MODUL PRAKTIKUM OPERASI TEKNIK KIMIA I

Laboratorium Komputasi Proses

Jurusan Teknik Kimia

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MODUL

ABSORBSI

ALIRAN FLUIDA

DINAMIKA PROSES

FILTRASI

FLUIDISASI

SEDIMENTASI

PENUKAR PANAS

MIXING

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

Daftar Isi

Hal

Petunjuk Penulisan Laporan Operasi Teknik Kimia 1

Petunjuk Praktikum Laboratorium Operasi Teknik Kimia 7

MODUL Absorbsi 13

Aliran Fluida 29

Dinamika Proses 37

Filtrasi 45

Fluidisasi 53

Sedimentasi 61

Penukar Panas 66

Mixing 80

LAMPIRAN

Lembar Penugasan Praktikum (Cover)

Kartu Praktikum

Form Peminjaman Alat dan Bahan

Form Bukti Peralatan Lab yang Rusak/Pecah

PETUNJUK PENULISAN LAPORAN
OPERASI TEKNIK KIMIA

Setiap praktikan yang telah melakukan praktikum berdasarkan kelompoknya, diwajibkan/diharuskan membuat laporan tentang modul yang telah dilakukan, dengan format yang telah ditentukan.

1. JENIS LAPORAN

Laporan praktikum laboratorium operasi teknik kimia I dan II, setiap kelompok praktikum terdiri dari ***laporan singkat*** dan ***laporan lengkap***.

2. PENYERAHAN LAPORAN

2.1 Laporan singkat, dibuat untuk setiap percobaan yang dilakukan.

2.2 Laporan lengkap, dibuat untuk salah satu jenis percobaan oleh setiap praktikan menurut penugasan dari Koordinator Lab OTK.

2.3 Laporan harus diserahkan dalam batas jangka waktu yang ditentukan, dan diserahkan kepada Kepala Laboratorium. Dalam hal Kepala laboratorium berhalangan hadir maka laporan diserahkan kepada koordinator laboratorium yang bersangkutan.

3. SUSUNAN LAPORAN SINGKAT

Laporan singkat berisikan dan tersusun dari hal-hal sebagai berikut :

3.1 **Judul laporan**, ditulis pada formulir yang telah disediakan, untuk dijadikan kulit muka laporan.

3.2 **Tujuan Percobaan**, sesuai dengan yang dirumuskan dalam lembaran tugas.

3.3 **Pendekatan**, uraian tentang cara dan sarana yang ditempuh, dalam garis besar, untuk mendapatkan hal-hal yang dirumuskan dalam tujuan. Uraian dalam bab ini bukan uraian tentang prosedur kerja. Gambar skema susunan peralatan, bila perlu dapat disajikan.

3.4 **Hasil Percobaan,** menyajikan tabel, grafik dan uraian pendek mengenai hasil-hasil yang diperoleh dari percobaan, bertautan dengan tujuan yang dikemukakan dibutir 3.2 dibab ini jangan disajikan data pengamatan.

3.5 Pembahasan, membahas hasil-hasil percobaan yang disajikan dibutir 3.4 uraian di bab ini merupakan analisa terhadap hasil percobaan tersebut.

3.6 Kesimpulan, uraian singkat pokok-pokok kesimpulan yang dapat ditarik setelah hasil percobaan dianalisa dan dibahas dibutir 3.5.

3.7 Lampiran, yang terdiri dari:

a. Data yang diambil dari pustaka.
b. Hasil perhitungan antara.
c. Contoh perhitungan.

4. SUSUNAN LAPORAN LENGKAP

Laporan lengkap disusun dengan ini dan urutan sebagai berikut :

4.1 Judul laporan

Ditulis pada formulir yang telah disediakan.

4.2 Lembar Pengesahan

Satu halaman kosong untuk catatan/komentar/tanda tangan pembimbing yang memeriksa laporan.

4.3 Ringkasan/Abstrak

Berupa abstrak yang mengemukakan secara singkat garis besar percobaan yang dilakukan yaitu :

a. Persoalan utama dalam percobaan.
b. Teknik dan cara percobaan, termasuk alat dan bahan yang digunakan.
c. Hasil percobaan secara umum.

4.4 Daftar Isi

Memuat bab laporan dan nomor halaman dimana bab tersebut dimulai.

4.5 Daftar Tabel

Memuat tabel yang terdapat dalam laporan dan halaman dimana tabel tersebut dimuat.

4.6 Daftar Gambar

Memuat urutan gambar yang terdapat dalam laporan dan halaman dimana gambar tersebut dimuat.

4.7 Pendahuluan

Memperkenalkan kepada pembaca secara umum permasalahan percobaan. Perlu juga dimuat apa pentingnya percobaan itu dikerjakan, dan kemukakan relevansinya dalam praktek teknik kimia.

4.8 Teori

4.8.1 Dikemukakan teori, pernyataan dan rumus-rumus yang diperlukan untuk perhitungan dalam percobaan. Cantumkan nomor pustaka dari mana teori, pernyataan atau rumus-rumus itu dikutip.

4.8.2 Perlu diperhatikan bahwa bagian ini bukan dimaksudkan untuk memberikan contoh perhitungan dan penurunan rumus tidak peru diberikan kecuali bila hal itu dianggap sangat perlu.

4.9 Alat-alat dan Tata kerja

4.9.1 Bagian ini memuat gambar alat, cukup dengan mempergunakan skema. Alat ini harus dibicarakan secara terang denga menyebutkan keterangan-keterangan dan sifat-sifatnya yang khusus (seperti tentang material, ukuran, cara kerja dan lain - lain), kecuali bila alat itu adalah standar.

4.9.2 Tata kerja menggambarkan urutan cara melakukan pekerjaan dalam pecobaan dengan mengingat uang khusus yang harus dilakukan. Diagram aliran dapat membuat pembicaraan tata kerja lebih jelas.

4.10 Hasil Percobaan

4.10.1 Hasil-hasil percobaan harus disusun dalam daftar-daftar yang rapi. Nama jalur dan deret dalam daftar itu diperhatikan, supaya dapat mudah dimengerti. Tiap-tiap daftar harus diberi nama dan nomor urut didahului dengan kata **"Tabel"**.

4.10.2 Hasil percobaan akan lebih mudah ditafsirkan bila dari hasil tersebut dibuat grafik, gambar dan diagram aliran harus diberi nama dan nomor urut dengan didahului data **"Gambar"**. Gambar dan tabel-tabel di atas harus ditempatkan dibawah atau sesudah kalimat-kalimat pengantar yang mendahuluinya, Karena suatu bab tidak dapat dimulai dengan gambar atau tabel.

4.10.3 Hendaknya diingat bab ini bukanlah tempat untuk membicarakan hasil-hasil. Tujuan kalimat-kalimat pengantarnya adalah untuk memberikan orientasi kepada pembaca akan cara-cara penyajian hasil-hasil secara logis dan mudah untuk dimengerti.

4.10.4 Data yang dimuat dalam bab ini hanyalah yang diperlukan untuk ditafsirkan dan selanjutnya diambil kesimpulan. Data asli yang didapat dari percobaan tidak dimasukkan dalam bab ini bila tidak dapat langsung ditafsirkan akan tetapi di muat dalam **LAMPIRAN**.

4.11 Pembahasan

Pembahasan dititik-beratkan pada hasil percobaan yang dimuat dalam bab hasil-hasil. Saran-saran yang memungkinkan perbaikan percobaan boleh dimasukkan dalam bab ini juga dimasukan faktor kesalahan.

4.12 Kesimpulan

Dikemukakan semua hasil percobaan dalam ringkasan dan dari hasil-hasil itu kemudian ditarik kesimpulan.

4.13 Daftar Pustaka

4.13.1 Dituliskan pustaka yang dibaca atau dari mana telah diambil kutipan-kutipan, disusun dan diberi nomor urut.

4.13.2 Kutipan dapat diambil dari buku, majalah, catatan kuliah atau keterangan pribadi; asalkan disebutkan sumbernya sebagai berikut :

Untuk buku :

Nama pengarang (nama keluarga lebih dahulu), nama buku, jilid, edisi, penerbit, tempat penerbit, tahun terbit, dan halaman.

Untuk majalah :

Nama pengarang, nama majalah, nomor, jilid, halaman dan tahun terbit.

4.14 Lampiran

Dalam bab ini dimuat hal-hal yang tidak layak mendapat tempat didalam bagian utama laporan, seperti :

a. Semua data asli sebagaimana diamati dalam percobaan.
b. Data dan keterangan lain yang diperlukan, seperti grafik dan data kalibrasi.
c. Contoh setiap jenis perhitungan.

5. FORMAT LAPORAN

5.1 Digunakan kertas A4 (21x297 mm).

5.2 Margin kiri atas 4 cm, kanan dan bawah 3 cm.

Halaman yang membuat bab baru : margin atas 5 cm untuk nomor bab, 6 cm untuk judul bab, 7 cm untuk baris pertama bab tersebut.

5.3 Nomor halaman sebelum bab pendahuluan adalah tengah-tengah 2,5 cm dari tepi bawah dengan angka romawi kecil (i, ii, iii, iv, …dst).

Nomor halaman yang memuat bab baru adalah ditengah-tengah 2,5 cm dari tepi bawah dengan angka arab (1, 2, 3, 4, …dst).

Nomor halaman lain adalah dengan angka arab pula 2,5 cm dari tepi atas dan 4 cm dari tepi kanan.

5.4 Jarak antara baris-baris kalimat 1,5 spasi. Jarak antara judul dengan baris pertama 3 spasi, jarak antara baris-baris kalimat 1,5 spasi. Jarak antara judul dengan baris pertama 3 spasi, jarak antara baris-baris kutipan 1 spasi dan ditik sesudah 10 ketikan kosong.

5.5 Alenia baru yang tidak terikat oleh judul pasal, diketik agak ke dalam setelah 7 ketikan kosong. Aliran baru yang terikat oleh nomor judul pasal diketik sejajar dengan huruf petama judul pasal.

5.6 Gunakan penomoran urutan bab pasal sebagai berikut :

Bab. 1

1.1 …….

1.2 …….

1.2.1 …….

1.2.2 ……. dst

5.7 Gambar alat dan grafik hendaknya dibuat pada halaman tersendiri dan diberi keterangan secukupnya. Tabel dan gambar masing-masing harus diberi nomor urut (misalnya : Tabel 1, Gambar 1, dst). Semua gambar harus juga termuat dalam kertas A4 dan didalam bidang yang diberi batas garis 4 cm, dari tepi atas dan kiri, serta 3 cm dari tepi kanan dan bawah.

5.8 Tulis daftar pustaka sebagai berikut :

1. Sherwood, T.K, dan Pigford, R.L, 1952, ”Absorpstion and Extraction”, McGraw Hil, New York, hal 16-19.
2. Whitney,R.P. dan Vivian, J.E. “Ind. Eng. Chem, 33 (184J, hal 743).

6. PETUNJUK UMUM

6.1 Laporan harus rapi. Tulisan dan gambar harus terang dan dapat dibaca.

6.2 Laporan harus seksama dan benar, baik dalam bahasa dan ejaannya, maupun dalam perhitungannya. Jangan mempergunakan kata “saya”, “kami”, dan “kita”.

6.3 Sedapat mungkin jangan mengulang sesuatu pernyataan atau kalimat yang ada. Kalimat-kalimat dan ayat-ayat harus berhubungan satu sama lain secara wajar dan teratur.

6.4 Jangan semata-mata mengutip kalimat dari buku. Susunlah kalimat-kalimat menurut kesanggupan sendiri.

6.5 Pergunakan satuan metrik (SI unit) dalam setiap perhitungan.
Sebutkan satuan (unit) dalam lajur data sehingga cukup sekali saja dikemukakan.

PETUNJUK PRAKTIKUM LABORATORIUM OPERASI TEKNIK KIMIA

1. Pendahuluan

Tujuan diadakannya praktikum ***"Operasi Teknik Kimia"*** pada jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNTIRTA adalah :

1) Untuk dapat memahami dan mengerti akan dasar-dasar operasi teknik kimia melalui praktikum.
2) Untuk dapat berlatih dan mengerti akan teknik pengukuran dalam berbagai alat baik dalam operasi maupun dalam proses teknik kimia
3) Untuk dapat berlatih meningkatkan kemampuan dalam mengevaluasi dan menganalisa data dalam mengkaji kinerja berbagai untuk operasi dan proses teknik kimia.
4) Membekali kearah iklim kegiatan penelitian.

Buku petunjuk ini berisi tata tertib pelaksanaan, petunjuk pembuatan laporan dan kerangka pelaksanaa modul-modul untuk praktikum "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia I & II***". Keberadaan buku ini sangat penting bagi mahasiswa, asisten dan dosen pembimbing dalam mewujudkan tercapainya tujuan pelaksanaan praktikum "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia***".

Buku petunjuk praktikum "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia***" ini secara garis besar memuat tujuan dan sasaran yang harus dicapai oleh mahasiswa peserta praktikum "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia I & II***", sehingga mahasiswa tersebut setidak – tidaknya mengerti dan paham akan percobaan yang akan dilakukan.

Selain itu, modul ini juga bermanfaat bagi dosen pembimbing dan mengevaluasi apakah sasaran yang diminta terlalu tinggi atau terlalu rendah dibandingkan dengan dosen-dosen pembimbing yang lainnya.

Dengan adanya buku petunjuk Laboratorium Operasi Teknik Kimia, tidak ada lagi masalah penundaan jadwal praktikum akibat ketidakpastian mahasiswa dalam menunggu jadwal praktikum.

2. Tata Tertib Praktikum Laboratorium Operasi Teknik Kimia

2.1 Praktikan

1. Hanya mahasiswa yang menurut peraturan jurusan teknik kimia Untirta telah memenuhi syarat – syarat (baik syarat akademis, lulus seleksi masuk dan syarat administrasi) untuk melakukan praktikum di "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia***" Untirta yang diperkenankan mengikuti suatu praktikum Lab. OTK 1.
2. Hanya praktikan yang telah menyelesaikan semua kewajiban di Lab. OTK 1 (Pengembalian/penggantian alat dan pembayaran uang Lab) yang berhak untuk mendapatkan nilai evaluasi hasil praktikum.
3. Setiap kelompok praktikan diwajibkan memiliki buku harian (jurnal) Lab. Untuk mencatat hasil dan segala hal yang berhubungan dengan jalannya kegiatan lab OTK 1.

2.2 Praktikum

1. Sebelum melakukan percobaan, semua hal yang berhubungan dengan teori, alat-alat, bahan, dan pelaksanaan percobaan harus telah dipahami benar-benar.
2. Pengujian bimbingan akan dilakukan oleh pembimbing praktikum, setiap kali sesuatu percobaan akan dilakukan. Untuk hal ini 8 – 10 hari sebelum praktikum dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, "**Hendaknya menemui pembimbing yang bersangkutan untuk menentukan jadwal pembicaraan**". Bila pada suatu pengujian lisan hasilnya kurang memuaskan, maka pembimbing yang bersangkutan dapat mengadakan pengujian ulang.
3. Apabila pembimbing telah mengijinkan bahwa praktikum dapat dilaksanakan, pembimbing akan dan harus menuliskan tugas kepada kelompok praktikum pada formulir "**LEMBAR PENUGASAN**". Tanpa ditentukannya tugas secara tertulis didalam formulir "**LEMBAR PENUGASAN**", kelompok praktikan tidak diijinkan melakanakan praktikum tersebut.

4. Data yang diperoleh dari pengamatan dan atau perlu dicatat dari referensi harus dituliskan pada "**LEMBAR DATA**".
5. Segera setelah praktikum untuk sesuatu percobaan selesai, "**LEMBAR PENUGASAN**" dan "**LEMBAR DATA**" harus diserahkan kepada asisten.
6. Setiap kali "**LEMBAR PENUGASAN**" dan "**LEMBAR DATA**" diterima asisten, maka olehnya harus diisikan tanggal dan paraf "**formulir bukti penyerahan**".
7. Selama percobaan, aturan-aturan keselamatan harus diperhatikan dan ditaati, antara lain :
   - Dilarang makan, minum dan merokok saat melakukan praktikum.
   - Mengenakan baju lab dan sepatu.
   - Diwajibkan menggunakan perlengkapan khusus sesuai dengan keperluannya dalam kegiatn-kegiatan tertentu.
   - Melaporkan segala hal/kejadian kepada pembimbing atau asisten yang terdekat.
   - Selama melaksanakan praktikum sekurang-kurangnya ada 2 orang di dalam ruang tempat bekerja.
   - Melaporkan segala kerusakan/ketidakberesan di laboratorium, terutama yang berkaitan dengan sarana pendukung (air, gas, listrik dan udara tekan) kepada pembimbing atau asisten.
8. Waktu praktikum adalah sebagai berikut :

   Hari Senin, Selasa, Rabu dan Kamis Jam 08.00 – 17.00 WIB

   Sesuai jadwal yang telah dibuat, jika ada perubahan akan direvisi/disesuaikan (jadwal susulan).
9. Setelah selesai melaksanakan praktikum diwajibkan untuk membersihkan dan merapikan alat-alat, menyimpan kembali ke tempat asal serta mematikan semua sarana pendukung yang digunakan dan memutuskan aliran dari sumbernya.

2.3 Alat dan Bahan

1. Peminjaman serta pemakaian alat dan bahan dari gudang dilakukan oleh praktikan. Dengan menggunakan bon peminjaman yang telah dibubuhi tanda tangan persetujuan dari pembimbing atau asisten masing-masing percobaan.
2. Dalam bon peminjaman alat atau permintaan bahan tersebut harus dicantumkaan jumlah serta spesifikasi/kualitas yang diminta dengan jelas dan seksama, satu lembar bon hanya diperuntukkan bagi satu jenis atau satu macam bahan saja.
3. Semua alat (instumentasi, barang gelas) yang dipinjam, menjadi tanggung jawab praktikan yang bersangkutan, dan dikembalikan dalam keadaan bersih dan baik. Dalam hal barang gelas yang dikembalikkan telah sedemikian kotor sehingga tidak dapat dibersihkan lagi, dianggap sebagai alat rusak dan harus diganti sesuai dengan aturan penggantian alat dari laboran.
4. Dalam hal alat yang dipinjam merupakan satu set lengkap, harus kembali dalam keadaan satu set lengkap pula.
5. Dalam hal menggunakan alat yang telah tersedia di Laboratorium, seperti timbangan, oven ataupun perkakas reparasi, harus sesuai dengan petunjuk masing-masing alat dan mengisi daftar pemakai yang tersedia serta seizin praktikan/asisten/laboran yang tengah bertanggung jawab terhadap alat tersebut.
6. Semua alat yang dipinjam dari gudang tidak boleh dipindah tangankan.
7. Bahan yang berlebihan dan masih baik harus dikembalikan ke gudang bahan yang seharusnya dapat diregenerasi (seperti *silica gel*), tetapi rusak karena kelalaian dalam pemakaian, dianggap sebagai rusak dan harus diganti.
8. Kehilangan air raksa dari manometer harus diganti oleh praktikan yang bersangkutan.
9. Penyelesaian peminjaman dan atau penggantian alat/bahan harus dibereskan dalam jangka waktu 2 minggu setelah praktikum terakhir

selesai, serta menunjukkan surat keterangan penyelasaian gudang/bengkel kepada Kepala "***Laboatorium Operasi Teknik Kimia***" selambat-lambatnya 14 hari setelah praktikum terakhir selesai.

2.4 Laporan

1. Setelah percobaan harus dilaporkan dalam jenis laporan, jumlah dan format seperti yang telah ditentukan dalam petunjuk pembuatan laporan, serta dengan mempergunakan halaman muka yang disediakan.
2. Bila sesuatu percobaan diselesaikan pada tanggal (n) laporan lengkap harus diserahkan selambat-lambatnya jam 12.00 tanggal (n+3). Hari libur resmi tidak diperhitungkan.
3. Setiap kali menerima laporan (lengkap), maka Kepala Laboratorium harus membubuhkan tanggal dan paraf pada "***Formulir Bukti Penyerahan***". Dalam hal Kepala "***Laboratorium Operasi Teknik Kimia***" berhalangan hadir maka laporan diserahkan kepada ***Laboran*** "***Lab. OTK***" .
4. Keterlambatan atas penyerahan laporan akan diperhitungkan sebagai pengurangan nilai laporan. Laporan yang diserahkan dalam jangka waktu keliapatan 24 jam setelah saat penyerahan yang ditentukan, akan dipotong nilainya dengan kelipatan 10 %.
5. Kurang (-) 7 hari setelah laporan diserahkan kelompok praktikan harus menghubungi pembimbing untuk menentukan jadwal pembicaraan laporan.

2.5 Penilaian

Penilaian akhir ditentukan oleh :

- Nilai pembicaraan awal.
- Nilai *Performance* Praktikum (Nilai Asisten Lab).
- Nilai Laporan.
- Nilai Ujian Akhir.

2.6 Sanksi

1. Pada praktikan/kelompok akan dikenakan sanksi atas setiap pelanggaran terhadap ketentuan-ketentuan di atas.

2. Sanksi dapat diberikan oleh setiap pembimbing, koordinator atau wakil Koordinator Lab TK.
3. Sanksi berupa pemberian surat peringatan.

2.7 Lain – lain

1. Hal-hal lain yang belum diatur dalam edaran ini akan diatur kemudian.
2. Segala perubahan dan atau perbaikan terhadap isi edaran ini hanya dapat dilakukan oleh Koordinator Lab TK.

Isi edaran ini mulai belaku sejak tanggal diterbitkan.

Cilegon, Agustus 2016

Koordinator Lab. OTK

ABSORPSI

I. Tujuan Praktikum

a. Melihat perbandingan kelarutan gas tertentu (seperti CO_2, dan sebagainya) dengan membuat variasi beberapa variabel seperti :
   - Suhu cairan.
   - Laju alir cairan.
   - Konsentrasi gas terlarut.
   - Waktu pengontakan.
   - Tinggi isian menara / *packing*, dan lain – lain.

b. Membandingkan kurva kesetimbangan hasil dari operasi dengan kurva kesetimbangan pada literatur.

II. Alat dan Bahan

1. Bahan dan zat kimia yang diperlukan

a) Untuk Pengoperasian :
   - Gas CO_2 murni.
   - Udara (dari kompressor).
   - Air bersih.
   - Es.

b) Untuk analisa sampel :
   - Natrium hidroksida (NaOH) : 1 N.
   - Aquadest.
   - Indikator phenolphtalin.

2. Peralatan yang diperlukan

a) Untuk pengoperasian :
   - *Absorption column* 1 unit.
   - CO_2 *bottle* dan *regulator.*
   - Kompressor.
   - Termometer.

- *Beaker glass* 500 ml dan 1000 ml.
- *Stopwatch.*

b) Untuk analisa :

- Buret 50 ml.
- Erlenmeyer 100 ml.
- *Beaker glass* 250 ml dan 1000 ml.
- Pipet volume 10 ml dan 25 ml.
- Karet sedot
- Statif untuk buret.
- Corong kaca.

III. Deskripsi Peralatan

Peralatan praktikum absorber terdiri dari suatu rangkaian kolom berpaking, yang terdiri dari :

1. Kolom absorber kaca (kolom paking).
2. Tangki umpan.
3. Rangkaian perpipaan dan alat ukur laju alir / tekanan.
4. Sumber gas murni (missal CO_2) dan regulator.

Peralatan absorbsi dapat dilihat pada gambar berikut :

Keterangan :

M – 1 = Manometer pengukur penurunan tekanan kolom

M – 2 = Manometer pengukur laju alir udara

M – 3 = Manometer pengukur laju alir cairan

V – 1 = Kerangan *bypass* sembur cairan

V – 2 = Kerangan pengatur laju alir cairan

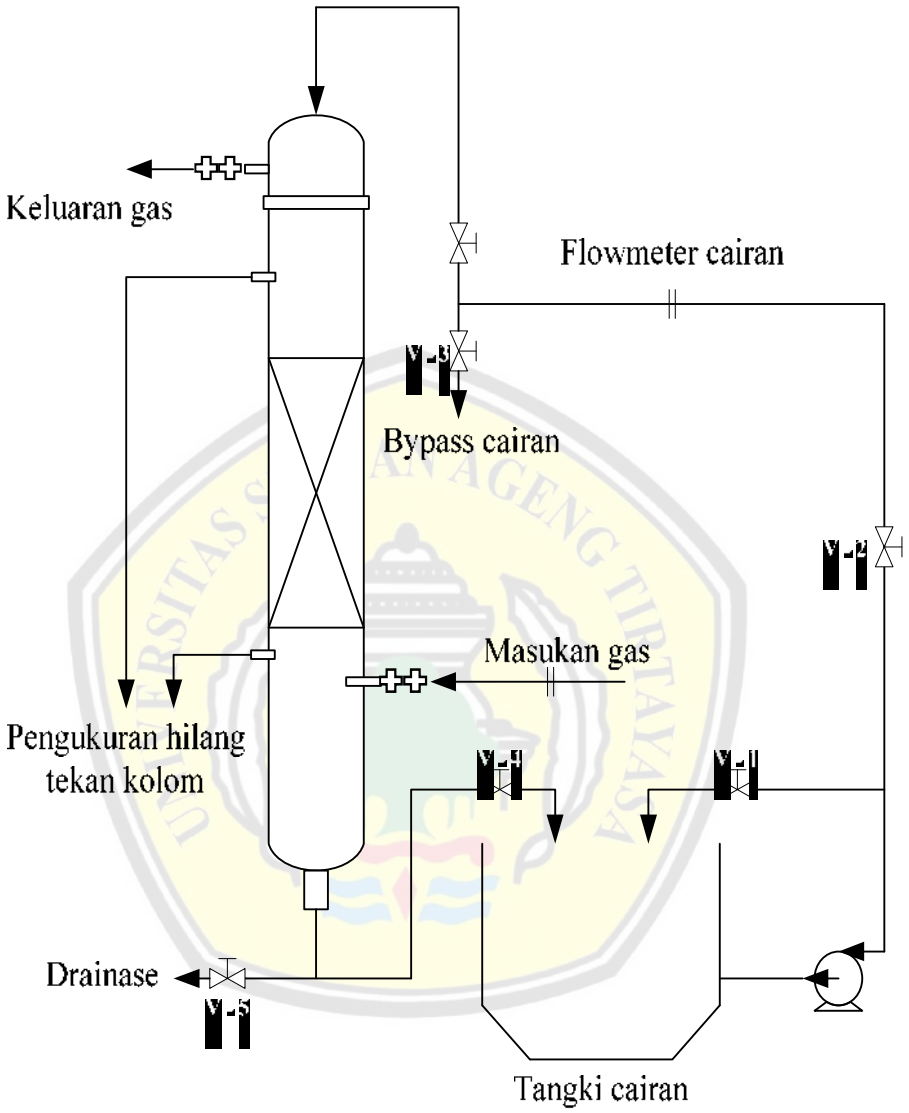
V – 3 = Kerangan kalibrasi orificemeter

V – 4 = Kerangan pengatur aras cairan di dasar kolom

V – 5 = Kerangan drainase kolom

V – 6 = Kerangan pengatur laju alir udara

NV – 1 = Kerangan jarum pengukur laju alir udara



Gambar A.1 Skema Perangkat Kontaktor Gas Cair

IV. Dasar Teori

1. Teori Umum

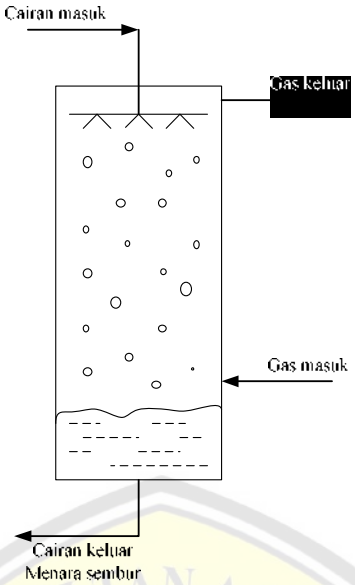
Peralatan absorpsi gas terdiri dari sebuah kolom berbentuk silinder atau menara yang dilengkapi dengan pemasukan gas dan ruang distribusi pada bagian bawah ; pemasukan zat cair dan distributornya pada bagian atas, pengeluaran gas dan zat cair masing-masing diatas dan dibawah.

Serta diisi dengan massa zat tak aktif (*inert*) diatas penyangganya yang disebut isian menara (*towerpacking*). Zat cair yang masuk berupa pelarut murni atau larutan encer zat terlarut dalam pelarut disebut cairan lemah (*weak liquor*), didistribusikan diatas isian dengan distributor secara seragam.

Gas yang mengandung zat terlarut, disebut gas kaya (*rich gas*), masuk ke ruang pendistribusian melalui celah isian, berlawanan arah dengan zat cair. Isian itu memberikan permukaan yang luas untuk kontak antara zat cair dan gas sehingga membantu terjadinya kontak yang maksimal antara kedua fase, dan terjadi penyerapan zat terlarut yang ada di dalam *rich gas* oleh zat cair yang masuk ke dalam menara dan gas encer (*lean gas*) keluar dari atas. Sambil mengalir kebawah, zat cair makin kaya zat terlarut, dan keluar dari bawah menara sebagai cairan pekat (*strong liquor*).

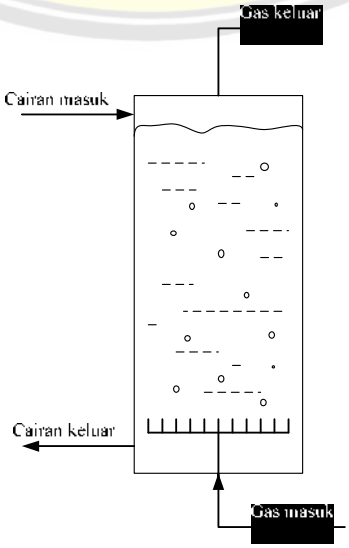
2. Model / Jenis Alat Transfer Massa

Operasi transfer massa umumnya dilakukan dengan menggunakan manara yang dirancang sedemikian sehingga diperoleh kontak yang baik antara kedua fase. Alat transfer massa yang berupa menara secara umum dapat dibagi ke dalam 4 golongan, yaitu : menara sembur, menara gelembung, menara pelat dan menara paking.



Gambar 1. Menara Sembur

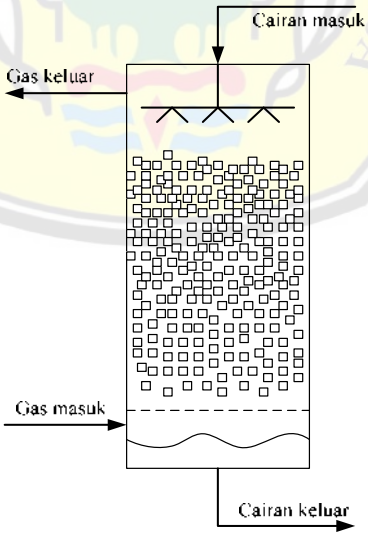
Menara sembur terdiri dari sebuah menara, dimana dari puncak menara cairan disemburkan dengan menggunakan nosel semburan. Tetes – tetes cairan akan bergerak ke bawah karena gravitasi, dan akan berkontak dengan arus gas yang naik ke atas (lihat gambar 1). Nosel semburan dirancang untuk membagi cairan kecil – kecil. Makin kecil ukuran tetes cairan, makin besar kecepatan transfer massa. Tetapi apabila ukuran tetes cairan terlalu kecil, tetes cairan dapat terikut arus gas keluar. Menara sembur biasanya digunakan umtuk transfer massa gas yang sangat mudah larut.



Gambar 2. Menara gelembung

Menara gelembung terdiri dari sebuah menara, dimana di dalam menara tersebut gas didispersikan dalam fase cair dalam bentuk gelembung. Transfer massa terjadi pada waktu gelembung terbentuk dan pada waktu gelembung naik ke atas melalui cairan (gambar 2). Menara gelembung digunakan untuk transfer massa gas yang relatif sukar larut. Gelembung dapat dibuat misalnya dengan pertolongan distributor pipa, yang ditempatkan mendatar pada dasar menara.

Menara pelat adalah menara yang secara luas telah digunakan dalam industri. Menara ini mempunyai sejumlah pelat dan fasilitas yang ada pada setiap pelat, maka akan diperoleh kontak yang sebaik-baiknya antara fase cair dengan fase gas. Fasilitas ini dapat berupa topi gelembung (*bubble caps*) atau lubang ayak (*sieve*), gambar 5. Pada pelat topi gelembung dan lubang ayak, gelembung – gelembung gas akan terbentuk. Transfer massa antar fase akan terjadi pada waktu gelembung gas terbentuk dan pada waktu gelembung gas naik ke atas pada setiap pelat. Cairan akan mengalir dari atas ke bawah melintasi pelat di dalam kolom.



Gambar 3. Menara paking

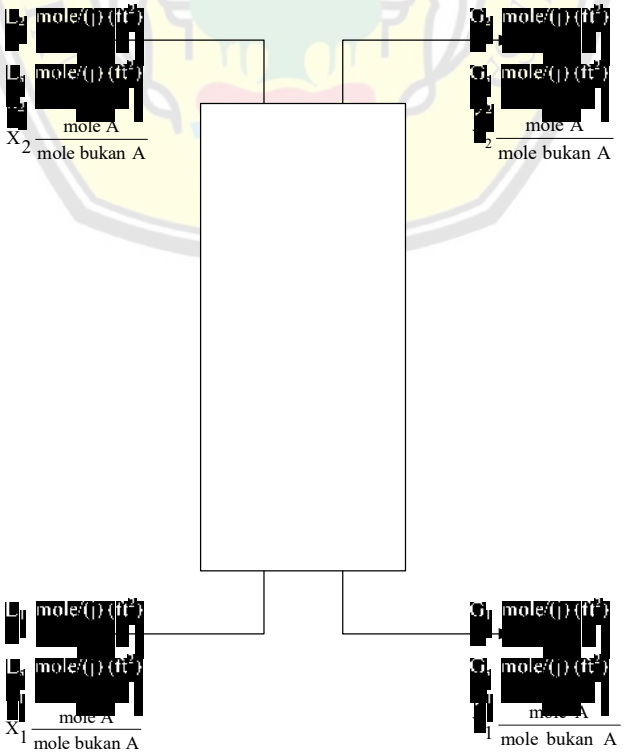
Menara paking adalah menara yang diisi dengan bahan pengisi, gambar 3. Adapun fungsi bahan pengisi ialah untuk memperluas bidang kontak antara kedua fase. Bahan pengisi yang banyak digunakan antara lain

cincin rasching, cincin lessing, cincin partisi, sadel bell, sadel intalox dan cicin pall. Di dalam menara ini, cairan akan mengalir ke bawah melalui permukaan bawah pengisi, sedangkan cairan akan mengalir ke atas secara arus berlawanan, melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi.

Persyaratan yang diperlukan untuk isian menara ialah :

1. Tidak bereaksi (kimia) dengan fluida di dalam menara.
2. Mengandung cukup banyak laluan untuk kedua arus tanpa terlalu banyak zat cair yang terperangkap (*hold up*) atau menyebabkan penurunan tekanan terlalu tinggi.
3. Memungkinkan terjadinya kontak yang memuaskan antara zat cair dan gas.
4. Harus kuat, tetapi tidak terlalu berat, serta tidak terlalu mahal.

Kalau diperhatikan cara kontak antara fase – fase yang berkontak di dalam keempat menara tersebut, maka ada dua macam cara kontak yaitu : cara kontak kontinyu yang terjadi di menara sembur, menara gelembung dan menara paking, dan cara kontak bertingkat yang terjadi di menara pelat.



Gambar 4. Transfer massa dalam keadaan tetap arus berlawanan

3. Perhitungan Dasar Neraca Massa

Ditinjau suatu operasi transfer massa dalam keadaan tetap secara arus berlawanan, dimana fase – fase yang berkontak dan saling tidak dapat larut adalah fase G dan L, seperti terlihat pada gambar 5.

Di dalam diagram tersebut Ls dan Gs adalah arus I, dan G dengan dasar bebas solute, sehingga Ls dan Gs adalah arus – arus dari komponen yang tidak mendifusi dalam arus L dan G. Sedangkan x dan y masing – masing adalah fraksi mol A di dalam fase L dan G.

Apabila dibuat neraca bahan komponen A disekitar alat transfer massa, maka diperoleh :

$$G_1 y_1 + L_2 x_2 = G_2 y_2 + L_1 x_1 \quad \text{.....(1.1)}$$

atau

$$G_1 y_1 - G_2 y_2 = L_1 x_1 - L_2 x_2 \quad \text{.....(1.2)}$$

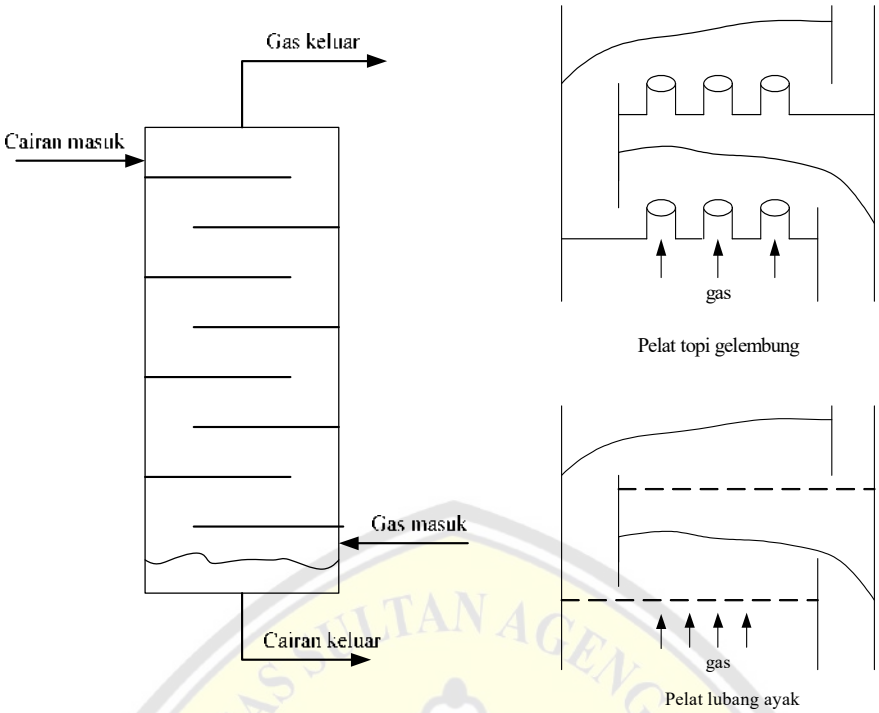
Hubungan yang lebih sederhana akan diperoleh, apabila tidak digunakan konsentrasi fraksi mol, tetapi digunakan konsentarsi dengan dasar bebas solut. Hubungan antara konsentrasi dengan dasar bebas solut dan fraksi mol adalah sebagai berikut :

$$X = \frac{x}{1-x} \quad \text{.....(1.3)}$$

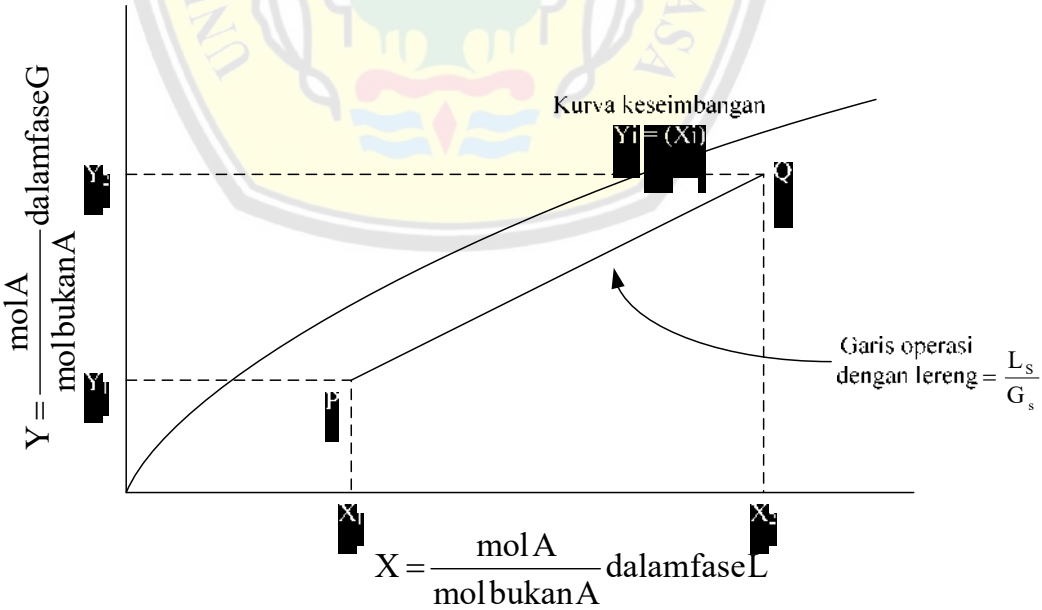
$$Y = \frac{y}{1-y} \quad \text{.....(1.4)}$$

Dengan konsentrasi dasar bebas solut, maka kecepatan aliran yang digunakan sekarang adalah kecepatan aliran dengan bebas solut yaitu L_S dan G_S, sehingga persamaan (1.2) menjadi :

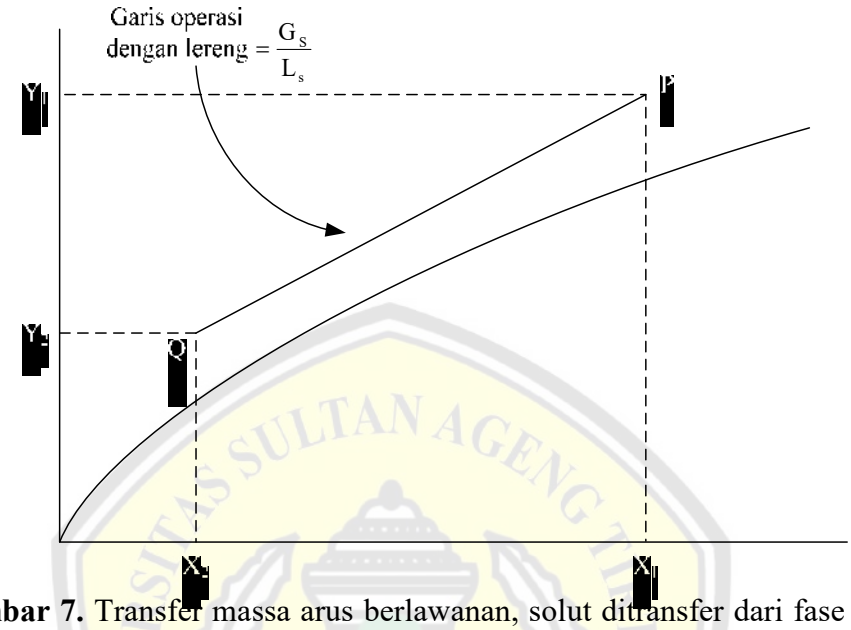
$$G_S(Y_1 - Y_2) = L_S(X_1 - X_2) \quad \text{.....(1.5)}$$



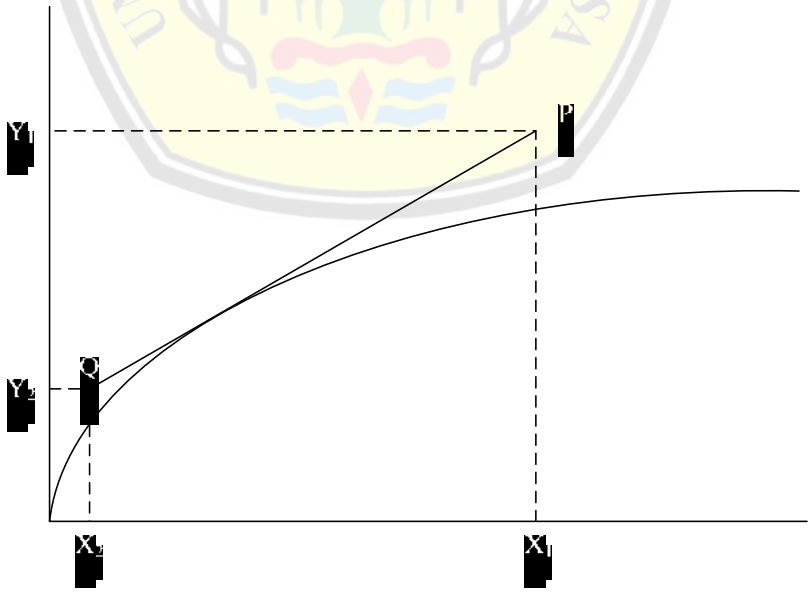
Gambar 5. Menara pelat.



Gambar 6. Transfer massa arus berlawanan, solut ditransfer dari fase L ke fase G.



Gambar 7. Transfer massa arus berlawanan, solut ditransfer dari fase G ke fase L.



Gambar 8. Garis operasi menyinggung kurva keseimbangan.

V. Prosedur Percobaan

Peralatan *absorber column* yang telah terpasang diperiksa terlebih dahulu aliran dan valve dalam keadaan baik. Praktikan dapat membaca gambar/skema secara seksama sesuai dengan yang ada pada peralatan.

A. Kalibrasi Orificemeter.

1. Pastikan semua *valve* pada jalur cairan dalam keadaan tertutup. Isi tangki cairan dengan air kira-kira 2/3 volume tangki. Buka penuh *valve by pass* 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 system beroperasi hingga mencapai keadaan konstan. Catat pembacaan manometer.
3. Siapkan wadah penampung cairan (*beaker glass*) dan *stop watch*.
4. Setelah kondisi konstan, buka *valve* kalibrasi V-3. Tunggu beberapa menit hingga alirannya konstan kembali, kemudian tampung sejumlah cairan yang keluar dengan mencatat waktu yang diperlukan untuk penampungan tersebut.
5. Tutup kembali *valve* V-3, kemudian ubah kedudukan valve V-2 sehingga penunjukkan manometer M-2 berubah. Tunggu sampai konstan, catat penunjukkan manometer.
6. Ulangi dari langkah no.4, sampai didapatkan sejumlah data pembacaan manometer, volume cairan tertampung dan waktu penampungan yang cukup untuk membuat kurva kalibrasi.
7. Untuk setiap titik sebaiknya dilakukan beberapa kali untuk mengambil rata – ratanya.

B. Pengujian daya serap gas terhadap cairan (absorpsi) dengan beberapa variasi.

a. Variasi suhu terhadap laju alir cairan.

1. Bersihkan tangki penampungan cairan, gantikan dengan air yang baru.

2. Hidupkan pompa cairan, buka valve pengatur laju cairan pada posisi 25 % penuh. Perhatikan manometer, setelah konstan catat penunjukan manometer.
3. Sebelumnya perlu dipersiapkan konsentrasi gas CO_2 sama dengan konsentrasi udara 50 %, dengan mengatur bukaan valve dan tekanan gas yang masuk ke kolom.
4. Setelah komposisi gas masuk tepat, tunggu beberapa menit untuk mensirkulasi seluruh cairan didalam tangki sehingga proses absorpsi maksimum.
5. Lakukan pengambilan sampel 20 ml untuk dianalisa dengan titrimetri.
6. Kemudian variasikan bukaan 50, 75, dan 100 % bukaan.
7. Setelah menutup laju aliran gas dan cairan, tambahkan bongkahan es secukupnya ke dalam tangki, untuk temperatur supaya turun sekitar 5 ^oC, setelah konstan baru operasi dilanjutkan kembali.
8. Hidupkan pompa cairan, atur bukaan valve 25 % seperti diatas, buka aliran gas dan udara, tunggu hingga proses stabil. Setelah 5 menit ambil sampel untuk dianalisa.
9. Lakukan operasi selanjutnya untuk variasi bukaan 50, 75, dan 100 %.
10. Ulangi untuk penurunan temperatur cairan 5 ^oC selanjutnya. Buat data percobaan dan hasil analisa (lihat lampiran).

b. Variasi suhu cairan dan konsentrasi CO_2.

1. Pastikan kondisi *valve* gas dan udara, agar tidak ada kebocoran pada saat operasi berlangsung.
2. Hidupkan pompa cairan, atur bukaan *valve* pada posisi bukaan penuh.
3. Setelah laju alir konstan, buka aliran udara penuh dan gas ditutup. Biarkan operasi berlangsung 5 menit.
4. Ambil sampel untuk dianalisa kadar gas terlarutnya untuk temperatur standar.
5. Lanjutkan operasi untuk konsentrasi CO_2 = 25 %, set bukaan gas dan udara. Setelah operasi konstan, ambil sampel untuk dianalisa.

6. Lakukan beberapa kali dengan menaikkan konsentrasi CO_2 hingga 100 %. Matikan pompa dan aliran gas.
7. Tambahkan bongkahan es sambil duduk sampai temperatur turun 5 ^oC. Setelah konstan lanjutkan operasi untuk bukaan gas 25 – 100 %. Lakukan pengambilan sampel setiap 5 menit.
8. Buat data percobaan dan analisa seperti pada lampiran.

c. Variasi suhu cairan dan waktu pengontakan.
1. Setelah air dalam tangki diganti, atur bukaan *valve* CO_2 dan udara pada posisi menengah (50 %).
2. Hidupkan pompa air, bukaan penuh. Tunggu sampai sirkulasi konstan.
3. Buka aliran gas dan udara, operasikan pada suhu kamar dengan kenaikan waktu pengontakan 2 menit untuk setiap pengambilan sampel.
4. Setelah proses konstan lakukan pengambilan sampel tanpa menghentikan operasi, lakukan beberapa kali setiap 2 menit.
5. Hentikan operasi bila pengambilan sampel telah selesai.
6. Setelah penambahan es tunggu hingga temperatur konstan dengan penurunan 5 ^oC.
7. Lakukan operasi dan pengambilan sampel seperti diatas.
8. Setelah data yang siambil selesai, lakukan penurunan temperatur untuk tahap selanjutnya dan ulangi lagi seperti no.4 dan no.8.

d. Variasi laju alir cairan dengan konsentrasi CO_2.
1. Ganti air dalam tangki penampungan sampai ¾ penuh. Hidupkan pompa cairan, tunggu hingga aliran konstan, lakukan operasi pada konsentrasi gas (CO_2) = 0
2. Buka *valve* udara, jaga jangan sampai tekanan berlebihan.
3. Mulai dengan bukaan *valve* ¼ penuh, biarkan operasi berlangsung konstan, setelah 5 menit ambil sampel. Kemudian lakukan untuk bukaan ½, ¾, dan bukaan penuh.
4. Lakukan pengambilan sampel untuk analisa pada setiap pengujian.

5. Matikan pompa cairan dan hentikan aliran udara, Atur bukaan *valve* cairan mulai dari yang kecil, juga atur konsentrasi gas pada 25 %. Mulai operasi awal 5 menit, ambil sampel lalu naikkan bukaan *valve* sambil dilakukan pengambilan sampel untuk setiap bukaan.
6. Ubah konsentrasi gas pada 50 %, lakukan langkah no.5 mulai dari bukaan terkecil sambil dilakukan pengambilan sampel.
7. Lakukan langkah seperti diatas untuk konsentrasi gas 75 dan 100 %. Buat tabel data seperti pada lampiran.

e. Variasi laju cairan dengan waktu kontak.
1. Setelah air dalam tangki diganti, hidupkan pompa cairan hingga alirannya konstan. Lalu atur pada bukaan ¼ penuh.
2. Operasikan pada bukaan CO_2 dan udara seimbang 50 % bukaan.
3. Gunakan *stop watch* untuk menentukan lamanya operasi.
4. Lakukan pengambilan sampel untuk setiap interval 2 menit, lakukan beberapa kali sesuai tugas.
5. Tutup aliran gas dan udara, baru kemudian buka *valve* cairan pada posisi ½ penuh.
6. Buka *valve* gas dan udara seperti no.2, biarkan operasi berlangsung. Lakukan pengambilan sampel setiap 2 menit.
7. Setelah selesai, mulai kembali operasi untuk bukaan ¾ dan penuh. Lakukan pengambilan data dan sampel seperti diatas. Buat tabel seperti pada lampiran.

f. Variasi konsentrasi gas (CO_2) dengan waktu kontak.
1. Setelah penggantian air dalam tangki, atur *valve* air pada posisi ½ penuh, baru hidupkan pompa cairan. Tinggi hingga aliran air konstan.
2. Lakukan operasi pada konsentrasi gas = 0 %, buka aliran udara. Lakukan pengambilan sampel setiap 2 menit.
3. Hentikan aliran udara, naikkan konsentrasi CO_2 pada 25 %, atur bukaan udara dan CO_2. Setelah konstan lakukan operasi. Ambil sampel setiap 2 menit.

4. Ulangi operasi dengan menaikkan konsentrasi CO_2 pada 50, 75 dan 100 %. Serta pengambilan sampel untuk analisa setiap 2 menit.
5. Buatlah data hasil operasi dan analisa seperti pada lampiran.

Variasi di atas hanya merupakan alternatif untuk operasi di laboratorium unit operasi kimia, beberapa faktor yang berpengaruh lainnya dapat dikombinasikan untuk mengetahui spesifikasi dari proses absorpsi.

C. Prosedur Analisa.

Untuk menganalisa sampel hasil operasi absorpsi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

a. Pengukuran pH dengan pH meter.
b. Potensiograph.
c. Gas kromatografi.
d. Refraktometer.
e. Titrimetri.
f. dan lain – lain.

Dalam percobaan ini kita menggunakan metode titrimetri , yaitu analisa sampel dengan melakukan titrasi dan indikator penunjuk sehingga diperoleh konsentrasi gas terlarut dalam cairan dimana konsentrasi gas berbanding lurus dengan volume titran. Karena reaksi yang terjadi pada proses absorpsi pada percobaan ini antara CO_2 dan air adalah :

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

Maka konsentrasi H_2CO_3 yang berbanding lurus dengan konsentrasi CO_2 terlarut dapat diketahui dengan menggunakan titran NaOH atau lebih baik basa lemah, dengan reaksi :

$$NaOH + H_2CO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

Prosedur untuk melakukan analisa, adalah sebagai berikut :

1. Ambil sampel yang ingin dianalisa dengan beaker glass 50 ml.

2. Persiapkan buret titrasi yang telah dicuci bersih dengan aquadest dan dikeringkan. Pasang pada statif.
3. Atur posisi buret supaya lurus sehingga tepat dalam pembacaan skala.
4. Buat larutan NaOH dengan konsentrasi 0,5 N dan 1 N, atau gunakan larutan NaOH yang telah disediakan.
5. Isi buret dengan NaOH 0,5 N dan 1 N pada masing – masing buret.
6. Sedot sampel 10 ml dengan pipet volume, masukkan ke dalam Erlenmeyer, tambahkan beberapa tetes indikator PP.
7. Lakukan proses titrasi sambil digoyang perlahan – lahan agar pencampuran merata.
8. Sambil mengamati titik akhir titrasi, bukaan buret harus tetap dijaga supaya volume titran tepat berakhir pada titik akhir titrasi.
9. Lakukan analisa 2 kali agar bisa diambil rata – rata volume titrasi.
10. Catat data analisa pada tabel yang telah tersedia untuk dibahas atau dilakukan perhitungan lebih lanjut.

D. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3)

Untuk menjaga keselamatan selama bekerja di laboratorium 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 dan sesudah praktikum berlangsung.
d. Mintalah bantuan teknisi atau dosen pembimbing bila mengalami kesulitan selama praktikum.

ALIRAN FLUIDA

I. Tujuan Praktikum : Mahasiswa dapat memahami sifat suatu fluida dalam sistem perpipaan beserta kelengkapan-kelengkapannya seperti *elbow*, *fitting*, *valve*, dan perubahan luas permukaan pipa.

II. Alat dan Bahan :

2.1 Rangkaian alat aliran fluida yang terdiri dari:

- Sistem perpipaan dan kelengkapannya
- Piknometer
- *Viscometer Ostwald*
- Termometer
- Gelas ukur
- Penggaris / meteran
- Tempat penampung

2.2 Bahan:

- Air

III. Deskripsi Peralatan:

3.1 Sistem perpipaan aliran fluida dilengkapi dengan:

1. Pompa
2. Pipa dengan ukuran diameter ½ in, ¾ , 1, 1 ¼ in
3. *Elbow*
4. *Fitting* dengan
5. *Valve*

IV. Dasar Teori :

Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume, fluida dapat digolongkan menjadi 2 yaitu:

1. **Fluida tak termampatkan (*incompressible*)**

   Pada kondisi ini fluida tidak mengalami perubahan dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida tak termampatkan.

2. **Fluida termampatkan (*compressible*)**

   Pada keadaan ini, fluida mengalami perubahan volume dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida ini secara umum disebut fluida termampatkan.

A. Dasar-dasar perhitungan

Untuk menganalisa suatu fluida, maka dasar-dasar yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. **Neraca massa**

   Untuk fluida tak termanpatkan (*incompressible fluidis*) berlaku hukum kontinuitas dimana massa yang masuk sama dengan massa yang keluar.

$$Vi \,.\, Ai = Vo \,.\, Ao \quad \text{.....} (1)$$

Dimana:

Vi = volume masuk (m^3)

Ai = luas penampang saat masuk (m^2)

Vo = volume keluar (m^3)

Ao = luas penampang saat keluar (m^2)

Atau:

$$mi = mo$$

$$\rho i \,.\, Vi \,.\, Ai = \rho o \,.\, Vo \,.\, Ao \quad \text{.....} (2)$$

Dimana:

ρ_i = densitas fluida *input*

ρ_o = densitas fluida *output*

Untuk fluida termampatkan harga densitas masuk sama dengan harga densitas keluar ($\rho_i = \rho_o$), sedangkan untuk fluida tak termampatkan ρ_i tidak sama dengan ρ_o. Untuk menentukan laju alir fluida (Q) dapat digunakan persamaan :

$$Q = V \cdot A \quad (m^3/det) \quad \text{.....} (3)$$

Dan laju alir fluida massa (Q)

$$G = V \cdot \rho \quad (kg/m^2 dtk) \quad \text{.....} (4)$$

2. Neraca energi

Untuk sistem perpipaan fluida dapat dibedakan sebagai berikut :

(E.dalam + E.potensial + E.kinetik + E.tekanan) input

= (E.dalam + E.potensial + E.kinetik + E.tekanan) output + E.kerja + E.panas + E.yang hilang

Persamaan di atas jika dinyatakan dalam energi per satuan massa akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Z1.g + \frac{V1^2}{2} + \frac{P1}{\rho} = Z2.g + \frac{V2^2}{2} + \frac{P2}{\rho} + W + \sum F_f + Q \quad \text{.....} (5)$$

Jika faktor W dan Q = 0 maka persamaan tersebut menjadi persamaan Bernoulli

$$Z1.g + \frac{V1^2}{2} + \frac{P1}{\rho} = Z2.g + \frac{V2^2}{2} + \frac{P2}{\rho} + \sum F_f \quad \text{.....} (6)$$

dimana

P = Tekanan fluida (N/1792)

Z = Tinggi suatu bidang dari suatu bidang reflaksi (m)

g = Percepatan gravitasi (m/det^2)

ρ = Densitas fluida (Kg/m^3)

Ws = *Shaft work*, yaitu kerja/energi yang diterima oleh fluida dari pompa (untuk menaikan energi mekanik fluida (J/Kg))

V = Kecepatan rata-rata (m/det)

B. Kehilangan gesekan pada sistem perpipaan

(*friction loss* = F_f)

Head loss dapat dikategorikan dalam dua bagian, yaitu:

1. **Head loss karena tahapan pipa yang terbentang sepanjang pipa**

$$Ff = \frac{\Delta P}{\rho} = 4\frac{fL}{D}.\frac{V^2}{2} \quad \text{.....(7)}$$

Dimana:

Ff = *friction loss* / *head loss* (J/Kg)

L = panjang pipa (m)

F = *factor friction* / *fanning factor*

D = kecepatan rata-rata (m)

Harga "f" dapat dipengaruhi oleh besarnya E/D dari Nre, untuk menentukan bilangan renold dapat menggunakan :

$$Nre = \frac{\rho\, V\, D}{\mu} \quad \text{.....(8)}$$

2. **Friction loss (F)**, karena adanya perlengkapan pipa *friction loss* (F) juga dipengaruhi oleh karakteristik perlengkapan fluida seperti *elbow* (belokan), kerangan, ekspansi dan lain-lain. Dengan memisahkan antara pipa lurus dan pipa ber-*fitting* dan memasukan harga *factor* yang tergantung pada jenis *fitting* masing-masing.

$$\Delta Pf = \rho\, f = \left[\frac{fL}{D} + kf\right].\frac{V^2}{2} \quad \text{.....(9)}$$

Dimana : kf = koefisien kehilangan masing-masing *fitting*

Untuk koefisien tersebut dapat dilihat pada:

a. Friction loss karena kerangan (Ffv)

$$Ffv = Kfv \cdot \frac{V^2}{2} \quad \text{.....(10)}$$

"L" dianggap nol (0) karena diasumsikan tidak ada pipa lurus dan harga kf tergantung pada besar dan jenis kerangan.

b. Friction loss karena adanya belokan (Ffelb)

$$Ff\ elb = Kf\ elb \cdot \frac{V^2}{2} \quad \text{.....(11)}$$

harga Kfelb tergantung pada besarnya jari-jari *elbow* terhadap jari-jari pipa.

c. Friction loss karena adanya kontraksi tiba-tiba (Ffc)

$$Ffc = 0.55\,(1 - A).\,V \quad \text{.....(12)}$$

Dimana: $0.55\left[1 - \frac{A2}{A1}\right] = kfc$

A1 = luas permukaan terkecil (m^2)

A2 = luas permukaan terbesar (m^2)

V = kecepatan rata-rata pipa kecil (m/det)

Koefisien untuk turbulen = 1

Koefisien untuk laminar = -1/2

d. Friction loss karena adanya ekspansi tiba-tiba (Ffex)

$$Ffex = \left[\frac{V1 - V2}{2\alpha}\right] = \left[1 - \frac{A1^2}{Ao} \cdot \frac{V1^2}{2\alpha}\right] \quad \text{.....(13)}$$

$$Ffex = Kex \cdot \frac{V1^2}{2}$$

Dimna: V1 = kecepatan aliran pada pipa kecil (m/det)

V2 = kecepatan aliran pada pipa besar

C. Karakteristik pompa

Sebagai penggerak fluida, digunakan pompa centrifugal yang dapat mempengaruhi laju alir (G). Besarnya laju alir dapat diukur dengan kerangan tanpa mempengaruhi pompa. Karena itu sering digunakan pompa centrifugal.

Karakteristik pompa sentrifugal yaitu:

1. Kapasitas (Q) = kemampuan pompa mengalirkan tiap waktu (m^3/det)
2. Develop Head (H) = tinggi tekan yang diperoleh karena kerja pompa

$$H = \frac{Po - Pi}{\rho} \cdot \frac{gc}{c} \quad \text{.....(14)}$$

Dimana: Po = tekanan fluida pompa

Pi = tekanan fluida masuk pompa

3. Fluids Horse Power (BHP)

Adalah energi yang diterima fluida karena kerja pompa

$$FHP = \frac{Q(Po - Pi)}{746} \cdot (HP) \quad \text{.....(15)}$$

4. Break Horse Power (BHP)

Adalah energi penggerak pompa, dimana BHP = 1.34 × skala watt meter (Kw)

5. Efisiensi (η) adalah rasio antara FHP terhadap BHP, sehingga:

$$\%\eta = \frac{FHP}{BHP} \times 100\%$$

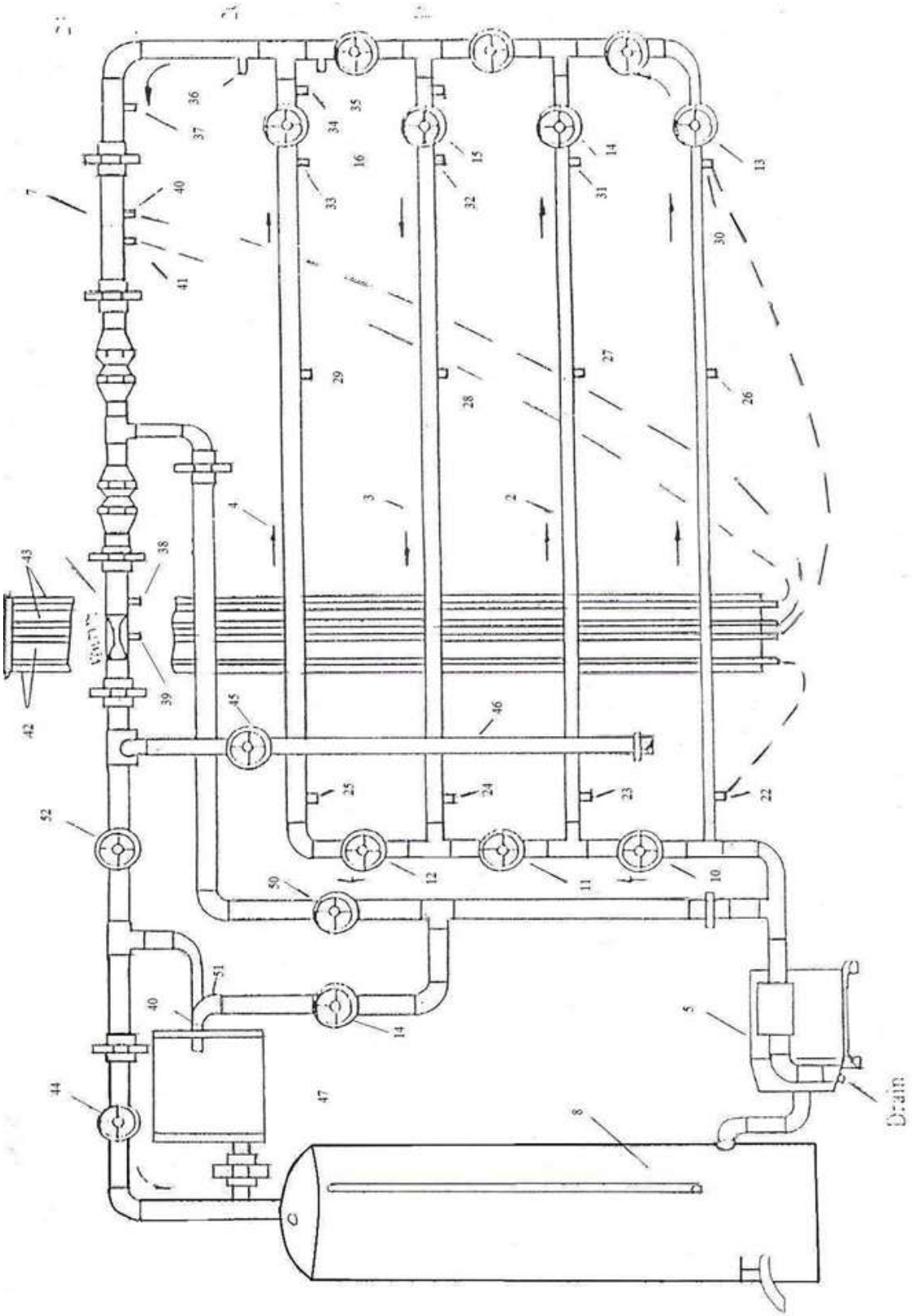
V. Prosedur percobaan:

5.1. Persiapan

a. Menentukan densitas air
b. Menentukan viskositas air
c. *Check* kondisi pompa dan peralatan

5.2. Prosedur percobaan

a. Isi tangki dengan air sampai penuh
b. Lakukan *valve set* pada sistem perpipaan
c. Hidupkan pompa, alirkan keseluruhan sistem perpipaan
d. Kalibrasi venturi untuk *flow rate* yang berbeda-beda dengan bantuan *valve*, lakukan untuk beberapa bukaan *valve*.
e. Tentukan *flow rate* (Q) aliran untuk tiap-tiap bukaan
f. Lakukan pengukuran fluida yang telah ditentukan pembimbing atau asisten.


Drain

DINAMIKA PROSES

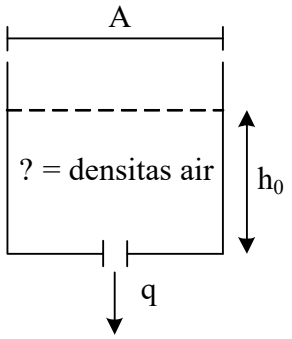
I. Pendahuluan

Dalam bidang Teknik Kimia sangat dibutuhkan suatu kemampuan untuk mengkuantifikasikan dari kelakuan suatu elemen proses atau proses itu sendiri. Kemampuan tersebut dikenal dengan pemodelan. Untuk melakukan pemodelan digunakan prinsip reaksi kimia, proses fisika, dan matematika untuk memperoleh suatu persamaan. Dengan mempergunakan persamaan tersebut dapat diperkirakan suatu kejadian pada suatu hasil (produk) dengan mengubah suhu, tekanan, ukuran alat dan sebagainya.

Tahap awal dari pembuatan model suatu proses adalah dengan melakukan analisa dari proses tersebut. Tujuan analisa adalah mendapatkan gambaran dari kejadian secara fisik, memprediksi kelakuan proses, membandingkan dengan kelakuan sebenarnya mengevaluasi terhadap keterbatasan dari model yang telah dibentuk, dan kemudian dapat diteruskan dengan perancangan alat atau unit proses yang diperlukan.

II. Dasar Teori

Dasar teori ini akan ditinjau contoh pemodelan suatu proses sederhana seperti terlihat pada gambar yaitu suatu tangki dengan luas penampang tetap (A), diisi dengan air pada ketinggian awal (h_0). Kemudian tangki tersebut dikosongkan dengan cara mengalirkan air melalui lubang kecil (*orifice*) dibagian dasar tangki dengan luas penampang *orifice* (Ao).



Pertanyaan yang harus dibuktikan adalah :

1. Berapa lama waktu pengosongan tangki tersebut ?
2. Bagaimana perubahan ketinggian air terhadap waktu ?
3. Apakah laju alir cairan berubah dengan berubahnya waktu atau ketinggian (h) ?
4. Apakah suhu cairan berubah selama proses pengosongan tangki tersebut ?

Untuk memperjelas situasi perlu ditetapkan simbol – simbol berikut ini :

q = Laju alir volume cairan dari tangki, (ft^3/detik, liter/detik, m^3/detik)

A = Luas penampang tangki, (m^2, ft^2)

A_0 = Luas penampang lubang kecil atau *orifice*, (m^2, cm^2, ft^2)

h_0 = Ketinggian cairan pada awal waktu, (cm, m, ft)

h = Ketinggian cairan dalam tangki terhadap perubahan waktu, (ft, m, cm)

ρ = Densitas cairan, (lb/ft^3, kg/liter)

t = Waktu, (detik)

"Massa cairan yang keluar tangki sama dengan perubahan massa di dalam tangki". Massa cairan adalah ρ.A.h jadi perubahan massa tersebut adalah d[ρ.A.h]/dt.

Perubahan massa dalam tangki = - (laju air massa keluar tangki)

tanda negatif menyatakan bahwa aliran menghasilkan pengurangan massa dalam tangki, dimana ρ dan A adalah tetap (konstanta).

$$\frac{d(\rho A h)}{dt} = -\rho q \quad \text{.....} \quad (1)$$

$$\rho A \frac{(dh)}{dt} = -\rho q \quad \text{atau}$$

$$\frac{(dh)}{dt} = -q/A \quad \text{.....} \quad (2)$$

Persamaan (2) adalah satu persamaan yang mempunyai dua variabel yang tidak diketahui yaitu tinggi cairan, **h** dan laju alir volume, **q**. Karena satu persamaan memiliki dua variabel yang tidak diketahui maka dibutuhkan satu persamaan lagi yang berhubungan.

Cairan dalam tangki dapat mengalir disebabkan adanya perbedaan tekanan dalam tangki yaitu (lebih besar) dari tekanan luar, sehingga persamaan tersebut : **q = q (Δp)**. Penyebab perbedaan tekanan tersebut adalah ketinggian cairan di dalam tangki, **h**. Sehingga besarnya laju alir volume merupakan fungsi dari **h**. Untuk menyederhanakan masalah diasumsikan bahwa **q = c** walaupun hal ini tidak seratus persen benar. Untuk **q = c** maka persamaan 2 menjadi :

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{C}{A} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Integrasi persamaan (3) untuk t_1 dan t_2

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dh}{dt} - dt = \int_{t_1}^{t_2} -\frac{C}{A} dt = -\frac{C}{A}(t_2 - t_1) \quad \text{.....} \quad (4)$$

$$h(t_2) - h(t_1) = -\frac{C}{A}(t_2 - t_1)$$

Untuk memperjelas keadaan ditentukan bahwa $t_1 = 0$ pada h_0 = tinggi cairan aliran awal, sedang t_2 = disebut **t** merupakan waktu setiap keadaan, maka :

$$h(t) = h_0 - \frac{Ct}{A} = h_0\left[1 - \frac{Ct}{Ah_0}\right] \quad \text{.....} \quad (5)$$

Menurut persamaan diatas hubungan antara **h** dengan waktu **t** merupakan persamaan garis lurus dengan *intercept* = h_0 dan gradien (*slope*) = **- C / A**.

Buktikan dari hasil pengamatan anda (mahasiswa) apakah hubungan persamaan (5) diatas merupakan garis lurus pada semua titik atau hanya beberapa titik awal saja.

Pada kenyataan membuktikan bahwa pada **h** mencapai nol maka **q** juga nol sehingga persamaan untuk waktu yang lama adalah **q = b h** sehingga persamaan (2) menjadi :

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{bh}{A} \quad \text{.....} \quad (6)$$

atau

$$\frac{dh}{h} = -\frac{b}{A}dt \quad \text{.....} \quad (7)$$

$$\int_{h(1)}^{h(2)} \frac{dh}{h} = -\frac{b}{A}\int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\ln\frac{h(2)}{h(1)} = -\frac{b}{A}(t_2 - t_1) \quad \text{.....} \quad (8)$$

Tetapkan $t_1 = 0$, $t_2 = t$

$$\ln\frac{h(t)}{h_0} = -\frac{bt}{A} \quad \text{.....} \quad (9)$$

$$h(t) = h_0 e^{-\frac{bt}{A}} \quad \text{.....} \quad (10)$$

Untuk persamaan (9) didapat bahwa h_0 = *intercept* dan –b/A adalah gradien. Persamaan (10) membuktikan bahwa hubungan **h** terhadap **t** tidak linier.

Selanjutnya perlu digeneralisasi pendekatan model yang dipertimbangkan hubungan antara **h** dan **q** dalam bentuk $\mathbf{q = k\,h^n}$ dimana **n** adalah orde dari **h** yang harganya berada antara 0 dan 1 atau $0 < \mathbf{n} < 1$. Persamaan (2) menjadi :

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{kh^n}{A}$$

$$\frac{dh}{h^n.dt} = -\frac{k}{A} \quad \text{atau}$$

$$\frac{dh}{h^n} = -\frac{k}{A}dt$$

$$\int_{h_0}^{h(t)} \frac{dh}{h^n} = -\frac{k}{A}\int_{t=0}^{t=t} dt$$

$$\frac{h^{(1-n)}}{1-n} - \frac{h_0^{(1-n)}}{1-n} = -\frac{kt}{A} \quad \text{.....} \quad (11)$$

Diselesaikan secara aljabar menjadi :

$$h_{(t)} = h_0\left[1 - \frac{k(1-n)}{Ah_0^{(1-n)}}\right]^{\frac{1}{(1-n)}} \quad \text{.....} \quad (12)$$

Memprediksi harga orde **n**

persamaan **q = k h^n**

$$-\frac{dh}{dt} = \frac{k}{A} h^n$$

$$\ln\left[-\frac{dh}{dt}\right] = \ln\frac{k}{A} + n \ln h$$

Dengan demikian grafik antara $\ln\left[-\frac{dh}{dt}\right]$ terhadap ln **h** akan menghasilkan **n** sebagai gradien dari persamaan tersebut. Untuk memperoleh harga $-\frac{dh}{dt}$ dapat didekati dari percobaan perubahan **h** terhadap waktu.

$$-\frac{dh}{dt} \cong -\frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$\ln\left[-\frac{\Delta h}{\Delta t}\right] \cong \ln\frac{k}{A} + n \ln h$$

III Metoda Percobaan

3.A Satu Tangki

1. Isi tangki nomor 1 dengan air hingga mencapai ketinggian maksimum (sekitar 40 cm).
2. Buka keran keluaran cairan tersebut dengan bukaan yang sangat kecil (sekitar 4 %) dan amati perubahan ketinggian terhadap waktu.
3. Catat waktu yang diperlukan setiap perubahan ketinggian cairan setinggi 2 cm sampai tangki kosong.
4. Ulangi prosedur 1 sampai 3 sehingga didapat data tiga kali percobaan yang sama.
5. Lakukan prosedur 1 sampai 4 untuk bukaan keran sekitar 7 %.

3.B Dua Tangki Dipasang Seri

1. Isi tangki nomor 1 seperti pada bagian 3.a. dan isi juga tangki nomor 2 atau 3.
2. Buka keran pada tangki nomor 1 dan juga diikuti dengan membuka tangki nomor 2 atau 3 tersebut diatas.
3. Amati waktu yang diperlukan pada perubahan ketinggian dari kedua tangki tersebut.
4. Lakukan cara tersebut sebanyak masing – masing dua kali untuk kondisi yang sama.

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

PROSEDUR PRAKTIKUM KONVERSI ENERGI

Percobaan ini dilakukan sesuai dengan lembar tugas yang diberikan dan mengikuti prosedur sebagai berikut :

A. Percobaan Satu Tangki

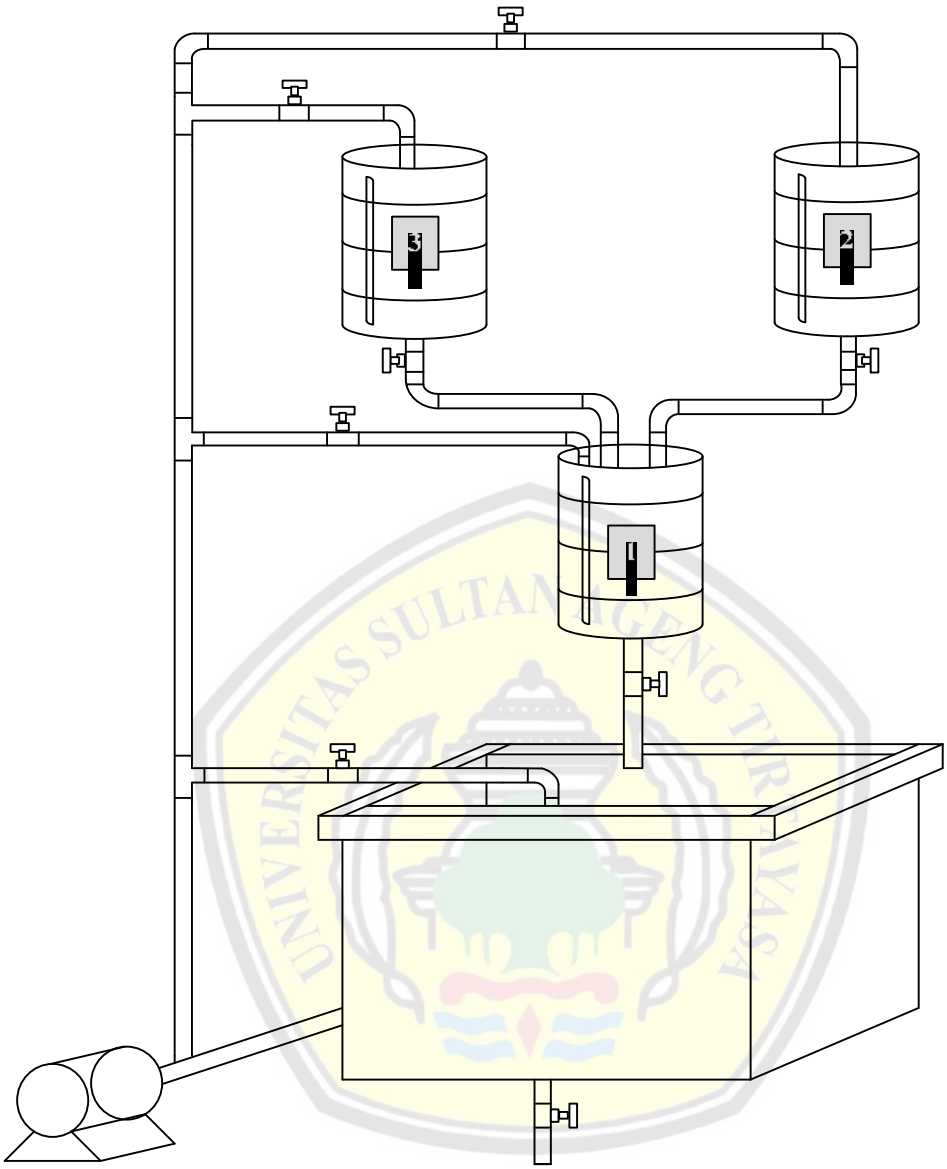
1. Isi tangki nomor 1 dengan air hingga mencapai ketinggian maksimum (sekitar 40 cm).
2. Buka keran keluaran cairan tersebut dengan bukaan yang sangat kecil (sekitar 4 %) dan amati perubahan ketinggian terhadap waktu.
3. Catat waktu yang diperlukan setiap perubahan ketinggian cairan setinggi 2 cm sampai tangki kosong.
4. Ulangi prosedur 1 sampai 3 sehingga didapat data tiga kali percobaan yang sama.
5. Lakukan prosedur 1 sampai 4 untuk bukaan keran sekitar 7 %.

B. Percobaan Tangki Dipasang Seri

1. Isi tangki nomor 1 seperti pada bagian 3.a. dan isi juga tangki nomor 2 atau 3.
2. Buka keran pada tangki nomor 1 dan juga diikuti dengan membuka tangki nomor 2 atau 3 tersebut diatas.
3. Amati waktu yang diperlukan pada perubahan ketinggian dari kedua tangki tersebut.
4. Lakukan cara tersebut sebanyak masing – masing dua kali untuk kondisi yang sama.

Keterangan :

Bukaan *valve* (% bukaan) disesuaikan dengan diameter *orifice* yang ditugaskan (*orifice* A, B, C, D, atau E)


3
2
1

FILTRASI

I. Tujuan Praktikum: Mahasiswa dapat memahami tentang salah satu proses pemisahan *solid* dan *liquid* yaitu proses filtrasi yang dilandaskan pada prinsip aliran yang melewati unggun berpori.

II. Alat dan Bahan :

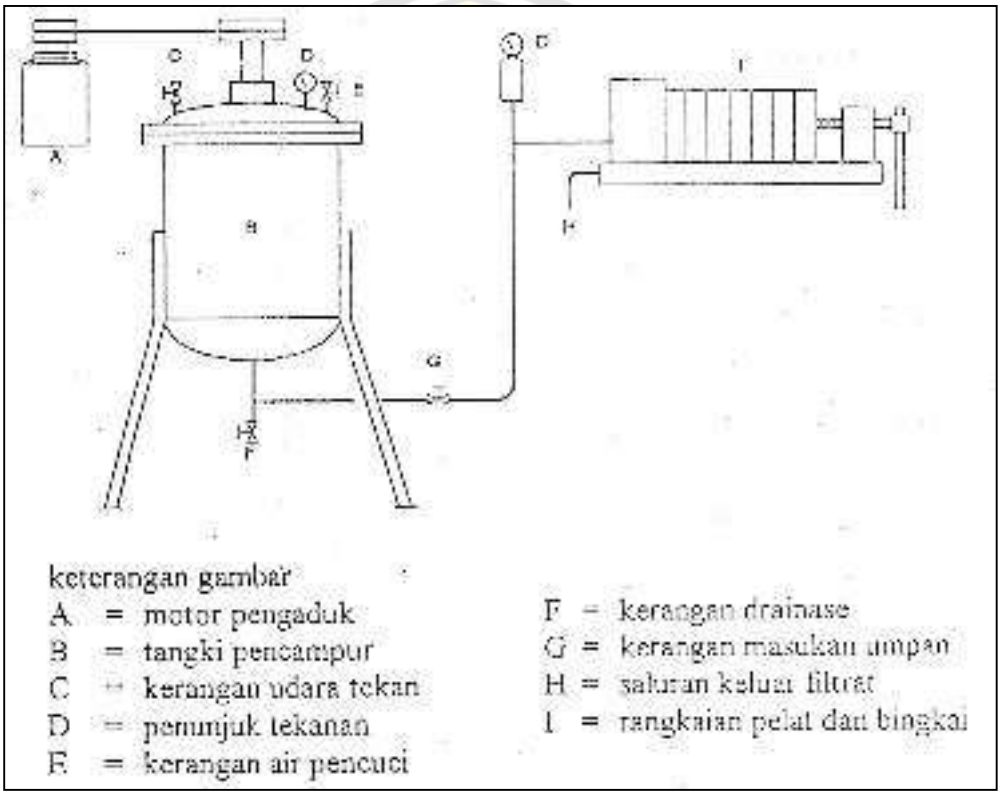
1. **Peralatan Filtrasi *Plate and Frame* yang dilengkapi:**
   - Tangki penampung yang berkapasitas 40 liter, dilengkapi *baffle* 2 buah dari bahan baja
   - Motor penggerak dengan daya 0,75 hp, tegangan 220 volt (3 *phase*)
   - Pengaduk yang berbentuk *paddle* 45°, lebar 6 cm dan bahan *stainless steel* .
   - Pipa, berukuran ¾ inch dengan bahan *galvanized steel*.
   - Manometer, dengan pengukuran sampai dengan 4 Kg/cm^2 .
   - *Plate* dan *frame* yang berukuran 20 cm x 20 cm dengan bahan kuningan yang berjumlah 7 pasang.
2. **Alat pendukung lain:**
   - Penampung filtrat.
   - Gelas ukur 1000 mL atau 2000 mL.
   - Termometer, skala 0 – 100 ^{o}C.
   - Cawan dan oven untuk menentukan kadar air pada padatan.
   - Neraca analitis.
3. **Bahan:**
   - Kain kassa.
   - Calcium carbonat ($CaCO_3$).
   - Air.

III. Deskripsi peralatan :

Peralatan filtrasi *Plate and Frame* ini terdiri dari dua bagian yaitu:

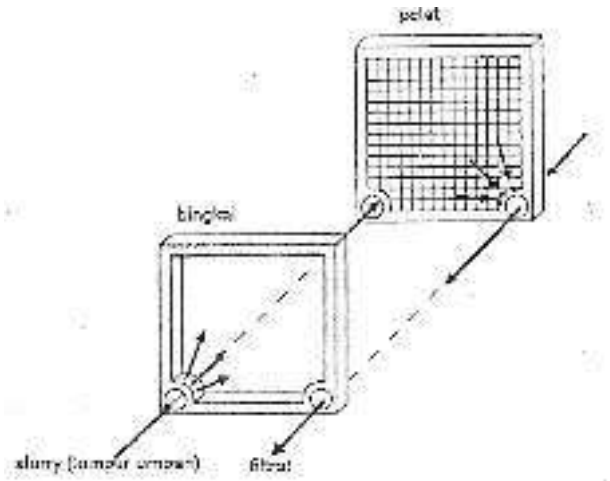
1. Tangki umpan.
2. Rangkaian pelat dan bingkai (*Plate and Frame*).

Tangki umpan dilengkapi dengan alat ukur tekanan untuk memastikan tekanan di dalamnya. Di dalam tangki ini juga dilengkapi dengan pengaduk berbentuk *paddle* dengan kemiringan 45° yang bertujuan untuk membantu penyeragaman konsentrasi padatan di dalam bubur atau larutan umpan. Peralatan tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema peralatan penyaring pelat dan bingkai

Sejumlah pasangan pelat dan bingkai yang disediakan tidak perlu dipergunakan semua dalam tiap kali percobaan, jumlah pasangan yang dipakai bergantung pada jumlah umpan yang akan disaring dan tekanan operasinya. Aliran lumpur umpan dan filtrat di dalam rangkaian pelat dan bingkai ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Aliran lumpur umpan dan filtrat di dalam pelat dan bingkai

IV. <u>Dasar Teori</u>:

Filtrasi adalah suatu operasi pemisahan campuran antara padatan dan cairan dengan melewatkan umpan (padatan + cairan) melalui medium penyaring. Proses filtarsi banyak dilakukan di industri, misalnya pada pemurnian air minum, pemisahan kristal-kristal garam dari cairan induknya, pabrik-kertas dan lain-lain.

Untuk semua proses filtrasi, umpan mengalir disebabkan adanya tenaga dorong berupa beda tekanan, sebagai contoh adalah akibat gravitasi atau tenaga putar. Secara umum filtrasi dilakukan bila jumlah padatan dalam suspensi relatif lebih kecil dibandingkan zat cairnya.

Menurut prinsip kerjanya filtrasi dapat dibedakan atas beberapa cara, yaitu:

a. ***Pressure Filtration***

Filtrasi yang dilakukan dengan menggunakan tekanan.

b. ***Gravity Filtration***

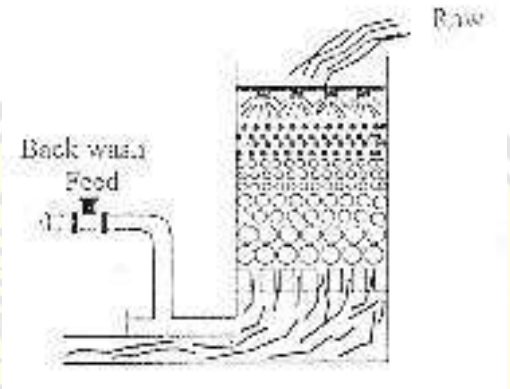
Filtrasi yang cairannya mengalir karena gaya berat.

c. ***Vacum Filtration***

Filtrasi dengan cairan yang mengalir karena prinsip hampa udara (penghisapan).

GRAVITY FILTER

Penyaringan secara gravitasi merupakan cara yang tertua yang dilakukan untuk memurnikan suatu suspensi. Gambar di bawah ini secara luas telah digunakan seperti pemurnian melalui sand filter.



Gambar 3. Penyaringan secara gravitasi

FLATE AND FRAME FILTER

Alat ini akan bekerja berdasarkan *driving force*, yaitu perbedaan, tekan. Alat ini dilengkapi dengan kain penyaring yang disebut *filter cloth*, yang terletak pada tiap sisi platenya. *Plate and frame filter* digunakan untuk memisahkan padatan cairan dengan media berpori yang meneruskan cairannya dan menahan padatannya.

Secara umum filtrasi, dilakukan bila jumlah padatan dalam suspensi relatif kecil dibandingkan zat cairnya.

1. ***Open Delivery Filter press***

   Saluran untuk *slurry* dan *wash* (pencuci) melalui satu saluran masuk dan tiap *plate* untuk saluran cairannya.

2. ***Closed Delivery Filter Press***

Memiliki beberapa saluran *slurry* dan *wash water*.

Umpan *slurry* masuk melalui lubang saluran masuk. *Filter cloth* terletak di setiap sisi *frame*. Tekanan diberikan terhadap slurry agar melewati *filter cloth* untuk dapat masuk ke dalam *plate and frame filter* kemudian keluar melalui lubang *plate* sebagai filtrat. Padatan akan terakumulasi atau tertinggal dan menempel pada *cloth*.

Setelah beberapa lama maka ruang antara *plate* akan tertumpuk oleh *slurry* dan lama kelamaan umpan akan berhenti mengalir. Jika hal ini terjadi maka *cloth* harus segera dicuci. Pencucian ini dilakukan dengan menyalurkan air bersih ke dalam *plate* dan keluar melalui *frame*. Hal ini merupakan kebaikan dari proses filtrasi (*Closed delivery*).

Berdasarkan kompresibilitasnya *cake* (*slurry* yang menempel pada cloth) dibagi menjadi dua, yakni :

1. ***Compressible cake***

   Cake akan mengalami perubahan struktur apabila mengalami tekanan sehingga ruang kosong dalam *cake* semakin kecil akibatnya proses penahan semakin besar dan proses filtrasi semakin sulit.

2. ***Incompressible cake***

   Cake yang tidak mengalami perubahan jika terjadi perubahan tekanan. Pada kenyataanya kelompok ini hampir tidak ada. Tetapi tekanan yang digunakan kecil maka *cake* dapat dianggap *incompressible cake*.

Untuk proses filtrasi umumnya terjadi pada beda tekanan tetap. Jika *medium filter primer* telah dilapisi *cake* dan filtrat telah jenuh maka tekanan akan bertambah sampai maksimum. Diperlukan waktu yang optimum untuk melakukan satu kali siklus.

Waktu filtrasi optimum adalah waktu filtrasi yang diperlukan agar jumlah volume filtrat per satuan waktu maksimum, dalam filtrasi yang disebut waktu siklus adalah waktu keseluruhan yang diperlukan untuk melakukan proses filtrasi, yang merupakan :

$$t_s = t_f + t_w + t_p$$

dengan:

t_s = waktu siklus

t_f = waktu filtrasi sesungguhnya

t_w = waktu pencucian

t_p = waktu bongkar pasang

Pencucian/*Washing*

Optimasi jumlah air pencuci yang digunakan ke dalam *slurry* ditambahkan zat warna yang mempunyai sifat tidak berikatan secara permanen/kuat dengan padatannya, sehingga mudah dihanyutkan oleh air pencuci. Kadar zat warna dalam air cucian yang keluar dari *filter* dianalisa untuk mengetahui seberapa jauh operasi pencucian dilakukan. Pencucian dihentikan jika kadar warna dalam air cucian sudah mulai konstan. Jumlah air pencuci dicatat sebagai volume optimum.

ROTARY DISK VACUM FILTER

Rotary disk vacum filter ini digunakan operasi dalam skala besar serta proses kontinu. Media filter dapat berupa kain (*cloth*), kertas, media poros dan lain-lain. Pemiliham media filter ini didasarkan atas kemampuan untuk memisahkan padatan, memiliki kekuatan, *inert* terhadap bahan kimia dan juga dari segi ekonominya.

Prinsip kerja

Slurry yang akan disaring menempati suatu tempat (basin). *Leaf* dicelupkan ke *slurry* dan mengumpulkan *cake*-nya pada premukaan *leaf* (filtrat tidak). Filtrat keluar melalui saluran keluar utama. *Cak*e dibawa sampai ke bagian atas.

Beberapa jenis lainnya:

1. *Horizontal rotary vacuum filter*
2. *Horizontal leaf filter*
3. *Vertical leaf filter*

V. Prosedur Percobaan:

5.1 Persiapan peralatan

Prosedur persiapan alat di bawah ini harus diikuti setiap kali akan melaksanakan tempuhan percobaan.

1. Pastikan tanki pencampur tidak bertekanan, jika masih bertekanan, buka kerangan ventilasi dengan perlahan-lahan pada masukan umpan. Pastikan bahwa kerangan udara dalam posisi tertutup.
2. Pastikan kain penyaring, *plate and frame* telah terpasang dengan benar. Perhatikan letak lubang-lubang saluran suspensi dan filtrat, jangan sampai ada yang terbalik.
3. Eratkan rangkaian sel penyaring dengan mengecangkan himpitan yang diberikan oleh dorongan blok penekan sesuai arah ulir batang penekan. Kekencangan ini harus cukup baik untuk mencegah terjadinya kebocoran cairan.
4. Tutup kerangan dan masukan suspensi.
5. Atur *pully motor* pengaduk pada kedudukan yang diinginkan.

5.2 Pelaksanaan Percobaan

Langkah-langkah penyaringan dengan tekanan :

1. Buat suspensi $CaCO_3$ dalam air sebanyak kira-kira 40 liter dalam tangki pencampur dengan konsentrasi yang dikehendaki (dapat digunakan 1-2 % berat padatan).
2. Masukkan suspensi ke dalam tangki dan tutup dengan rapat, gerakkan pengaduk untuk mendapatkan suspensi sehomogen mungkin.
3. Buka kerangan udara perlahan-lahan, perhatikan tekanan udara dalam tangki pencampur.
4. Setelah tekanan dalam tangki mencapai harga yang dikehendaki, mulailah tempuhan penyaringan dengan membuka kerangan masukan suspensi.
5. Catat waktu dan volume filtrat yang ditampung, sampai filtrat tidak mengalir lagi.

6. Selama tempuhan penyaringan, tekanan dijaga dengan mengatur bukaan kerangan udara tekanan.
7. Bongkar rangkaian *plate and frame*, kumpulkan padatan yang tertinggal di dalam bingkai.
8. Tentukan kadar air padatan $CaCO_3$ dengan cara gravimetri.

5.3 Pengambilan Data

Data yang diambil selama pengoperasian alat adalah volume filtrat yang keluar dari saluran filtrat kemudian waktu yang diperlukan untuk menampung volume tersebut untuk mencegah kesalahan saat awal pencatatan waktu, hendaknya sebelum melaksanakan prosedur penyaringan dapat dilakukan langkah-langkah di bawah ini :

1. Kosongkan tangki pencampur lewatkan kerangan drainase.
2. Pastikan semua kerangan tertutup, kemudian buka kerangan udara tekan.
3. Setelah tekanan di dalam tangki mencapai 1 Kgf/cm^2 G, buka kerangan dan masukkan suspensi. Biarkan udara menghembus melalui rangkaian *plate and frame* sampai tidak ada lagi cairan yang keluar dari saluran filtrat.
4. Tutup kerangan masukkan suspensi dan kerangan udara tekan, ventilasikan kembali tangki dengan kerangan drainase.

5.4 Perawatan dan pemeliharaan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perawatan dan pemeliharaan alat ini adalah:

1. Setelah selesai menggunakan alat, pastikan bahwa tangki pencampur tidak bertekanan.
2. Disarankan untuk membersihkan seluruh rangkaian secara terbuka, karena penggunaan suspensi $CaCO_3$ yang mudah mengendap dan tertinggal di dinding tangki dan pipa. Secara khusus perhatikan pula kebersihan alur-alur dan lubang-lubang saluran pada *plate and frame*. Tangki pencampur dapat dibersihkan dengan cara mengalirkan air pencuci ke dalamnya dan dibuang melalui kerangan drainase.

FLUIDISASI

1. Pendahuluan

Fluidisasi merupakan salah satu teknik pengontakan fluida baik gas maupun cairan dengan butiran padat. Pada fluidisasi kontak antara fluida dan partikel padat terjadi dengan baik karena permukaan kontak yang luas. Teknik ini banyak digunakan di industri kimia dengan penggunaannya meningkat pesat pada dekade terakhir ini. Pada proses pembuatan besi (*iron making*) fluidisasi merupakan cara alternatif dalam mereduksi bijih besi (Fe_2O_3) menjadi logam (Fe).

2. Teori

Bila cairan atau gas dilewatkan pada unggun partikel padat pada keepatan rendah dari bawah ke atas, unggun atidak bergerak. Pada kedadaan tersebut penurunan tekanan di sepanjang unggun dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\frac{\Delta P\, gc}{\rho L} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3}\frac{Sp}{vp}\left[\frac{k_1 \mu Vo(1-\varepsilon)Sp}{\rho\, vp} + k_2 Vo^2\right] \quad \text{.....(1)}$$

ΔP = penurunan tekanan

K_1 = tetapan

μ = viskositas

V_0 = kecepatan semu (*superficial velocity*)

ε = fraksi kosong, bergantung distribusi ukuran dan bentuk partikel

Sp = luas permukaan satu partikel

L = kedalaman total hamparan

P = densitas

Vp = volume satu partikel

Dengan memasukkan data empiris untuk k_1 dan k_2 serta memasukkan faktor sperifitas partikel didapatkan :

$$\frac{\Delta P\ gc}{L}\frac{\Phi\ Dp}{\rho Vo^2}\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{150\ (1-\varepsilon)}{\Phi s\ Dp\ Vo\ \rho/\mu} + 1.75 \quad \text{.....(2)}$$

dimana :

Φ = sferisitas atau kebolaan

Persamaan tersebut disebut persamaan **ERGUN.** Bila kecepatan fluida yang melewati unggun dinaikkan maka perbedaan tekanan di sepanjang unggun akan meningkat pula. Pada saat perbedaan tekanan sama dengan berat unggun dibagi luas penampang. Pada saat tersebut unggun akan mulai bergerak dan melayang-layang ke atas. Partikel-partikel padat ini akan bergerak-gerak dan mempunyai perilaku sebagai fluida. Keadaan unggun seperti ini dikenal sebagai unggun terfluidakan (*fluidized bed*).

2.1 Hilang Tekan (Pressure Drop)

Penentuan besarnya hilang tekan dalam unggun terfluidakan terutama dihitung berdasarkan rumus-rummus yang diturunkan untuk unggun diam (persamaan Ergun) dan diturunkan oleh Blake, Carman maupun peneliti-peneliti lainnya.

2.1.1 Hilang Tekan Dalam Ungggun Diam

Korelasi-korelasi matematik yang menggambarkan hubungan antara hilang tekan dengan laju air fluida di dalam suatu sistem unggun diamm diperoleh pertama kali pada tahun 1922 oleh Blake melalui metoda-metoda yang bersifat semi empiris yaitu dengan menggunakan bilangan-bilangan tidak berdimensi. Untuk aliran laminar dimana kehilangan energi terutama disebabkan oleh **"*viscous losses*"**, Blake memberikan hhubungan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{k\ \mu\ S^2}{S^3} Vo \quad \text{.....(3)}$$

dimana :

$\frac{\Delta P}{L}$: hilang tekan ersatuan panjang/tinggi unggun.

gc : faktor konversi.

μ : viskositas fluida.

ε : porositas unggun yang didefinisikan sebagai perbandingan volume ruang kosong dan dalam unggun dengan volume unggun.

V_o : kecepatan alir superficial fluida.

S : luas permukaan spesifik partikel.

Luas permukaan spesifik partikel (luas permukaan persatuan volume unggun) dihitung berdasarkan korelasi berikut :

$$Sp = \frac{6(1-\delta)}{Dp} \quad \text{.....(4)}$$

Sehingga persamaan (3) menjadi :

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{36\, k\, \mu\, (1-\varepsilon)^2}{dp^2\, \varepsilon^2} \quad \text{.....(5)}$$

Atau :

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{k'\, \mu\, (1-\varepsilon)^2}{d^2 p\, \varepsilon^3} Vo \quad \text{.....(6)}$$

Persamaan (6) ini kemudian diurunkan lagi oleh Kozeny (1927) dengan mengasumsikan bahwa unggun zat padat tersebut adalah ekivalen dengan satu kumpulan saluran-saluran lurus yang parallel yang mempunyai luas permukaan dalam total dan volume dalam total masing-masing sama dengan luas permukaan luar partikel dan volume ruang kosongnya.

Harga konstanta k' yang diperoleh beberapa peneliti berbeda-beda seperti diperlihatkan didalam tabel berikut ini :

k'	Peneliti
150	Kozeny (1927)
180	Carman (1937)
200	US Bureau of Mines (1951)

Untuk aliran turbulen, persamaan (6) tidak bisa dipergunakan lagi sehingga Ergun kemudian menurunkan rumus yang lain (1952), harga kehilangan tekanan digambarkan sebagai gabungan "***viscous losses***" dan "***kinetic energy loss***".

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{150\,(1-\varepsilon)^2}{\Phi s^2\ \varepsilon^3\ Dp^2} Vo + \frac{1.75(1-\varepsilon)\rho}{\Phi s\ \varepsilon^3\ dp} Vo^2 \quad \text{.....(7)}$$

(A. Viscous Losses) **(B. Kinetic energy losses)**

Pada keadaan ekstrim, yaitu bila :

a. Aliran laminar (Re < 20), term II bila diabaikan sehingga :

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{150\,(1-\varepsilon)^2\ \mu}{\Phi s^2\ \varepsilon^3\ dp^2} Vo \quad \text{.....(8)}$$

b. Aliran turbulen (Re > 1000), term I bisa diabaikan sehingga :

$$\frac{\Delta P}{L} gc = \frac{1.75\,(1-\varepsilon)\rho\ g}{\Phi s\ \varepsilon^3\ Dp} Vo^2 \quad \text{.....(9)}$$

2.1.2 Kecepatan Minimum Fluidisasi

Yang dimaksud dengan kecepatan minimum fluidisasi (dengan notasi V_0) adaah kecepatan superfisial fluida minimum dimana fluidisasi mulai terjadi. Harganya diperoleh denan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{150\mu(1-\varepsilon_M)\,dp\ pg}{\Phi s^2 dp^2 \varepsilon_M{}^3} U_M + \frac{1}{\varepsilon_M{}^3} \frac{1.75\rho.\ dp\ pg}{\Phi s\ Dp} V_{oM} = g(\rho_p - \rho) \quad \text{.....(10)}$$

Untuk keadaan ekstrim, yaitu :

a. Aliran laminar (Re < 20), kecepatan fluidisasi minimumnya adalah :

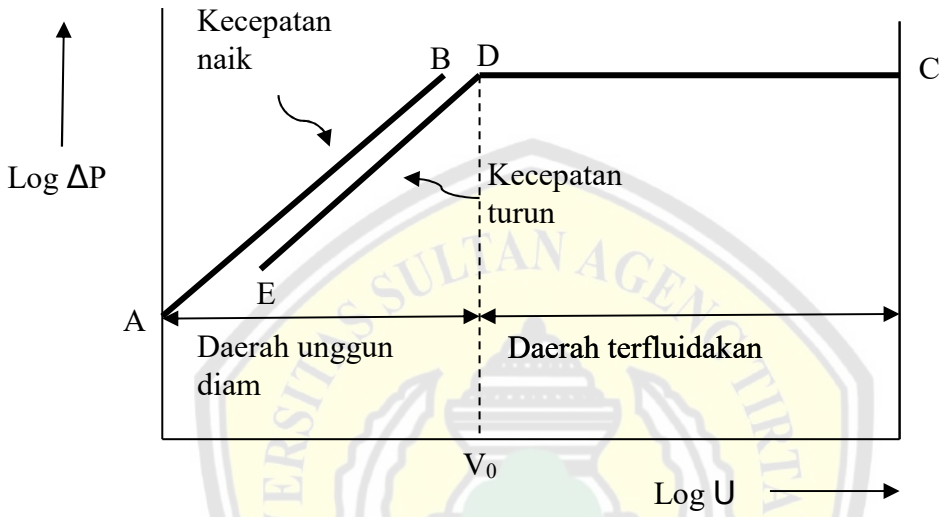
$$V_M = \frac{Dp^2 \Phi_1^2 (\rho_p - p) g}{150\mu} \frac{\varepsilon_M{}^3}{(1-\varepsilon_M)} \quad \text{.....(11)}$$

b. Aliran turbulen (Re > 1000), kecepatan fluidisasi minimumnya adalah :

$$Vo = \left[\frac{Dp\,(\rho_p - \rho)\,g\ \varepsilon_M{}^3}{1.75\rho} \right]^2 \quad \text{.....(12)}$$

2.1.3 Karakteristik Unggun Terfluidakan

Karakteristik unggun terfluidakan biasanya dinyatakan dalam bentuk grafik antara penurunan tekanan (ΔP) dan kecepatan superficial (V_0). Untuk keadaan yang ideal, kurva hubungan berbentuk seperti apa yang diberkan didalam gambar :



Gambar 1. Kurva karakteristik fluidisasi ideal

Garis A – B didalam grafik menunjukan hilang tekan pada daerah unggun diam (porositas unggun).

Garis B – C menunjukkan keadaan dimana unggun telah terfluidakan.

Garis D – E menunjukkan hilang tekan dalam daerah unggun diam pada waktu menurunkan kecepatan alir fluida.

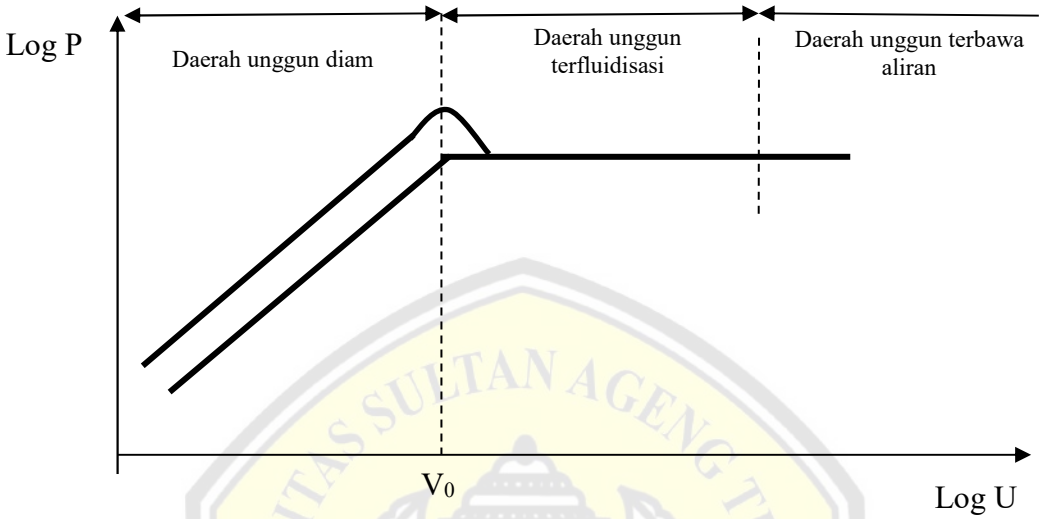
Harga penurunan tekanannya, untuk kecepatan alir fluida tertentu sedikit lebih rendah dari pada saat awal operasi.

2.1.4 Penyimpangan dari keadaan ideal

i. *Interlock*

Karakteristik fluidisasi seperti digambarkan didalam gambar 3 hanya terjadi pada kondisi yang betul-betul ideal dimana butiran zat padat dengan mudah saling melepaskan pada saat terjadi kesetimbangan antara gaya seret dengan berat partikel. Pada kenyataannya keadaan diatas tidak

selamanya bisa terjadi karena adanya kecenderungan partikel-partikel untuk saling mengunci satu dengan lainnya (*interlock*), sehingga akan terjadi kenaikan hilang tekan (ΔP) sesaat sebelum fluidisasi terjadi (Gambar 2).

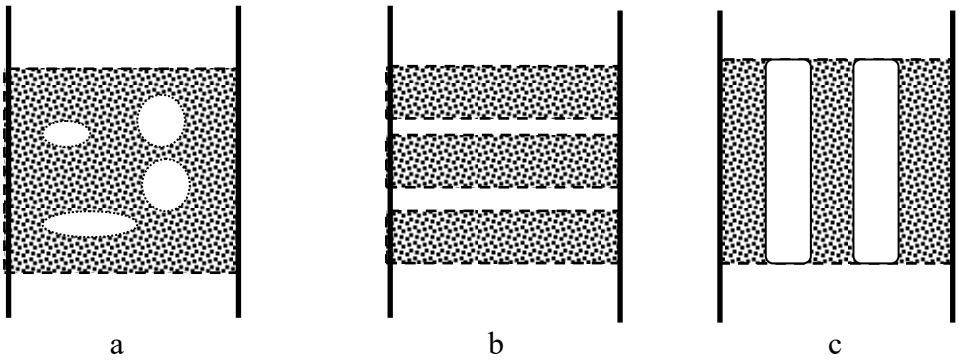


Gambar 2. Kurva Karakteristik Fluidisasi

ii. Fluidisasi Heterogen (*aggregative Fluidization*)

Jenis penyimpangan yang lain adalah kalau pada saat fluidisasi partikel-partike padat tidak terpisah-pisahkan secara sempurna tetapi berkelompok membentuk suatu agregat. Keadaan yang seperti ini disebut sebagai fluidisasi heterogen atau "*aggregative fluidization*". Tiga jenis fluidisasi heterogen yang biasa terjadi adalah karena timbulnya :

a. Penggelembungan ("*bubbling*", Gambar 5a)
b. Penorakan ("*slugging*", Gambar 5b)
c. Saluran-saluran fluida yang terpisah ("*channeling*", Gambar 5c)



Bentuk kurva karakteristik untuk unggun terfluidakan yang mengalami penyimpangan dari keadaan ideal yang disebabkan oleh ke tiga jenis fenomena di atas.

2.2 Evaluasi Parameter-parameter didalam Peristiwa Fluidisasi

2.2.1 Densitas partikel

Penentuan densitas partikel untuk zat padat yang masih dan tidak menyerap air atau zat cair lain, bisa dilakukan dengan memakai piknometer. Sedang untuk partikel berpori, cara diatas akan menimbulkan kesalahan yang cukup besar karena air atau cairan akan memasuki pori-pori didalam partikel, sehingga yang diukur bukan lagi densitas partikel (berikut pori-porinya) seperti yang diperlukan dalam persamaan di muka, tetapi densitas bahan padatnya (tidak termasuk pori-pori didalamnya). Untuk partikel-artikel yang demikian ada cara lain yang biasa digunakan, yaitu dengan metode yang diturunkan Ergun.

2.2.2 Bentuk partikel

Dalam persamaan yang telah diturunkan, partikel padatnya dianggap sebagai butiran yang berbentuk bola dengan diameter rata-rata dp. Untuk partikel bentuk lain, harus ada koreksi yang menyatakan bentuk partikel sebenarnya.

Faktor koreksi tersebut dinyatakan dengan :

$$\Phi = \frac{Ap}{A} \frac{\text{luas permukaan bola}}{\text{luas permukaan partikel}} \text{volume sama}$$

2.2.3 Diameter partikel

Diameter partikel biasanya diukur berdasarkan analisa ayakan (ukuran *mesh*).

2.2.4 Porositas unggun

Porositas unggun menyatakan fraksi kosong didalam unggun yang secara matematik bisa ditulis sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{Vu - Vp}{Vu}$$

Tujuan Percoban :

1. Mengerti istilah-istilah, besaran-besaran atau parameter yang terlibat dalam unggun terfluidakan yaitu :
    - Densitas partikel
    - Diameter partikel
    - Bentuk partikel dan derajat kebolaan
    - Porositas unggun
    - Aliran turbulen dan laminar
    - Hilang tekan
2. Menentukan kurva karakteristik fluidisasi (log ΔP vs v)
3. Menentukan kecepatan fluidisasi minimum
4. Mempelajari fenomena fenomena fluidisasi

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 (*Homogenezing 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 ($Ca(OH)_2$) .
- Air .

III. Deskripsi Peralatan :

3.1. Homogenizing Tank

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

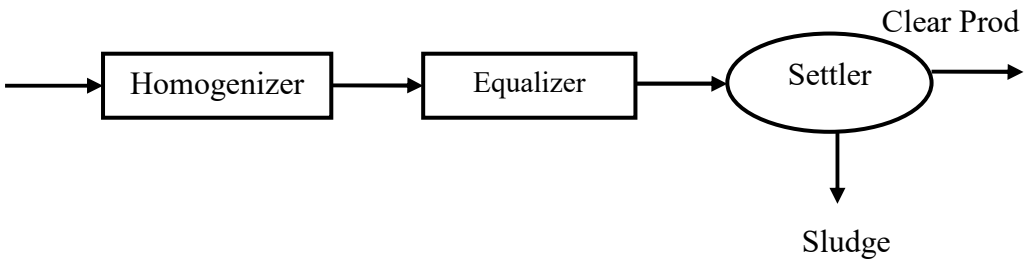
3.2. Equalization Tank

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. <u>Dasar teori</u> :

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 melewatkan 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 dipegaruhi oleh gravitasi dan gaya geser yang didefinisikan sebagai:

$$V_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho_l)D}{(3C_D\,\rho_l)}} \quad \text{.....(1)}$$

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).

$$t = \frac{v}{Q} \quad \text{.....(2)}$$

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

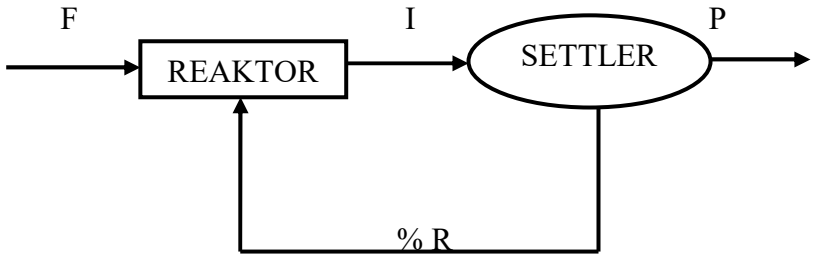
$$V_o = \frac{Q}{A_p} \quad \text{.....(3)}$$

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

$$V = \frac{Q}{2\pi rH} \quad \text{.....(4)}$$

Ketinggian tangki sedimentasi (H) adalah

$$H = v_o t \quad \text{.....(5)}$$



Gambar 1. Bagan Percobaan Sedimentasi Kontinue

Sedimentasi Batch

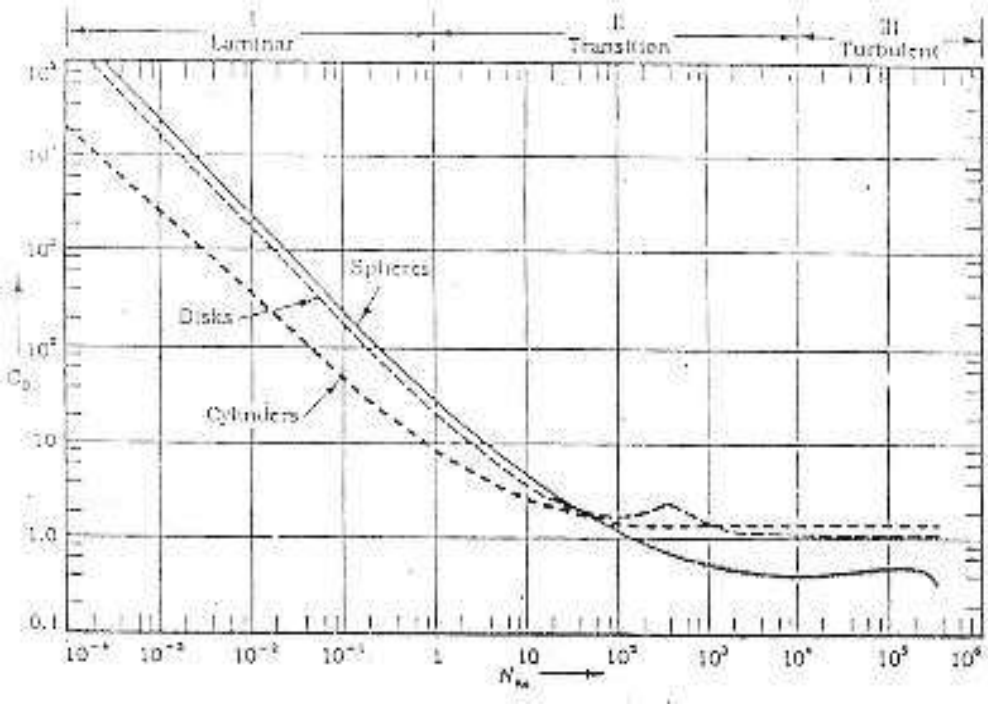
Besarnya nilai koefisien Drag (C_D) bergantung pada pola aliran sekitar partikel, apakah laminar atau turbulen. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya nilai C_D sebagai fungsi dari nilai bilangan Reynolds (Nre).

$$N_{Re} = \frac{V_s\, d}{\upsilon} = \frac{V_s\, d\, \rho}{\mu} \quad \text{.....(6)}$$

Aliran laminar (Nre < 1) ; $CD = \frac{24}{N_{Re}}$

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

Aliran Turbulen (Nre > 0,4) ; CD = 0,4



V. <u>Prosedur Percobaan</u>:

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. Buatkan 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 (Vs).
2. Tuliskan persamaan laju pengendapan (Vs) sebagai fungsi dari bilangan Reynolds (Nre).

PENUKAR PANAS

1. TUJUAN PENELITIAN

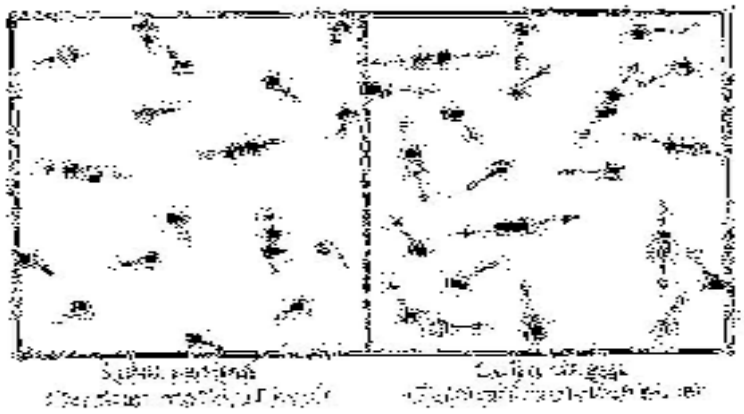
1. Melihat Fenomena perpindahan panas secara konveksi dan terjadinya pendidihan
2. Menentukan harga koefisien perndahan panas Overall (U) sistem dua fluida di dalam alat penukar panas ***Plate and Frame***
3. Mempelajari pengaruh variabel laju alir fluida, temperatur fluida, dan arah aliran terhadap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

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*

$$q = -k\,A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{...} (2.1)$$

dimana; q = laju perpindahan kalor

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

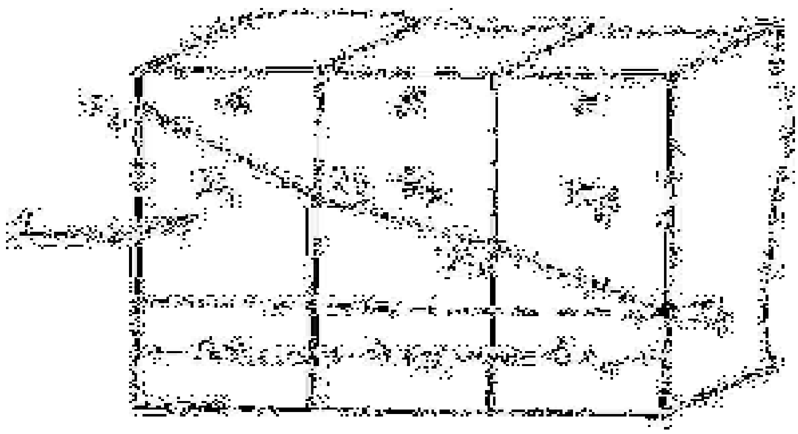
k = konduktuvitas termal

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**]

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

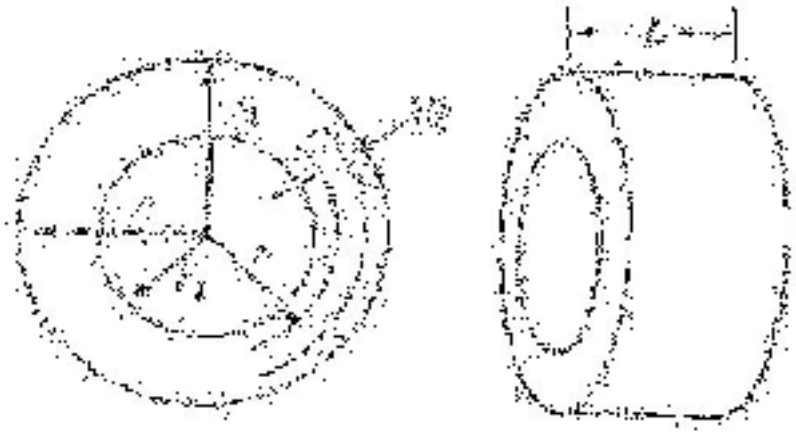
dimana : R = Tahanan perpindahan panas

R = $\Delta x / (k.\,A)$

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]

$$q = -k.\ A_{Ln}.\ \frac{\partial T}{\partial r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

dimana : $A_{Ln} = \dfrac{2\,\pi\,L.\,(r_2 - r_1)}{\ln(r_2 / r_1)}$

$\partial T = (T_2 - T_1)$

$\partial r = (r_2 - r_1)$

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 pepindahan panas secara konveksi adalah aliran air yang dipanaskan dalam belanga.

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

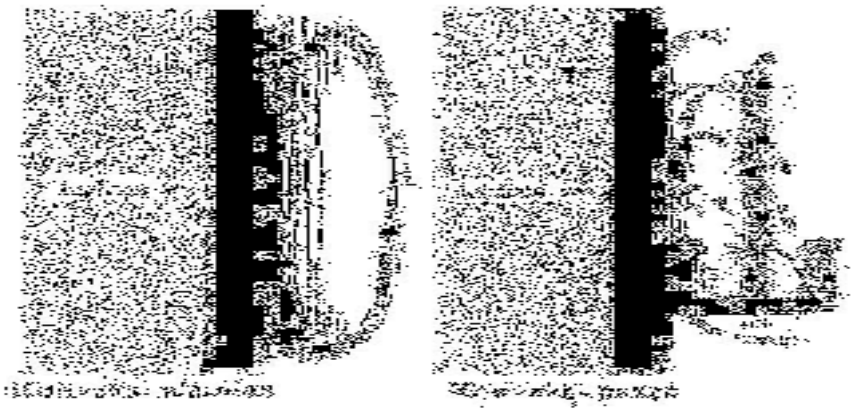
$$q = -h.\ A.\ \partial T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

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 fiuda 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 pancaran = $\sigma . A . T^4$ ……... (2.5)

dimana: σ = konstanta proporsionalitas (tetapan *Stefan boltzmann*)

$\sigma = 5{,}669 . 10^{-8}$ W / m^2. 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.

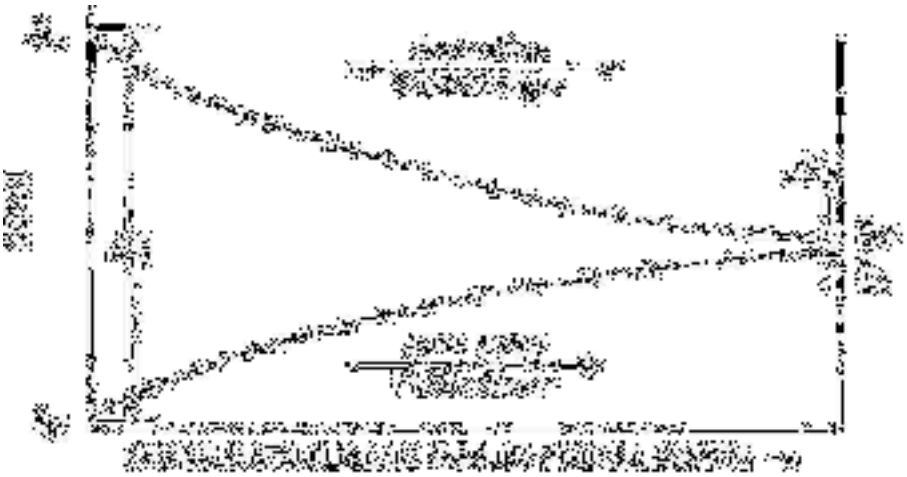
2.4.2.Pertukaran panas secara tidak langsung

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 :

$$M_c . (T_{cb} - T_{ca}) = M_h . (T_{ha} - T_{hb}) \quad \text{……..…… (2.6)}$$



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

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

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

dimana : U = koefisien perpindahan panas secara keseluruhan ($W / m^2.^0C$)

A = luas perpindahan panas (m^2)

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

ΔT_2 = Thb – Tcb

ΔT_1 = Tha - Tca

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 ΔT_1 dan ΔT_2, yaitu:

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

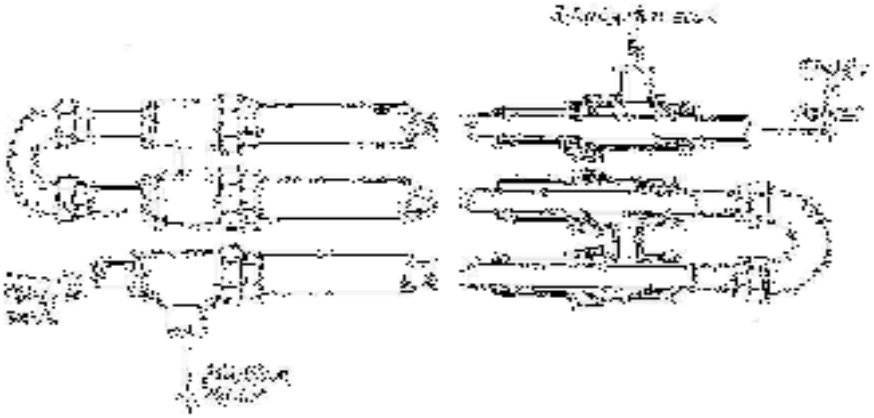
$\Delta T_2 = T_{ha} - T_{cb}$

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 effisiensi 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 tersebuat adalah penukar panas *Plate and frame Heat Exchanger*.

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

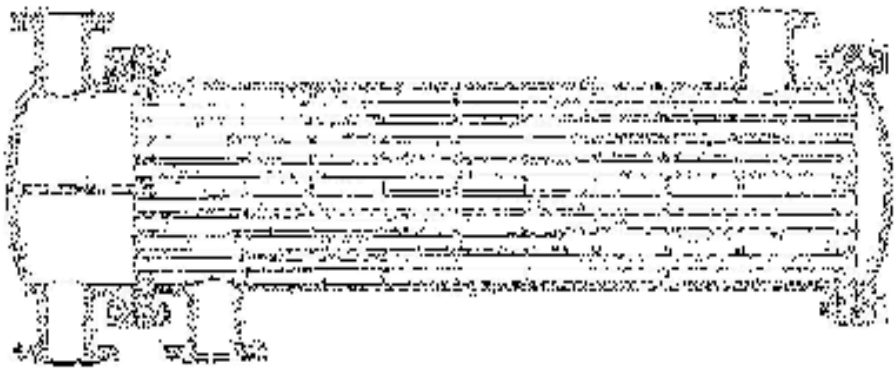
Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis 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 effisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (*buffle*). 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.

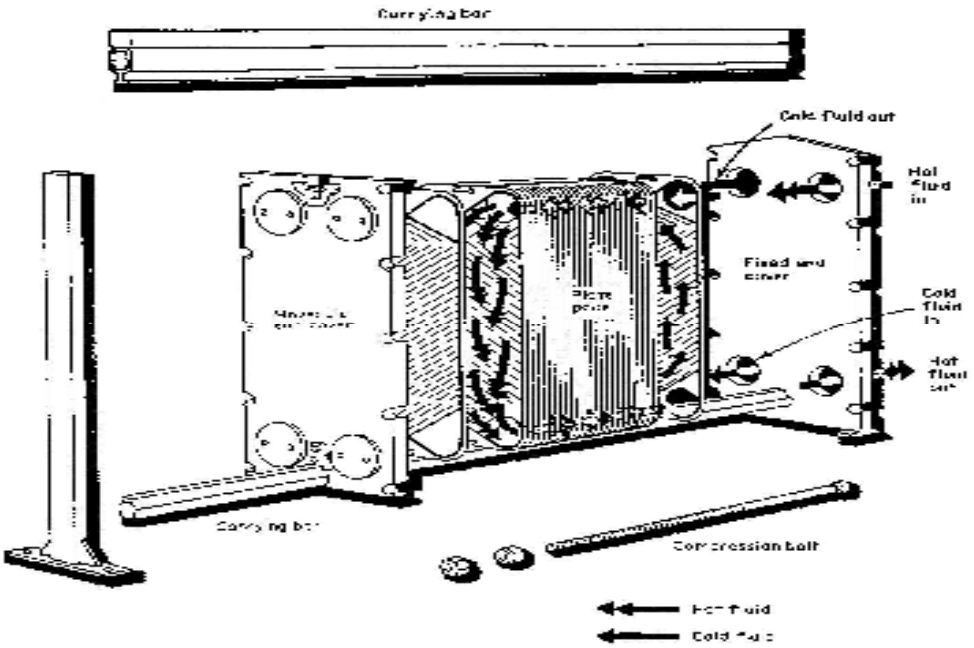


Gambar 2.8.Penukar panas jenis cangkang dan buluh

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 sebelahnya 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 ,

$q = m \cdot (H_b - H_a)$ …….…… (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, $q = m_h . (H_{hb} – H_{ha})$
- Fluida dingin, $q = m_c . (H_{cb} – H_{ca})$

dimana, m_c, mh = 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 :

$$q_c = - q_h$$

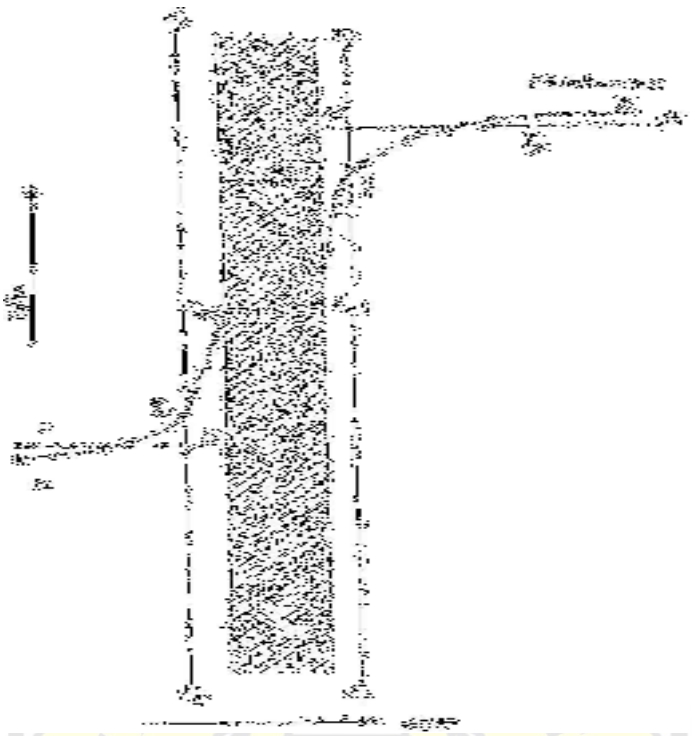
$$m_h . (H_{ha} – H_{hb}) = m_c . (H_{cb} – H_{ca})$$

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

$$mh . c_{ph} . (T_{ha} – T_{hb}) = m_c . c_{pc} . (T_{cb} – T_{ca}) \quad \text{..... (2.9)}$$

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, $dq = -h\ A\ dT$

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

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

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

$(T_h - T_{wh}) = dq.\ (1 / (h_1\ dA_1))$

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 $dq = U A (Th - Tc)$, dari (persamaan 2.7)

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

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

Persamaan di atas (2.10) dengan assumsi 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:

$$(Th - Tc) = dq/dAU = dq (1 / h_1 dA_1 + 1 / h_{d1} dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2 + 1 / h_{d2} dA_2)$$

Maka $$\frac{1}{dA.U} = \left\{ \frac{1}{h_1 . dA_1} + \frac{1}{hd_1 . dA_1} + \frac{\Delta x}{k.dA_{LMTD}} + \frac{1}{h_2 . dA_2} + \frac{1}{hd_2 . dA_2} \right\}$$

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 aawal 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 (100^0C)
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 kan 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:

Grafik kalibrasi aliran fluida panas dan fluida dingin

Grafik T Vs x, panjang plate

Q (m,H) Vs T, untuk masing-masing tipe aliran . Dalam satu grafik ada dua kurva (Hot daan Cold)

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 Enginering", 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

LAMPIRAN

1. Lembar Penugasan Praktikum (Cover)
2. Formulir Bukti Penyerahan Laporan
3. Lembar Pengesahan Pembicaraan Awal
4. Formulir Kontrol Pembicaraan Awal

FAKULTAS TEKNIK UNTIRTA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LABORATORIUM OPERASI TEKNIK KIMIA

FORMULIR BUKTI PENYERAHAN

KELOMPOK : ……
1.
2.
3.

1	2	3

No	MODUL	DOKUMEN YANG DISERAHKAN	PARAF ASISTEN	PARAF LABORAN
1		Lembar Penugasan*		
		Lembar Data*		
		Laporan**		
2		Lembar Penugasan		
		Lembar Data		
		Laporan		
3		Lembar Penugasan		
		Lembar Data		
		Laporan		
4		Lembar Penugasan		
		Lembar Data		
		Laporan		

Catatan
* Lembar Data dan Foto kopi Lembar Penugasan diserahkan ke Asisten.
** Laporan diserahkan ke Laboran OTK.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBICARAAN AWAL

MODUL : _____

Catatan:

Cilegon,…….20
Asisten

_____

Cilegon, …….20
Dosen pembimbing

_____
NIP.

Pemeriksaan I Nama/Paraf Assisten	Pemeriksaan II & Stempel Lab. OTK
	Terlambat : hari

(Paraf dan stempel pada saat laporan di kumpulkan)

FAKULTAS TEKNIK UNTIRTA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LABORATORIUM OPERASI TEKNIK KIMIA

LABORATORIUM OPERASI TEKNIK KIMIA

LEMBAR PENUGASAN

Program *) : - TK.404 Lab. Operasi Teknik Kimia I
- TK.405 Lab. Operasi Teknik Kimia II

Percobaan No. : ……
Nama Percobaan : ……

DITUGASKAN KEPADA KELOMPOK NO:

NIM : …… Nama :…….
NIM : …… Nama :…….…….
NIM : …… Nama :……..

Praktikum Tanggal :
Sifat Tugas : Biasa/ Ulangan/ Perbaikan

Keterangan Tugas:

Cilegon, …….2016

(Dosen Pembimbing)

FAKULTAS TEKNIK UNTIRTA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. OPERASI TEKNIK KIMIA (OTK)

FORMULIR KONTROL PEMBICARAAN AWAL

KELOMPOK : ……
1.
2.
3.

foto 1	2	3

NO.	MODUL OTK 1	TGL.PENGAJUAN PEMB.AWAL (& PARAF DOSEN)	TGL. PEMB. AWAL (PA)	TANDA TANGAN DOSEN STLH LULUS P.A	TANDA TERIMA LAPORAN & STEMPEL LAB