

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Filtrasi adalah proses pemisahan padatan dari fluida menggunakan media berpori yang hanya dilalui oleh fluida. Operasi ini digunakan dalam berbagai industri untuk memurnikan produk, memisahkan fasa, atau mengolah limbah. Proses filtrasi dipengaruhi oleh sifat campuran padat-cair, karakteristik media saring, serta variabel operasi seperti tekanan, waktu, dan luas permukaan filtrasi. Salah satu alat yang umum digunakan dalam industri adalah *plate and frame filter press* yang bekerja secara *batch* dengan memanfaatkan tekanan untuk mempercepat pembentukan endapat padat basah (*cake*).

Untuk mengevaluasi performa filtrasi, perlu dilakukan pengamatan terhadap parameter-parameter kunci yang mencerminkan karakteristik proses. Tiga parameter yang menjadi fokus utama dalam praktikum ini adalah *specific cake resistance*, volume ekuivalen, dan waktu optimum. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menilai hambatan aliran oleh *cake*, kapasitas filtrasi, serta efisiensi waktu proses. Nilai-nilai ini menjadi dasar dalam membandingkan kondisi operasi dan memvalidasi kesesuaian antara hasil teoritis dan praktik di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam praktikum ini, akan dilakukan operasi filtrasi dan operasi pencucian dengan menggunakan jenis alat *plate and frame filter press*. Operasi filtrasi dan pencucian dilakukan untuk menentukan nilai parameter filtrasi, mencakup nilai *specific cake resistance*, waktu optimum, dan menentukan volume filtrat yang ekuivalen.

1.3 Tujuan Praktikum

1. Mengetahui pengaruh waktu dalam proses filtrasi.
2. Mengetahui pengaruh jumlah *plate* dalam proses filtrasi.
3. Mengetahui pengaruh variabel terhadap nilai parameter filtrasi.
4. Membandingkan waktu optimum teoritis dan praktis dalam proses filtrasi.

1.4 Manfaat Praktikum

1. Mahasiswa mampu mengoperasikan alat filtrasi tipe *plate and frame filter press*.
2. Mahasiswa dapat memahami proses filtrasi.
3. Mahasiswa dapat menentukan *specific cake resistance*, volume filtrat ekuivalen, dan waktu optimum dalam suatu operasi filtrasi dan pencucian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

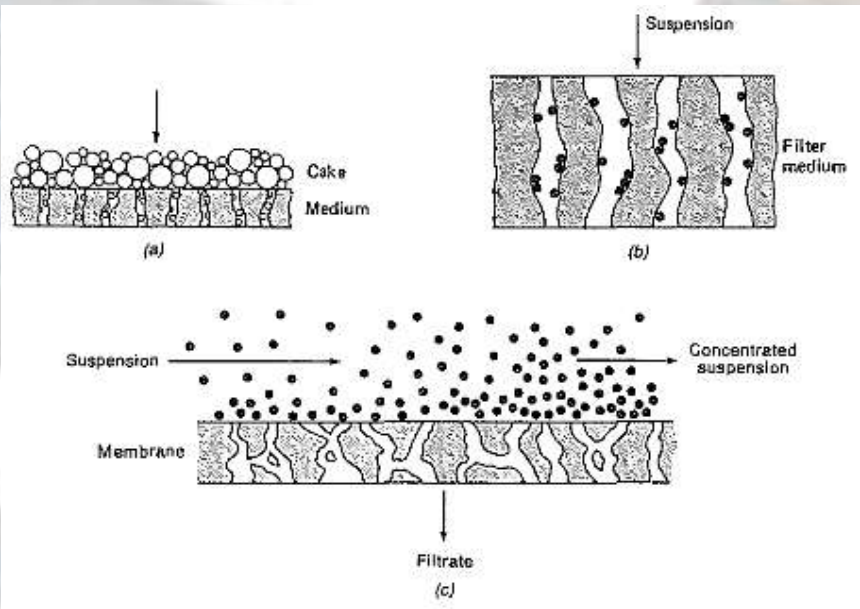
2.1 Pengertian Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan partikel padat dari suatu fluida dengan melewati fluida tersebut melalui media penyaringan sebagai tempat padatan tersebut diendapkan. Fluida dapat berupa cairan atau gas. Aliran dari filter dapat berupa fluida, atau padatan, atau keduanya (McCabe *et al.*, 1993). Media filter atau *septum* adalah penghalang yang memungkinkan fluida melewatinya sembari menahan sebagian besar padatan. Fluida yang lolos melewati media filter disebut filtrat (Green & Perry, 2008).

Fluida mengalir melalui media filter berdasarkan perbedaan tekanan di antara media tersebut. Oleh karena itu, filter juga diklasifikasikan menjadi filter yang beroperasi dengan tekanan di atas atmosfer dan filter yang beroperasi dengan tekanan atmosfer. Tekanan di atas atmosfer dapat dihasilkan oleh gaya gravitasi yang bekerja pada kolom cairan, oleh pompa atau *blower*, atau oleh gaya sentrifugal (McCabe *et al.*, 1993).

Filter yang digunakan dalam industri biasa bertipe *pressure filter*, *vacuum filter* atau *centrifugal separator*. Secara proses, filtrasi dapat berlangsung secara *batch* dan *continuous*, bergantung pada pembuangan padatan yang disaring, stabil atau terputus-putus. Pada filtrasi *batch*, aliran fluida perlu dihentikan secara berkala untuk pembuangan padatan yang terakumulasi. Sedangkan, pada filtrasi *continuous*, pembuangan padatan dan aliran fluida tidak terputus selama beroperasi (McCabe *et al.*, 1993).

Filter terbagi menjadi tiga, yakni *cake filter*, *clarifying filter*, dan *crossflow filter*. Praktikum ini termasuk dalam kategori *cake filter*. *Cake filter* memisahkan padatan dari umpan *slurry* berkonsentrasi 1 – 40% (Green & Perry, 2008) dalam bentuk *cake* kristal atau *sludge*, berbeda dengan *clarifying filter* yang menangkap partikel padat di dalam media filter dan *crossflow filter* yang menyaring partikel tersuspensi dengan ukuran pori yang sangat kecil (McCabe *et al.*, 1993). Pada awal penyaringan *cake filter*, partikel padat memasuki pori media filter dan mengendap seiring waktu bersama dengan partikel lain hingga terakumulasi menjadi *cake* pada permukaan media filter. Ketika hal ini terjadi, penyaringan bukan lagi didominasi oleh pori media, namun akibat *cake* yang menebal (McCabe *et al.*, 1993).



Gambar 2.1 Mekanisme filtrasi: (a) *cake filter*; (b) *clarifying filter*; (c) *crossflow filter*

Menurut Green & Perry (2008) teori filtrasi didasarkan pada persamaan Hagen-Poiseuille yang disederhanakan hingga dinyatakan dengan:

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{d\theta} = \frac{\Delta P \cdot g_c}{\gamma \cdot (\alpha \cdot w \cdot \frac{V}{A} + R_m)} \tag{2.1}$$

Keterangan:

- A = Luas permukaan filter (m²)
- V = Volume filtrat (m³)
- θ = Waktu filtrasi (s)
- ΔP = *Pressure drop* dalam sistem (Pa)
- γ = Viskositas filtrat (Pa·s)
- α = *Specific cake resistance* (m/kg)
- w = Massa *cake* per volume filtrat (kg/m³)
- R_m = *Filter medium resistance* (m⁻¹)

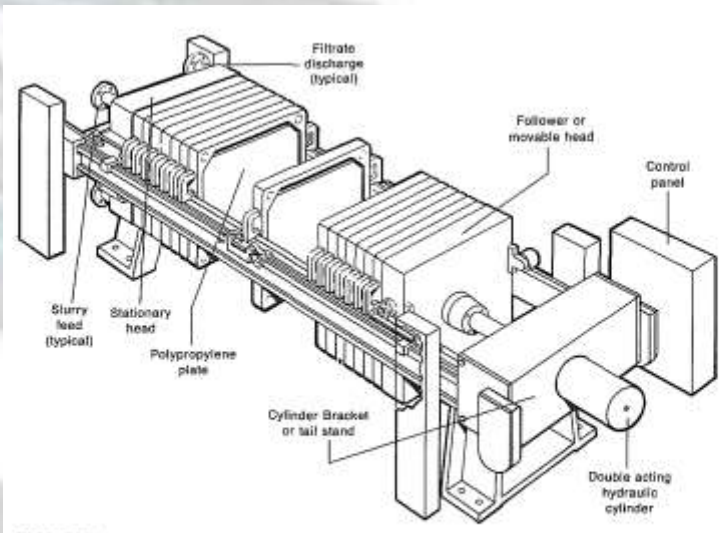
2.2 *Plate and Frame Filter Press*

Filter press merupakan salah satu jenis alat filtrasi yang umum digunakan dari kategori *batch pressure filter* untuk *cake filter*. *Filter press* terdiri dari seperangkat pelat yang dirancang untuk menyediakan serangkaian ruang atau kompartemen tempat padatan dapat terakumulasi. Pelat-pelat tersebut ditutupi dengan media filter atau disebut *filter cloth* pada kedua sisinya, disusun secara vertikal berjajar pada sebuah rangka logam, dan dihipit dengan mesin hidrolik ataupun manual (McCabe *et al.*, 1993).

Plate and frame filter press adalah salah satu tipe dari *filter press*. Jenis filter ini bersifat fleksibel, dapat digunakan pada kapasitas tinggi, tekanan

tinggi, dan paling ekonomis (Kriegel, 1938). *Slurry* akan dialirkan ke setiap kompartemen dengan tekanan dari satu sisi, sehingga cairan akan melewati *filter cloth* dan keluar melalui pipa pembuangan. Terdapat lubang pada pelat, sehingga ketika pelat disusun, terbentuk saluran kontinu di sepanjang *filter press*. Saluran ini ditujukan untuk mengalirnya umpan melalui pelat agar saat dipompa, umpan terlebih dahulu mengisi seluruh pelat sebelum menuju rangkaian pelat selanjutnya (Badger & Banchero, 1955).

Filtrasi dapat dilanjutkan hingga filtrat tidak lagi mengalir keluar dari pembuangan atau tekanan sistem secara tiba-tiba meningkat. Hal ini menandakan bahwa pelat telah jenuh dengan padatan dan tidak ada *slurry* yang dapat mengalir lagi (McCabe *et al.*, 1993).



Gambar 2.2 Alat *plate and frame filter press*

2.3 *Specific Cake Resistance*

Specific cake resistance merupakan besaran yang menyatakan tahanan hidrodinamik dari *cake* yang terbentuk pada media filter terhadap aliran fluida. Nilainya bergantung pada struktur pori, ukuran, dan bentuk partikel. *Specific cake resistance* menggambarkan seberapa sulit cairan menembus lapisan *cake*.

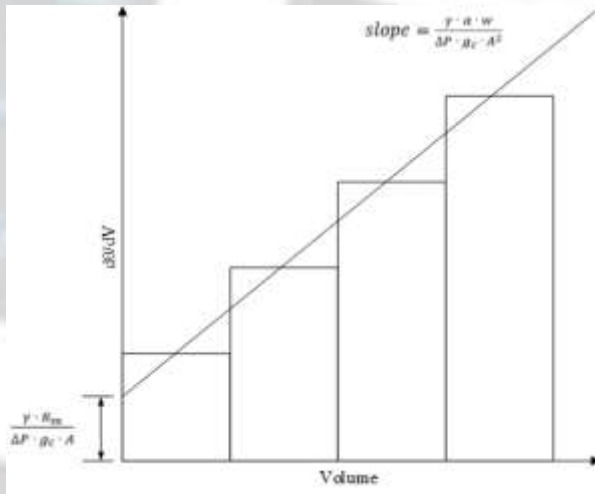
Nilai *specific cake resistance* dapat ditentukan melalui metode grafik seperti pada gambar 2.1. Persamaan kurva didapat menggunakan persamaan 2.1 sebagai persamaan garis lurus menjadi:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot w}{\Delta P \cdot g_c \cdot A^2} V + \frac{\gamma \cdot R_m}{\Delta P \cdot g_c \cdot A} \tag{2.2}$$

Berdasarkan persamaan 2.2, *slope* dan *intercept* grafik dapat dinyatakan menjadi:

$$slope = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot w}{\Delta P \cdot g_c \cdot A^2} \tag{2.3}$$

$$intercept = \frac{\gamma \cdot R_m}{\Delta P \cdot g_c \cdot A} \quad (2.4)$$



Gambar 2.3 Grafik $d\theta/dV$ vs V

Dengan demikian, nilai *specific cake resistance* dapat ditentukan dengan persamaan 2.3 menjadi:

$$\alpha = slope \times \frac{\Delta P \cdot g_c \cdot A^2}{\gamma \cdot w} \quad (2.5)$$

2.4 Volume Filtrat Ekuivalen

Volume ekuivalen adalah volume filtrat yang membentuk *cake* dengan tahanan yang setara dengan tahanan media filter. Secara sederhana, nilai ini mewakili tahanan media filter untuk dinyatakan dalam bentuk volume agar dapat diperhitungkan secara matematis dengan tahanan dari *cake*.

Nilai volume filtrat ekuivalen dapat ditentukan dengan integrasi persamaan 2.2, menjadi:

$$\theta = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot w}{2 \cdot \Delta P \cdot g_c \cdot A^2} V^2 + \frac{\gamma \cdot R_m}{\Delta P \cdot g_c \cdot A} V \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 menggambarkan waktu filtrasi total untuk menghasilkan filtrat sejumlah V , yang dipengaruhi tahanan *cake* dan tahanan media filter. Untuk menentukan volume filtrat ekuivalen sebagai pengganti tahanan media filter, persamaan 2.6 perlu didefinisikan menjadi persamaan kuadrat, dengan K sebagai konstanta.

$$\theta = K(V + V_e)^2 \quad (2.7)$$

$$\theta = KV^2 + 2KV_eV + V_e^2 \quad (2.8)$$

Dengan membandingkan suku dari persamaan 2.8 dengan 2.6, dapat ditentukan nilai K dan V_e .

$$K = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot w}{2 \cdot \Delta P \cdot g_c \cdot A^2} \quad (2.9)$$

$$2KV_e = \frac{\gamma \cdot R_m}{\Delta P \cdot g_c \cdot A} \quad (2.10)$$

$$2 \times \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot w}{2 \cdot \Delta P \cdot g_c \cdot A^2} \times V_e = \frac{\gamma \cdot R_m}{\Delta P \cdot g_c \cdot A} \quad (2.11)$$

$$V_e = \frac{R_m \cdot A}{\alpha \cdot w} \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 menunjukkan nilai yang sama dengan pembagian persamaan 2.4 dengan 2.3. Sehingga, volume filtrat ekuivalen dapat didefinisikan dengan:

$$V_e = \frac{\text{intercept}}{\text{slope}} \quad (2.13)$$

2.5 Waktu Optimum Filtrasi

Waktu optimum filtrasi adalah total waktu paling efisien untuk menghasilkan filtrat dalam suatu proses filtrasi. Apabila proses filtrasi dilanjutkan melebihi waktu tersebut, proses filtrasi tidak efisien akibat laju filtrasi yang melambat secara drastis disertai dengan penambahan volume filtrat yang tidak signifikan akibat media filter yang telah jenuh dengan *cake*.

Waktu optimum filtrasi dapat ditentukan secara grafis, yakni saat terjadi penurunan volume filtrat secara signifikan dalam pengambilan sampel filtrat tiap satuan waktu. Dengan substitusi persamaan 2.3 dan 2.12 ke dalam persamaan 2.6, maka waktu filtrasi dapat didefinisikan dengan:

$$\theta = \text{slope} \times \left(\frac{V^2}{2} + V_e \cdot V \right) \quad (2.14)$$

2.6 Operasi Pencucian

Setelah selesai operasi filtrasi, perlu dilakukan pencucian untuk memisahkan filtrat yang masih tertahan di dalam *cake* agar tidak terbawa hingga proses selanjutnya dalam industri (Badger & Banchero, 1955). Proses pencucian sederhana dapat dilakukan dengan mengalirkan *wash liquid* melalui saluran yang sama dengan *slurry*. Proses ini berpotensi menyebabkan erosi pada *cake* dan pencucian yang tidak merata akibat kecepatan fluida di dekat titik masuk yang tinggi hingga bertahap menurun sepanjang *filter press* (Richardson *et al.*, 2002).

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. Tujuan dilakukan operasi pencucian untuk meminimalkan kerusakan pada *filter cloth*, terutama pengotoran. Pada proses pencucian akan dilakukan dengan air atau udara, atau campuran keduanya, untuk menghilangkan partikel yang terperangkap di pori-pori mikro (Gray, 2014).

BAB III

METODE PRAKTIKUM

3.1 Rancangan Percobaan

3.1.1 Rancangan Praktikum

Praktikum filtrasi diawali dengan operasi filtrasi menggunakan *slurry* yang terbust dari x% berat CaCO_3 dalam 5 L air. Proses filtrasi dihentikan ketika air dalam tangki habis, kemudian dilanjutkan dengan operasi pencucian. Pada operasi pencucian, kran dipastikan dalam keadaan yang sama dengan saat operasi filtrasi. Proses pencucian dihentikan ketika air dalam tangki habis. Selanjutnya, dilakukan pengukuran berat *cake*, serta densitas dan viskositas *slurry*.



Gambar 3.1 Rancangan praktikum

3.1.2 Penetapan Variabel

Variabel tetap :

Variabel bebas :

3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.2.1 Bahan

1. Air
2. CaCO_3
3. Pewarna tekstil

3.2.2 Alat

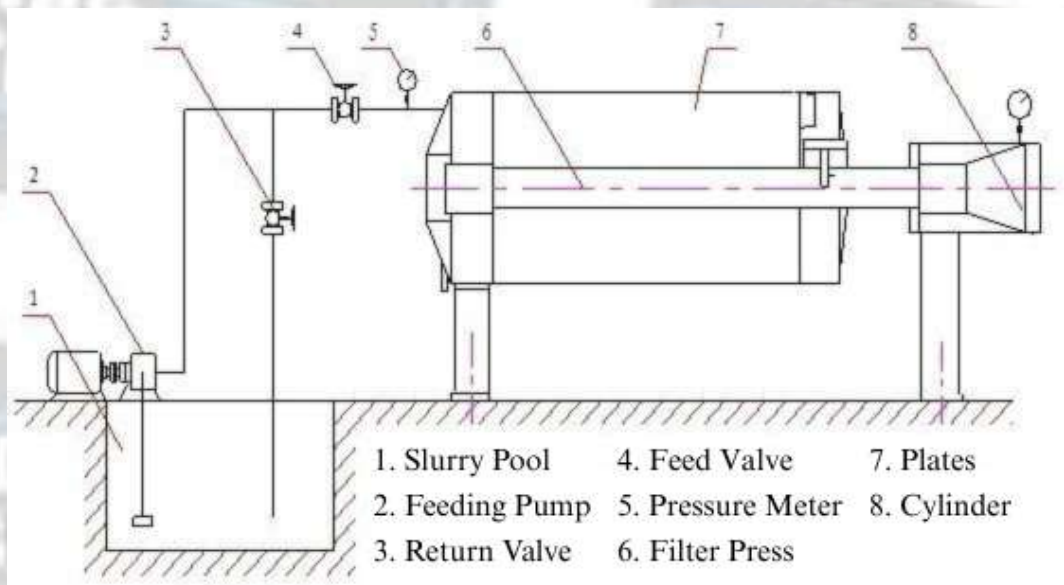
1. *Filter press*
2. *Plate and frame*
3. *Filter cloth*
4. Neraca analitik
5. *Viscometer Ostwald*

6. *Picnometer*
7. Oven
8. Cawan porselen
9. Tangki

3.3 Rangkaian Alat

Alat praktikum filtrasi terdiri dari sebuah *filter press* yang dilengkapi pompa. Peralatan tambahan yang diperlukan mencakup:

1. Tangki penampung *slurry*
2. *Feeding pump*
3. Kompresor
4. Oven
5. Neraca analitik



Gambar 3.2 Rangkaian alat filtrasi (McCabe *et al.*, 1993)

3.4 Respon

Waktu, volume filtrat, dan berat *cake* setelah proses filtrasi dan pencucian.

3.5 Data yang Dibutuhkan

1. Waktu
2. Volume filtrat
3. Densitas *slurry* dan air
4. Viskositas *slurry* dan air
5. Berat *cake*

3.6 Prosedur Praktikum

A. Persiapan Praktikum

1. Bersihkan *filter cloth* pada *plate and frame* dengan air.
2. Pasang *plate and frame* pada alat *filter press*.
3. Timbang CaCO_3 sesuai variabel dan 2 gram pewarna.
4. Isi tangki dengan air hingga 5 L.

B. Persiapan *Plate and Frame*

1. Rapatkan *mechanical lock* pada tengah alat *plate and frame* ke ujung kanan bagian *plate and frame*.
2. Rapatkan kunci putih pada pompa *hydraulic*.
3. Naikkan tekanan pada *hydraulic* dengan memompa hingga 450 kg/cm^2 .
4. Kencangkan *mechanical lock* pada tengah alat *plate and frame* hingga ujung kanan.
5. Kunci tekanan *hydraulic* dan lepaskan tekanan pada *hydraulic*. *Plate and frame* akan merapat, sehingga alat siap digunakan.

C. Pengukuran Densitas dan Viskositas *Slurry*

$$\rho_s = \frac{m_{\text{pikno isi}} - m_{\text{pikno kosong}}}{V_{\text{pikno kosong}}} \quad (3.1)$$

$$\gamma_s = \frac{t_s \times \rho_s}{t_a \times \rho_a} \times \gamma_a \quad (3.2)$$

Keterangan:

γ_s = viskositas *slurry* (Pa·s)

γ_a = viskositas air (Pa·s)

ρ_s = densitas *slurry* (kg/m^3)

ρ_a = densitas air (kg/m^3)

t_s = waktu tempuh *slurry* (s)

t_a = waktu tempuh air (s)

D. Penentuan Viskositas *Slurry*

1. Isi viscometer dengan cairan sampai pada ketinggian tertentu.
2. Hisap cairan dengan menggunakan selang pada titik tertentu.
3. Hidupkan *stopwatch* tepat saat cairan melewati titik b hingga titik a.
4. Catat waktu tempuh.
5. Hitung viskositas cairan.

E. Operasi Filtrasi

1. Buat *slurry* x% CaCO_3 dalam 5 L air (hitung kebutuhan CaCO_3 dengan rumus % berat).

$$gr\ CaCO_3 = \frac{\%wt \times (m_{air} + m_{pewarna})}{100 - \%wt} \quad (3.3)$$

2. Campur air, $CaCO_3$, dan pewarna tekstil dalam tangki secara berurutan. $CaCO_3$ dimasukkan dengan cara ditaburkan secara merata dan perlahan. Aduk *slurry* secara manual menggunakan tongkat.
3. Nyalakan kompresor, tunggu hingga tekanan mencapai $4\ kg/cm^2$. Tekanan pada kompresor tidak boleh lebih dari $7\ kg/cm^2$.
4. Buka *valve* pada kompresor. Kemudian, buka *valve* umpan dan *plate and frame* secara bersamaan dan biarkan *slurry* masuk ke *filter press*. Tunggu hingga *slurry* telah habis.
5. Amati kondisi *filter press* dan kompresor.
6. Matikan kompresor apabila proses telah selesai.

F. Operasi Pencucian

1. Isi kembali tangki dengan air hingga 5 L.
2. Nyalakan kompresor, tunggu hingga tekanan mencapai $4\ kg/cm^2$. Tekanan pada kompresor tidak boleh lebih dari $7\ kg/cm^2$.
3. Buka *valve* pada kompresor. Kemudian, buka *valve* umpan dan *plate and frame* secara bersamaan dan biarkan air masuk ke *filter press*. Tunggu hingga air telah habis.
4. Amati kondisi *filter press* dan kompresor.
5. Matikan kompresor apabila proses telah selesai.

G. Pengukuran Berat *Cake*

1. Buka *plate and frame* dengan menggunakan pompa *hydraulic*.
2. Ambil *cake* yang tersaring pada *filter cloth*, tempatkan pada cawan porselen yang telah diukur beratnya.
3. Timbang *cake* yang telah diambil dari *filter cloth*.
4. *Cake* dioven pada suhu $110^\circ C$ selama 60 menit.
5. Timbang kembali *cake* yang telah dioven.
6. Lakukan pengovenan *cake* kembali selama 3×10 menit.
7. Timbang kembali *cake* yang telah dioven.

DAFTAR PUSTAKA

- Badger, W. L., & Banchero, J. T. (1955). *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Gray, N. F. (2014). Filtration methods. In *Microbiology of waterborne diseases* (pp. 631-650). Academic Press.
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kriegel, P. (1938). Plate and frame filter press. *Industrial & Engineering Chemistry*, 30(11), 1211-1213.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering* (5th ed.). McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., & Backhurst, J. R. (2002). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Volume 2, Particle Technology and Separation Processes* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.