arah dengan kecepatan tetap, besarnya kecepatan tidaklah mempengaruhi tekanan dalam tabung atau pipa. Penurunan tekanan itu

hanya tergantung pada laju perubahan ketinggian pada tabung lulus hirizontal. Oleh karena itu tidak terdapat penurunan tekanan pada aliran potensial dan kecepatan tetap dan steady.

3. Alat dan Bahan

A. **Alat** :

a. pipa-pipa dengan ukuran yang berbeda
b. tangki air
c. pompa
d. ampermeter
e. barometer
f. ember
g. stopwatch

B. **Bahan :** air

4. Variabel dan Parameter Percobaan

A. Variabel

Pada percobaan ini variabel yang di variasikan adalah bukaan kran pada system sirkuit fluida dan besar diameter pipa

a. Parameter :

- Parameter terukur :
  - ✓ tekanan (P)
  - ✓ kuat arus (I)
  - ✓ volume (v)
- Parameter terhitung :
  - ✓ debit (Q)
  - ✓ kecepatan alir (V)
  - ✓ laju alir massa (m)
  - ✓ bilangan reynold (Re)

- ✓ panjang equivalent (Le)
- ✓ friksi (F)
- ✓ LHP, BHP , dan DHP

5. Cara Kerja

Persiapan :

Dibuka semua kran variabel secara penuh pada pipa berdiameter ½ , ¾ ,1, 1 ½ dan 2 in

↓

Banyaknya putaran penuh pada kran dibagi variasi bukaan yang diinginkan

↓

Pastikan semua kran tertutup

Operasi :

Kran pipa dibuka sesuai dengan variasi yang diinginkan (30°,50°,70°,90°)

↓

Pompa dinyalakan

↓

Ditunggu sampai steady state (selama 3 menit)

↓

Dicatat arus listrik, tekanan dari masing- masing bukaan valve

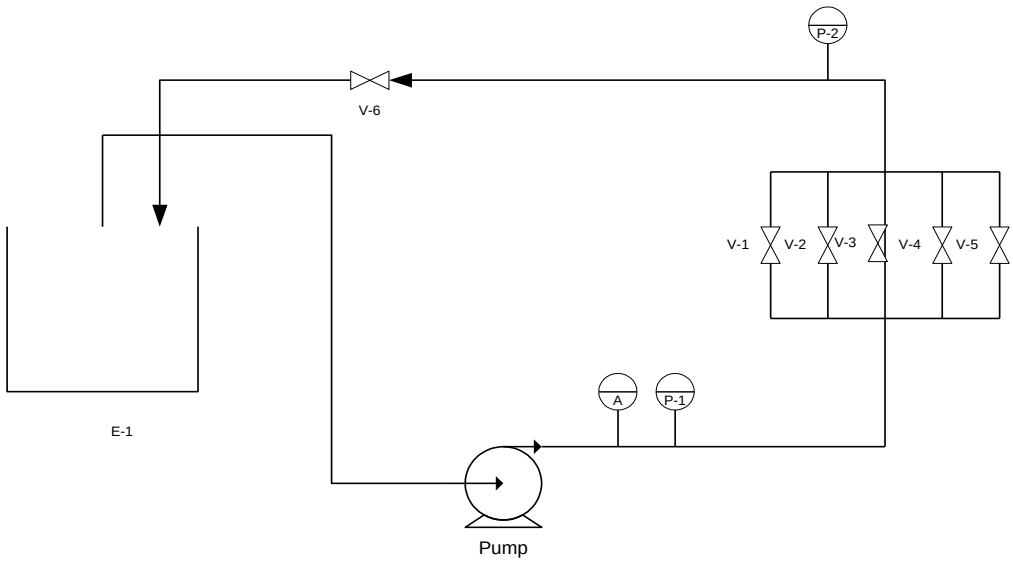
↓

Diukur volume (triplo) dalam waktu 3 detik

6. Matriks Percobaan

Diameter pipa (IN)	Bukaan kran (°)	P_1	P_2	I	volume (ml)				T
		(lb/in^2)	(lb/in^2)	Ampere	V_1	V_2	V_3	Vt	Detik
2.0	90								
	70								
	50								
	30								
1.5	90								
	70								
	50								
	30								
1.0	90								
	70								
	50								
	30								
0.75	90								
	70								
	50								
	30								
0.5	90								
	70								
	50								
	30								

Skema Alat



Keterangan :

A	: Amperemeter	V-2	: keran 2
E-1	: Tangki Penampung	V-3	: keran 3
P-1	: Pressure gauge 1	V-4	: keran 4
P-2	: Pressure gauge 2	V-5	: keran 5
Pump	: Pompa	V-6	: keran 6
V-1	: keran 1		

DAFTAR PUSTAKA

Badge, Walter L. Dan Julius T banchero.1955.“ Hal 31-45 dan 51-59, Introduction to Chemical Engineering “. Mc Graw- hill : New York.

Brown,George Granger, 1978 , *Unit Operation*, Cetakan IV, Modern Asia Edition, John Wiley and Sons Inc., New York.

Mc Cabe, Warren L.et.Al.“Operasi Teknik Kimia “. Jilid 1, Hal 210 - 213. PT Erlangga : Jakarta.

Salimin, Zainus.”Diktat Aliran Fluida ”.Modern Asia.Ed.Charles E Cuttle comp. inc. Japan.

Mc Cabe, W.L., 1999, “Operasi Teknik Kimia”. Edisi 4,jilid 1, Erlangga : Jakarta.

Anonim. 2001. Transfer Panas.Http/wiki.org/transfer_panas/

Anonim. 2007. Alat Penukar Panas.Http/wiki.org/alat_penukar_panas/

Kern, Donald. 1965. *Process Heat Transfer*. Mc Graw-Hill. Singapura.

Sunandar, Kudrat. 2008. Peralatan Perpindahan Panas. Institut Teknologi Indonesia. Serppong.

Brown, G.G., 1978, Modern Asia Edition, P.P 100-113, Charles Z. Tutle Co. Tokyo.

Foust, A.S., 1980, “Principle of Unit Operation”, 2ed., P.P 629-633, John Wiley and Sons, Inc, New York.

Institut
Teknologi
Indonesia

LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

iti.ac.id // tekkim.iti.ac.id

Laboratorium Operasi Teknik Kimia 1,
lantai 1, Gedung G