

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

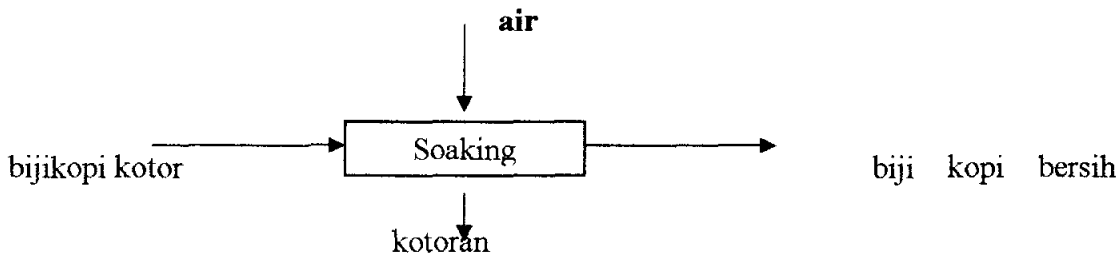
Operasional Pabrik setiap hari = 12500 hari

Tabel A.1. Komposisi Biji Kopi Robusta

Komponen	Komposisi (%)
Karbohidrat	56
Kafein	2
Selulosa	30
Air	12

[14]

A.1. Soaking Screen (H-120)



- waktu pencucian = 20 menit / batch
- Biji kopi kotor terdiri dari =

Asumsi :

Biji kopi = 99 % = 12375 kg

Kotoran = 1 %

Bahan masuk dari Warehouse

$$\text{Karbohidrat} = 56 \% \times 12375 \text{ kg / batch} = 6930 \text{ kg / batch}$$

$$\text{Kafein} = 2 \% \times 12375 \text{ kg / batch} = 247.5 \text{ kg / batch}$$

$$\text{Selulosa} = 30 \% \times 12375 \text{ kg / batch} = 3712.5 \text{ kg / batch}$$

$$\text{Air} = 12 \% \times 12375 \text{ kg/batch} = 1485 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Kotoran} = 1 \% \times 12500 \text{ kg/batch} = 125 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Jumlah} = 12500 \text{ kg/batch}$$

- Semua kotoran akan terikut bersama dengan air.
- Air yang terikut biji kopi sebesar 1,7 % dari jumlah air yang ditambahkan
- ρ air suhu $30^{\circ}\text{C} = 0,996 \text{ kg/L}$
- $\text{Air masuk} = 18750 \text{ L/batch} \times 0,996 \text{ kg/L}$
 $= 18675 \text{ kg/batch}$

Bahan keluar :

$$\begin{aligned} \text{Kotoran yang terikut air keluar} &= 1 \% \times 12500 \text{ kg/batch} \\ &= 125 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang terikut dalam biji kopi keluar} &= 1485 + (1,7 \% \times 18675) \\ &= 1802.475 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

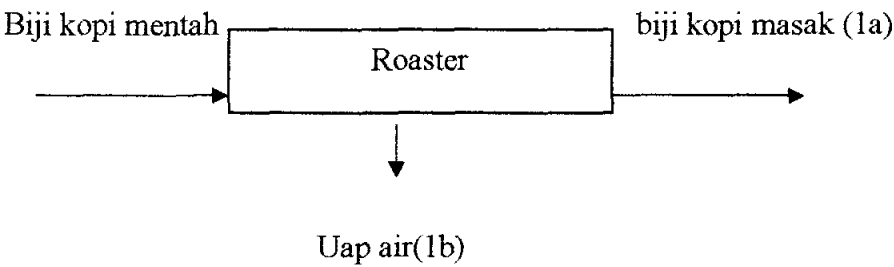
$$\text{Air ke lingkungan} = 18675 - (1,7 \% \times 18675) = 18357.525 \text{ kg/batch}$$

$$\begin{aligned} \text{Biji kopi bersih ke tangki ekstraktor} &= (12500 - 125 + 1802.475) \text{ kg/batch} \\ &= 12692.475 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

Neraca Massa Pada Soaking Screen

Masuk		kg/batch	Keluar		kg/batch
Dari Warehouse			Ke Roaster		
Karbohidrat		6930	Karbohidrat		6930
Kafein		247,5	Kafein		247,5
Selulosa		3712,5	Selulosa		3712,5
Air		1485	Air		1802,475
Kotoran		125			12692,475
		12500	Ke limbah		
Dari unit pengolahan			Kotoran		125
Air		18675	Air		18357,525
Total		31175	Total		31175

A.2. Roaster (Q-130)



Air yang hilang akibat pemanasan sebesar 72 % dari jumlah air masuk

Bahan masuk dari Soaking Screen : biji kopi bersih = 12692.475 kg/batch

- Karbohidrat = 6930 kg/batch
- Kafein = 247.5 kg/batch
- Selulosa = 3712.5 kg/batch
- Air = 1802.475 kg/batch (20.1944 %)

Bahan keluar :

Air yang hilang akibat pemanasan (1b) = 72 % x 1802.475 = 1297.782 kg/batch

Biji kopi masak (1a) = Karbohidrat = 6930kg/ batch

Kafein = 247.5 kg/batch

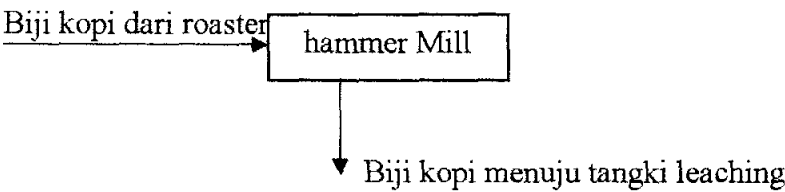
Selulosa = 3712.5 kg/ batch

Kandungan air pada biji kopi masak = 1802.475 - 1297.782 = 504.693 kg/batch

Neraca Massa Pada Roaster

Masuk kg/batch		Keluar kg/batch	
Dari soaking screen		Ke disk Mill	
Karbohidrat	6930	Karbohidrat	6930
Kafein	247,5	Kafein	247,5
Selulosa	3712,5	Selulosa	3712,5
Air	1802,475	Air	504,693
Total	12692,475	Ke Lingkungan	
		Uap air	1297,782
		Total	12692,475

A.3. Hammer Mill (C-140)



Bahan Masuk dari Roaster :

Massa biji kopi dari Roaster = 11394.693 kg/ batch

Komponen biji kopi masuk dari roaster :

Karbohidrat = 6930kg/ batch

Kafein = 247.5 kg/ batch

Selulosa = 3712.5 kg/ batch

Air = 504.693 kg/ batch

Bahan keluar hammer mill :

Komponen biji kopi keluar hammer mill :

Karbohidrat = 6930 kg/batch

Kafein = 247.5 kg/batch

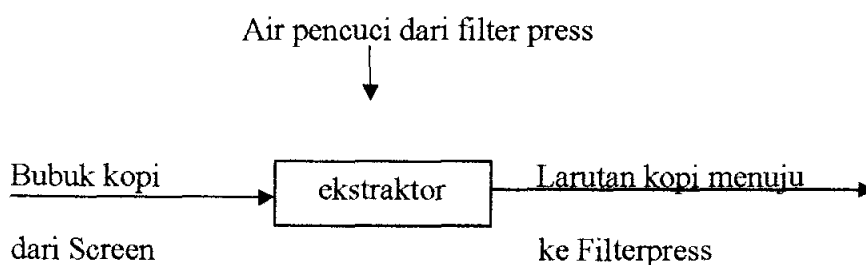
Selulosa = 3712.5 kg/batch

Air = 504.693 kg/batch

Neraca Massa Di Hammer Mill

Massa Masuk (kg / batch)		Massa Keluar (kg / batch)	
Dari Roaster :		Menuju ke screen :	
Karbohidrat	6930	Karbohidrat	8662,5
Kafein	247,5	Kafein	309,375
Selulosa	3712,5	Selulosa	4640,625
Air	504,693	Air	630,8663
Total	14243,37	Total	14243,37

A.5. Tangki Leaching (H-210)



Keterangan : - massa air panas yang masuk ke tangki berpengaduk = 5 x massa kopi yang masuk ke tangki berpengaduk [23]

Kopi yang terekstrak dalam air sebesar :

Karbohidrat = 60 % dari massa karbohidrat dalam kopi masuk tangki leaching [23]

Kafein = 80 % dari massa kafein dalam kopi masuk tangki leaching [23]

Selulosa tidak dapat larut dalam air

Suhu operasi = 80 °C

Bahan Masuk :

Massa larutan panas dari backwash:

Karbohidrat = 2409.622kg / batch

Kafein = 58.81188 kg / batch

Air = 5 x (11394.693+ 2409.622+ 58.81188) = 69315.6344 kg / batch

Komponen biji kopi masuk ekstraktor :

Massa kopi dari screen = 11394.693 kg / batch

Karbohidrat = 6930kg/batch

Kafein = 247.5 kg/batch

Selulosa = 3712.5kg/batch

Air = 504.693 kg/batch

Komponen total masuk ekstraktor :

Karbohidrat = 6930+ 2409.622= 9339.622 kg / batch

Kafein = 247.5+ 58.81188= 306.31188 kg / batch

Selulosa = 3712.5kg / batch

Air = 69315.6344 + 504.693= 69820.3274 kg / batch

Bahan Keluar :

Komponen terlarut dalam air :

Karbohidrat = 60 % x 9339.622 = 5603.7732 kg / batch

Kafein = 80 % x 306.31188 = 245.049504 kg / batch

Komponen tidak larut dalam air :

Karbohidrat = 9339.622– 5603.7732 = 3735.8488 kg / batch

Kafein = 247.5+ 58.81188– 245.049504 = 61.262376 kg / batch

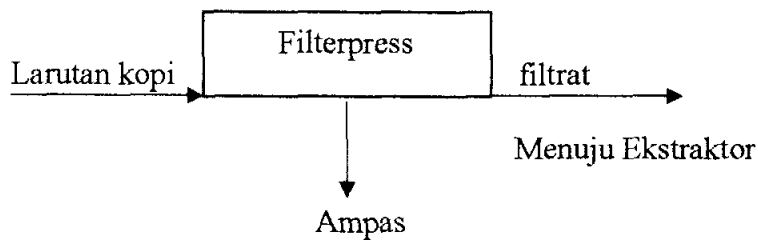
Selulosa = 3712.5kg / batch

Air = 504.693 + 69315.6344 = 69820.3274 kg / batch

Neraca Massa Di Tangki Leaching

Massa Masuk (kg / batch)		Massa Keluar (kg / batch)	
Dari screen :		Menuju ke filter press:	
Karbohidrat	6930	Komponen larut air :	
Kafein	247,5	Karbohidrat	5603,5845
Selulosa	3712,5	Kafein	245,0495
Air	504,693	Komponen tidak larut air :	
		Karbohidrat	3735,849
		Kafein	61,2623
		Selulosa	3712,5
Dari backwash :		Air	69820,33
Karbohidrat	2409,622		
Kafein	58,8118		
Air panas	69315,634		
Total	83178,761	Total	83178,761

A.6. Filterpress (H-220)



Kandungan air yang terikut dalam ampas 5 % [24]

Bahan masuk :

Larutan kopi dari ekstraktor = 83178.76128 kg/batch

Komponen biji kopi masuk filter press:

Komponen terlarut dalam air :

Karbohidrat = 5603.7732 kg / batch

Kafein = 245.049504 kg / batch

Komponen tidak larut dalam air (ampas) :

Karbohidrat = 3735.8488 kg / batch

Kafein = 61.262376 kg / batch

Selulosa = 3712.5kg / batch

Air = 69820.3274 kg / batch

Bahan keluar :

Komponen dalam cake :

Komponen cairan yang terikut dalam ampas (sebanyak 5%):

Karbohidrat = 5603.7732 kg / batch x 5% = 280.18866 kg / batch

Kafein = 245.049504 kg / batch x 5% = 12.2524752 kg / batch

Air = 69820.3274 kg / batch x 5 % = 3491.01637 kg / batch

Komponen padatan dalam ampas :

Karbohidrat = 3735.8488 kg / batch

Kafein = 61.262376 kg / batch

Selulosa = 3712.5 kg / batch

Komponen dalam filtrat :

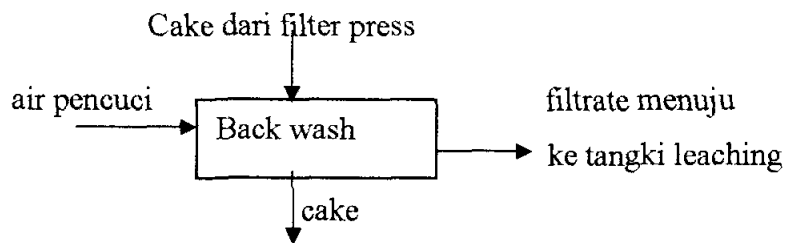
Karbohidrat = 5603.7732 kg / batch – 280.18866 kg / batch = 5323.58454 kg / batch

Kafein = 245.049504 kg / batch – 12.2524752 kg / batch = 232.7970288 kg / batch

Air = 69820.3274 – 3491.01637 = 66329.31103 kg / batch

Neraca Massa Pada Filterpress

Masuk	kg/ batch	Keluar	kg / batch
Dari tangki leaching:		ke ekstraktor:	
Komponen larut air :		karbohidrat	5323,5845
Karbohidrat	5603,773	kafein	232,797
Kafein	245,0495	Air	66329,311
Komponen tidak larut air :			
Karbohidrat	3735,849		
Kafein	61,2623		
Selulosa	3712,5		
Air	69820,33	Backwash (cake):	
		karbohidrat	4016,0375
		kafein	73,5148
		selulosa	3712,5
		air	3491,0164
Total	83178,761	Total	83178,761

Back wash**Bahan masuk :**Komponen cake dari filter press :

karbohidrat = 4016.03746 kg/ batch

kafein = 73.5148512 kg/ batch

selulosa = 3712.5kg/ batch

air = 3491.01637 kg/ batch

massa air pencuci yang ditambahkan = 69472.80931 kg/ batch

Bahan keluar :Komponen filtrate menuju ke tangki leaching :

Karbohidrat = $18,69 \% \times 4016.03746 = 2409.622476\text{kg/ batch}$

Kafein = $80 \% \times 73.5148512 = 58.81188096\text{kg/ batch}$

Air = 69315.6344 kg/ batch

Komponen dalam filtrate = komponen masuk tangki leaching berarti trial cocok.

Komponen cake:

Karbohidrat = $4016.03746 - 2409.622476 = 1606.414984 \text{ kg/ batch}$

Kafein = $73.5148512 - 58.81188096 = 14.70297024 \text{ kg/ batch}$

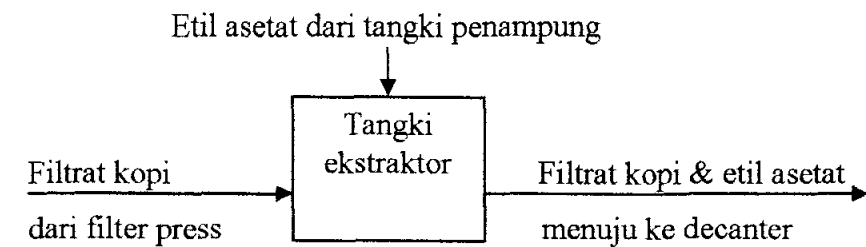
Selulosa = 3712.5kg/ batch

Air = $69472.80931 + 3491.01637 - 69315.6344 = 3648.191284 \text{ kg/ batch}$

Neraca massa pada backwash

Masuk	kg/ batch	Keluar	kg/ batch
<u>Dari filter press :</u>		<u>Tangki leaching :</u>	
karbohidrat	4016,0375	Karbohidrat	2409,622
kafein	73,5148	Kafein	58,8118
selulosa	3712,5	Air	69315,311
air	3491,0163		
<u>Dari tangki :</u>		<u>Cake :</u>	
Air	69472,8093	Karbohidrat	1606,415
		Kafein	14,7029
		Selulosa	3712,5
		Air	3648,191
Total	80765,878	Total	80765,878

A.7 Tangki Ekstraktor (H-230)



- volume etil asetat yang masuk ke tangki ekstraktor = 1,5 x volume filtrat yang masuk ke tangki ekstraktor [14]
- ρ larutan kopi = 1,08 kg/lt (Hasil percobaan)
- ρ etil asetat = 0,873 kg/lt
- kafein yang dapat terekstrak dengan etil asetat = 97 % [16]
- kandungan larutan etil asetat yang masuk =
 - o etil asetat 95%
 - o etanol 5 %

Bahan Masuk

Massa filtrat dari filter press = 71885.6926 kg / batch

Volume filtrat dari filter press = 71885.6926 kg / batch : 1,08 kg/ lt

= 77636.54801 lt / batch

Volume etil asetat yang dibutuhkan = 77636.54801 lt / batch x 1,5

= 116454.822 lt/batch

Massa etil asetat yang dibutuhkan = 116454.822 lt/batch * 0873 kg/lt

= 101665.0596 kg/batch

etanol masuk = $\frac{5}{95} \times 101665.0596=5350.792611$ kg/batch

komponen biji kopi masuk tangki ekstraktor :

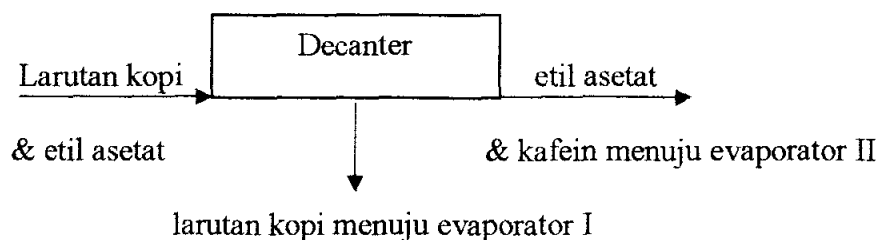
karbohidrat = 5323.58454 kg / batch

kafein = 232.7970288 kg / batch

Air = 66329.31103 kg / batch

Neraca Massa Di Tangki Ekstraktor

Massa Masuk		kg / batch	Massa Keluar		kg / batch
Dari filter press :			Menuju ke decanter :		
karbohidrat		5323,5845	Kafein		
kafein		232,797	Etil asetat		232,797
Air		66329,311	Etanol		101665,06
Dari tangki penampung :			Karbohidrat		5350,7926
Etil asetat		101665,06	Air		5323,5845
Etanol		5350,7926			66329,311
Total		184252,337	Total		184252,337

A.8 Decanter I (H-240)

Koefisien distribusi etil asetat-etanol pada = 0,455 [13]

Kafein yang terekstrak oleh etil asetat sebesar = 97 % [16]

Etil asetat yang larut dalam air = 8,08 % berat

Bahan Keluar

Dalam larutan etil asetat menuju evaporator II :

Kafein = $232.7970288 \text{ kg / batch} \times 97 \% = 225.8131179 \text{ kg / batch}$

Etil asetat yang larut dalam kopi = $8,08 \% \times 101665.0596 = 8214.536817 \text{ kg / batch}$

Etil asetat = $101665.0596 - 8214.536817 = 93450.5228 \text{ kg / batch}$

Etanol = $5350.792611 \times 0,455 = 2434.610638 \text{ kg / batch}$

Dalam larutan kopi menuju evaporator I :

Karbohidrat = $5323.58454 \text{ kg / batch}$

Kafein = $232.7970288 - 225.8131179 = 6.983910864 \text{ kg / batch}$

Air = $66329.31103 \text{ kg / batch}$

Etil asetat = $8214.536817 \text{ kg / batch}$

Etanol = $5350.792611 - 2434.610638 = 2916.181973 \text{ kg / batch}$

Bahan masuk :

Larutan kopi & etil asetat = $184252.3374 \text{ kg / batch}$

Karbohidrat = $5323.58454 \text{ kg / batch}$

Kafein = 232.7970288 kg / batch

Air = 66329.31103 kg / batch

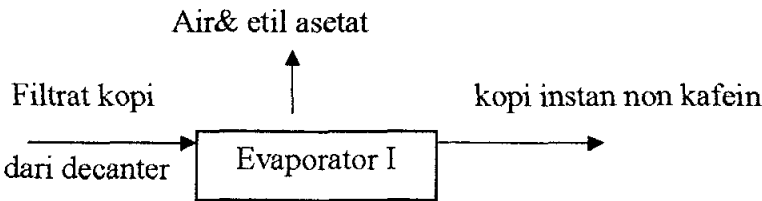
Etanol = 5350.792611 kg/batch

Etil Asetat = 101665.0596 kg/batch

Neraca Massa Di Decanter I

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari Ekstraktor :		Menuju evaporator I:	
Kafein	232,797	Karbohidrat	5323,5845
Etil asetat	101665,0596	Kafein	6,9839
Etanol	5350,7926	Air	66329,311
Karbohidrat	5323,5845	Etil asetat	8214,5368
Air	101665,06	Etanol	2916,1819
		Menuju evaporator II :	
		Kafein	225,8131
		Etil asetat	93450,522
		Etanol	2434,6106
Total	184252,3374	Total	184252,3374

A. 9 Evaporator I (V-310)



Filtrat kopi dipekatkan sampai 40 % massa filtrat kopi total [16]

Etil asetat dan etanol menguap habis

Komponen masuk evaporator I :

Karbohidrat = 5323.58454 kg/batch

Kafein = 6.983910864 kg/batch

Air = 66329.31103 kg/batch

Etil asetat = 8214.536817 kg/batch

Etanol = 2916.181973 kg/batch

Komponen keluar evaporator I :

Menuju ke spray dryer I:

Karbohidrat = 5323.58454 kg/batch

Kafein = 6.983910864 kg/batch

Air = (5323.58454 + 6.983910864) x 60/40 = 7995,846 kg/batch

Menuju ke condenser I:

Massa air yang teruapkan = 66329.31103 – 7995,846 = 58333,464 kg/batch

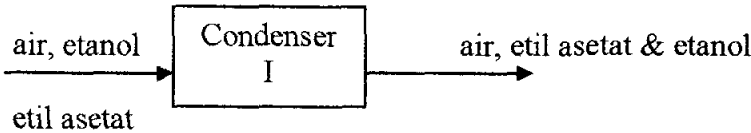
Etil asetat = 8214.536817 kg/batch

Etanol = 2916.181973 kg/batch

Neraca Massa Di Evaporator I

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari Decanter :		Menuju spray dryer I:	
Karbohidrat	5323,5845	Karbohidrat	5323,5845
Kafein	6,9839	Kafein	6,9839
Air	66329,311	Air	7995,846
Etil asetat	8214,5368		
Etanol	2916,1819	Menuju condenser I:	
		Air	58333,464
		Etil asetat	8214,5368
		Etanol	2916,1819
Total	82790,5983	Total	82790,5983

A.10 Condenser I (H-311)



Bahan masuk dari Evaporator I :

- Air = 58333,464 kg/batch
- Etil asetat = 8214.536817 kg/batch
- Etanol = 2916.181973 kg/batch

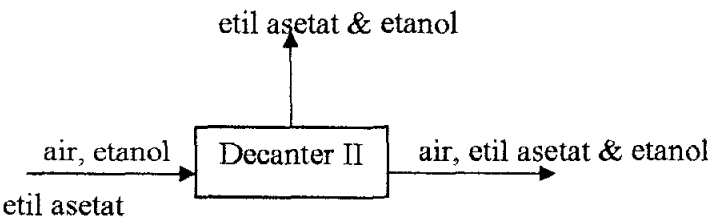
Bahan keluar menuju Decanter II :

- Air = 58333,464 kg/batch
- Etil asetat = 8214.536817 kg/batch
- Etanol = 2916.181973 kg/batch

Neraca Massa Condenser I

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari evaporator I :		Ke Decanter II :	
Air	58333,464	Air	58333,464
Etil asetat	8214,5368	Etil asetat	8214,5368
Etanol	2916,1819	Etanol	2916,1819
Total	69464,1827	Total	69464,1827

A.11 Decanter II (H-320)



Bahan masuk dari condenser I :

Air = 58333,464 kg/batch

Etil asetat = 8214.536817 kg/batch

Etanol = 2916.181973 kg/batch

Bahan keluar :

Ke lingkungan :

Air = 58333,464 kg/batch

Etil asetat = 8,08 % x 8214.536817 = 663.7345748 kg/batch

Etanol = 2916.181973 x 0,455 = 1326.862798 kg/batch

Ke tangki penampungan etil asetat :

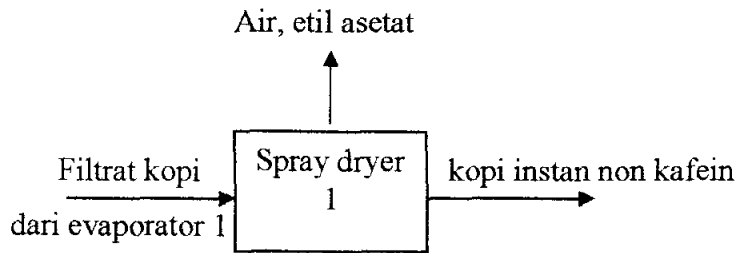
Etil asetat = 8214.536817 - 663.7345748 = 7550.802242 kg/batch

Etanol = 2916.181973 - 1326.862798 = 305.6765171 kg/batch

Neraca Massa Decanter II

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari Condenser I :		Ke tangki penampungan:	
Air	58333,464	Etil asetat	7550,8022
Etil asetat	8214,537	Etanol	1589,3192
Etanol	2916,182		
		Ke lingkungan :	
		Air	58333,464
		Etil asetat	663,7345
		Etanol	1326,8628
Total	69464,18	Total	69464,18

A.12 Spray dryer I (B-330)



Kandungan air pada kopi instan dikurangi hingga mencapai 11 % kadar air dalam produk (hasil percobaan)

Bahan masuk :

Komponen biji kopi masuk spray dryer I :

Karbohidrat = 5323.58454 kg / batch

Kafein = 6.983910864 kg / batch

Air = 7995,846 kg / batch

Bahan keluar :

Komponen biji kopi keluar spray dryer I:

Karbohidrat = 5323.58454 kg / batch

Kafein = 6.983910864 kg / batch

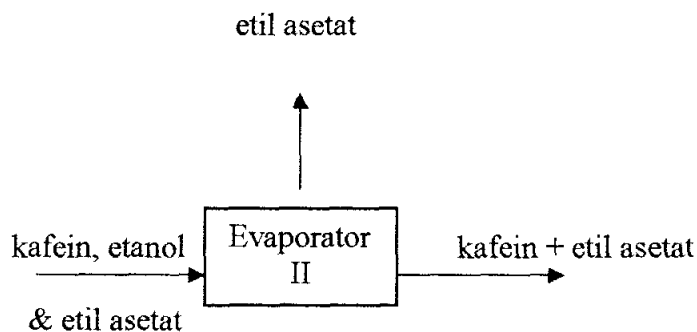
Air = $11/89 \times (5323,5845 + 6,9839) = 658,834$ kg / batch

Air teruapkan = $7995,846 - 658,834 = 7337,0122$ kg / batch

Neraca Massa Di Spray dryer I

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari evaporator :		Menuju packing:	
Karbohidrat	5323,5845	Karbohidrat	5323,5845
Kafein	6,9839	Kafein	6,9839
Air	7995,846	Air	658,834
		Menuju lingkungan:	
		Air	7337,0122
Total	13326,4146	Total	13326,4145

A.13 Evaporator II (V-350)



kafein dipekatkan sampai 40 % massa produk bawah total [16]

etanol dianggap menguap seluruhnya

Komponen larutan etil asetat yang masuk dari decanter I :

Kafein = 225.8131179 kg / batch

Etil asetat = 93450.5228kg / batch

Etanol = 2434.610638 kg/batch

Komponen keluar evaporator II :

Pada kafein bubuk :

Kafein = 225.8131179 kg/batch

Etil asetat = $(60 / 40) * 225.8131179 = 338,7196$ kg/batch

Ke tangki penampungan etil asetat :

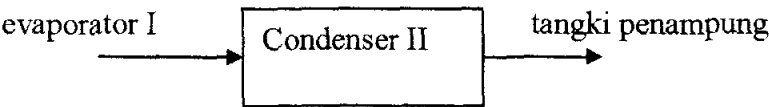
Etil asetat yang teruapkan = $93450.5228 - 338,7196 = 93111,803$ kg/batch

Etanol = 2434.610638 kg/batch

Neraca Massa Evaporator II

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari Decanter I :		Ke condensor II :	
Kafein	225,8131	Etil asetat	93111,803
Etil asetat	93450,5228	Etanol	2434,611
Etanol	2434,6106		
		Menuju spray dryer II :	
		Kafein	225,8131
		Etil asetat	338,7196
Total	96110,95	Total	96110,95

A,14, Condenser II (E-351)



Bahan Masuk :

Dari evaporator II :

Etil asetat = $93111,803$ kg/batch

Etanol = 2434.610638 kg/batch

Bahan Keluar :

Ke tangki ekstraktor :

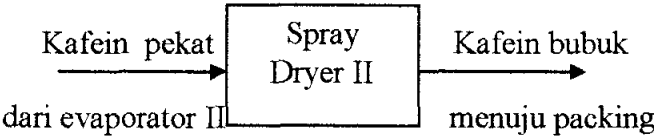
Etil asetat = $93111,803$ kg/batch

Etanol = 2434.610638 kg/batch

Neraca Massa Condenser II

Massa Masuk	(kg / batch)	Massa Keluar	(kg / batch)
Dari evaporator II :		Ke tangki penampung :	
Etil asetat	93111,803	Etil asetat	93111,803
Etanol	2434,611	Etanol	2434,611
Total	95546,414	Total	95546,414

A.17 Spray dryer II (B-360)



Kafein pekat diberi udara panas hingga menjadi kafein bubuk kering

Bahan Masuk :

Dari evaporator II :

Kafein = 225.8131179 kg/batch

Etil asetat = 338,7196 kg/batch

Bahan Keluar :

Ke packing :

Kafein = 225.8131179 kg/batch

Etil asetat = 0,338 kg/batch

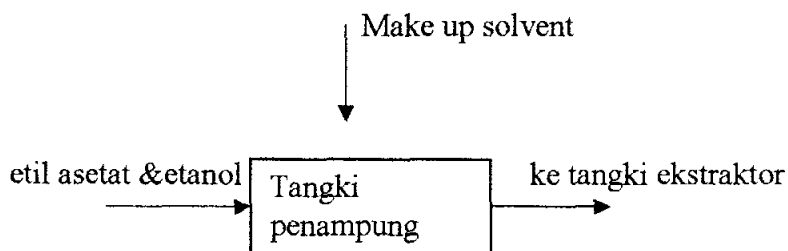
Ke tangki penampung etil asetat

Etil asetat = 338,7196 kg/batch

Neraca Massa Di Spray dryer II

Massa Masuk	kg / batch	Massa Keluar	kg / batch
Dari evaporator 2 :		Menuju packing:	
Kafein	225,8131	Kafein	225,8131
Etil asetat	338,7196	Etil asetat	338,7196
Total	564,5327	Total	564,5327

A.19 Tangki penampung Etil asetat



Bahan Masuk :

Dari Decanter 2 :

Etil asetat = 7550.802242 kg/batch

Etanol = 305.6765171 kg/batch

Dari Condenser 2 :

Etil asetat = 93344.2578 kg/batch

Etanol = 2434.610638 kg/batch

Make up solvent :

Larutan etil asetat :

Etil asetat = $101665.0596 - 7550.802242 - 93344.2578 = 769.9995715$ kg/batch

Etanol = $\frac{5}{95} \times 769.9995715 = 40.52629324$ kg/batch

Etanol = $5350.792611 - 305.6765171 - 2434.610638 - 40.52629324$
 $= 2569.979163 \text{ kg/batch}$

Bahan Keluar :

Ke tangki ekstraktor :

Etil asetat = $101665.05962 \text{ kg/batch}$

Etanol = $5350.792611 \text{ kg/batch}$

Neraca Massa Di Tangki Penampung etil asetat

Massa Masuk	(kg / batch)	Massa Keluar	(kg / batch)
Dari Condenser 2 :		Ke tangki ekstraktor :	
Etil asetat	93344,26	Etil asetat	101665,06
Etanol	2434,611	Etanol	5350,7926
Dari Decanter 2 :			
Etil asetat	7550,8022		
Etanol	1589,3192		
Make up solvent			
Etil asetat	769,9995		
Etanol	40,5262		
Etanol murni	1268,3365		
Total	107015,852	Total	107015,852

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN NERACA PANAS

Data-data Cp

T_{referensi} = 25 °C

- Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 1,5488.(T_2-T_1)+9,8125.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-1,9799.10^{-6}.(T_2^3-T_1^3) \text{ kJ/kg....[15]}$$

- Selulosa

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 1,8459.(T_2-T_1)+9,153.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-1,5503.10^{-6}.(T_2^3-T_1^3) \text{ kJ/kg.....[15]}$$

- Kafein (C₈H₁₀N₄O₂)

$$C_p = (8 \times 1,8) + (10 \times 2,3) + (4 \times 6,2) + (2 \times 4)$$

$$= 70,2 \text{ kal/gmol } ^\circ\text{C}$$

$$= 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}.....[15]$$

- Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 18,2964.(T_2-T_1)+0,23606.(T_2^2-T_1^2)-4,4627.10^{-4}.(T_2^3-T_1^3)+3,2855.$$

$$10^{-7}.(T_2^4-T_1^4) \text{ J/mol.....[15]}$$

- Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 42,9049.(T_2-T_1)+0,461789.(T_2^2-T_1^2)-8,80.10^{-4}.(T_2^3-T_1^3)+ 8,35645.$$

$$10^{-7}.(T_2^4-T_1^4) \text{ J/mol.....[15]}$$

- Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -325,137.(T_2-T_1)+2,068935.(T_2^2-T_1^2)-4,6769.10^{-3}.(T_2^3-T_1^3)+4,25885.10^{-6}.(T_2^4-T_1^4) \text{ J/mol} \dots\dots\dots [15]$$

- Udara

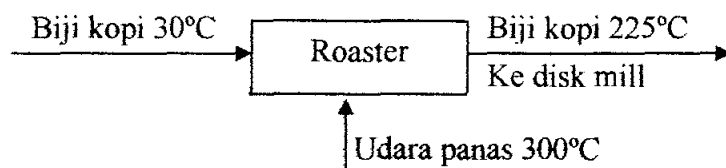
$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 28,94.(T_2-T_1)+2,0735.10^{-3}.(T_2^2-T_1^2)+1,0637.10^{-6}.(T_2^3-T_1^3)-4,9125.10^{-7}.(T_2^4-T_1^4) \text{ J/mol} \dots\dots\dots [15]$$

Tekanan steam yang digunakan = 4,5 bar

Suhu steam yang digunakan = 148°C

Dari Appendix A.2-9 Geankoplis, hal 858, dapat diperoleh $\lambda_s = 2120,448 \text{ kJ/kg}.$ [10]

1. Roaster (G-130)



Proses berlangsung selama 1 jam

1. Biji kopi

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 328,3087 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 6930 \text{ kg} \cdot 328,3087 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = 2275179,144 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 247,5 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (225-30)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 73069,425 \text{ kJ}$$

c) Selulosa

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 387,8468 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 3712,5 \text{ kg} \cdot 387,8468 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 1439881,114 \text{ kJ}$$

d) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 15175,0446 \text{ J/mol} = 843,0580 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 1802,475 \text{ kg} \cdot 843,0580 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 1519591,03 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_1 = 5307720,713 \text{ kJ}$$

2. Udara panas

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 544,0588 \text{ J/mol} = 18,7606 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_2 = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$\Delta H_2 = 18,7606 \cdot m \text{ udara panas}$$

3. Uap air

$$\Delta H_3 = m \cdot H_v$$

$$= 1297,782 \text{ kg} \cdot 2808,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_3 = 3644561,191 \text{ kJ}$$

4. Qloss

$$Q_{\text{loss}} = 798943,8029 \text{ kJ (dari Lampiran C)}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_1 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}}$$

$$= 5307720,713 + 3644561,191 + 798943,8029$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 9751225,707 \text{ kJ}$$

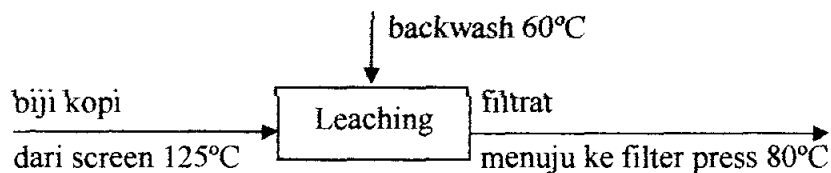
$$\Delta H_2 = \Delta H_{\text{total}}$$

$$\Delta H_{\text{udara panas}} = 9751225,707$$

$$18,76065 \cdot m \text{ udara panas} = 9751225,707$$

$$m \text{ udara panas} = 519770,1416 \text{ kg}$$

2. Tangki Leaching (H-210)



Menghitung suhu campuran :

$$\Sigma \left(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \right) \text{biji kopi} = \Sigma \left(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \right) \text{backwash}$$

Menghitung $\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)$ biji kopi :

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,98 \cdot 10^{-6}T^3 - 205,0648438)$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 6930 \text{ kg} \cdot (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,98 \cdot 10^{-6}T^3 - 205,0648438)$$

$$\Delta H = (10733,184T + 6,8000625T^2 - 0,0137214T^3 - 1421099,368)$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 247,5 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (T-125)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = (374,715T - 46839,375)$$

c) Selulosa

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (1,8459T + 9,153 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,5503 \cdot 10^{-6}T^3 - 242,0111328)$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 3712,5 \text{ kg} \cdot (1,8459T + 9,153 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,5503 \cdot 10^{-6}T^3 - 242,0111328)$$

$$\Delta H = (6852,90375T + 3,39805125T^2 - 5,75548875 \cdot 10^{-3}T^3 - 898466,3305)$$

d) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (74,14425073T + 0,017483887T^2 - 8,74934 \cdot 10^{-5}T^3 + 3,2855 \cdot$$

$$10^{-7}T^4 - 9450,543945)$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 504,693 \text{ kg} \cdot (74,14425073T + 0,017483887T^2 - 8,74934 \cdot 10^{-5}T^3 + 3,2855 \cdot 10^{-7}T^4 - 9450,543945)$$

$$\Delta H = (37420,08433T + 8,823995382T^2 - 0,044157306T^3 + 1,658168852 \cdot 10^{-4}T^4 - 4769623,375)$$

$$\Sigma(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)_{\text{bijikopi}} = (55380,88708T + 19,02210913T^2 - 0,063634194T^3 + 1,658168852 \cdot 10^{-4}T^4 - 7136028,449)$$

Menghitung $\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)_{\text{backwash}}$:

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,98 \cdot 10^{-6}T^3 - 96,03282)$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 2409,622 \text{ kg} \cdot (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,98 \cdot 10^{-6}T^3 - 96,03282)$$

$$\Delta H = (3732,022554T + 2,364441588T^2 - 4,77105156 \cdot 10^{-3}T^3 - 231402,7958)$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 58,8118 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (T-60)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = (89,0410652T - 5342,463912)$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (74,14425073T + 0,017483887T^2 - 8,74934 \cdot 10^{-5}T^3 + 3,2855 \cdot 10^{-7}T^4 - 4496,956474)$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 69315,634 \text{ kg} \cdot (74,14425073T + 0,017483887T^2 - 8,74934 \cdot 10^{-5}T^3 + 3,2855 \cdot 10^{-7}T^4 - 4496,956474)$$

$$\Delta H = (5139355,747T + 1211,906712T^2 - 6,064660492T^3 + 0,022773651T^4 - 311709389,1)$$

$$\Sigma(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)_{\text{backwash}} = (5143176,811T + 1214,271154T^2 - 6,069431544T^3 + 0,022773651T^4 - 311946134,4)$$

$$\Sigma(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)_{\text{biji kopi}} = \Sigma(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)_{\text{backwash}}$$

$$(55380,88708T + 19,02210913T^2 - 0,063634194T^3 + 1,658168852 \cdot 10^{-4}T^4 - 7136028,449) =$$

$$(5143176,811T + 1214,271154T^2 - 6,069431544T^3 + 0,022773651T^4 - 311946134,4)$$

Dari hasil trial, diperoleh $T = 59,275611^\circ\text{C} \approx 59,28^\circ\text{C}$

Menghitung enthalpi untuk menaikkan suhu bahan dari $59,28^\circ\text{C}$ menjadi 80°C

$$T_1 = 59,28^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 34,3216 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 9339,622 \text{ kg} \cdot 34,3216 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\Delta H = 320551,1929 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 306,3118 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80 - 59,28)^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\Delta H = 9609,0257 \text{ kJ}$$

c) Selulosa

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 40,4177 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 3712,5 \text{ kg} \cdot 40,4177 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\Delta H = 150050,6948 \text{ kJ}$$

d) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 1569,5552 \text{ J/mol} = 87,1975 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 69820,327 \text{ kg} \cdot 87,1975 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\Delta H = 6088158,646 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ total} = \Delta H \text{ karbohidrat} + \Delta H \text{ kafein} + \Delta H \text{ selulosa} + \Delta H \text{ air}$$
$$= 320551,1929 + 9609,0257 + 150050,6948 + 6088158,646$$
$$\Delta H \text{ total} = 6568369,559$$

Menghitung Qsteam dan massa steam yang diperlukan untuk menaikkan suhu bahan dari 59,28°C menjadi 80°C

$$Q_{\text{steam}} = \frac{\Delta H \text{ total}}{\text{waktu pemanasan}} = \frac{6568369,559 \text{ kJ}}{1,012037984 \text{ jam}} = 6490240,152 \text{ kJ/jam}$$
$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \cdot \lambda$$
$$6490240,152 \text{ kJ/jam} = m_{\text{steam}} \cdot 2120,448$$
$$m_{\text{steam}} = 3060,7872 \text{ kg/jam}$$

Menghitung Qsteam dan massa steam yang diperlukan untuk proses ekstraksi selama 1 jam

$$Q_{\text{loss}} = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots [10]$$

Keterangan : Qloss = panas yang hilang dari tangki ekstraktor, kJ

$$h = \text{panas konveksi} = (1,24 \cdot (\Delta T)^{1/3}) \dots\dots\dots [10]$$
$$A = \text{luas perpindahan panas, m}^2$$
$$\Delta T = \text{perbedaan suhu, K}$$

$$Q_{\text{loss}} = h \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= (1,24 \cdot (\Delta T)^{1/3}) \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= (1,24 \cdot (33-30)^{1/3}) \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 98,0612 \text{ m}^2 \cdot (33-30) \text{ K}$$
$$Q_{\text{loss}} = 526,1147 \text{ W} = 0,5261 \text{ kJ/s} = 1894,0130 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{steam}} = 1 \cdot Q_{\text{loss}}$$

$$= 1 \cdot 1894,0130 \text{ kJ/jam}$$

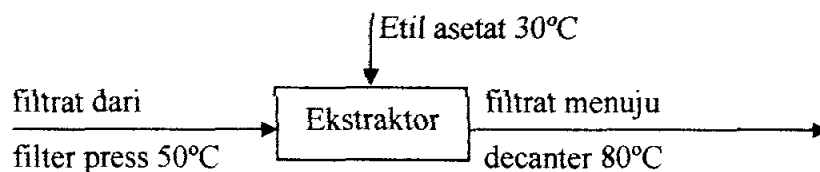
$$Q_{\text{steam}} = 1894,0130 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \cdot \lambda$$

$$1894,0130 \text{ kJ/jam} = m_{\text{steam}} \cdot 2120,448 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{\text{steam}} = 0,8932 \text{ kg/jam}$$

3. Tangki Ekstraktor (H-230)



Menghitung suhu campuran :

$$\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ filtrat} = \Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ etil asetat}$$

Menghitung $\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)$ filtrat :

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,9799 \cdot 10^{-6}T^3 - 79,6456375) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5323,5845 \text{ kg} \cdot (1,5488T + 9,8125 \cdot 10^{-4}T^2 - 1,98 \cdot 10^{-6}T^3 - 79,6456375) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = (8245,167674T + 5,223767291T^2 - 0,010540164T^3 - 424000,2813) \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 232,797 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (T-50)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = (352,454658T - 17622,7329) \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (4,119125041T + 9,713270556 \cdot 10^{-4}T^2 - 4,860744444 \cdot 10^{-6}T^3 +$$

$$1,825277778 \cdot 10^{-6}T^4 + 800,9973339) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 66329,311 \text{ kg} \cdot (4,119125041T + 9,713270556 \cdot 10^{-4}T^2 - 4,860744444 \cdot 10^{-6}T^3 +$$

$$1,825277778 \cdot 10^{-6}T^4 + 800,9973339) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = (273218,7259T + 64,42745435T^2 - 0,322409829T^3 + 0,121069417T^4 +$$

$$53129601,27) \text{ kJ}$$

$$\Sigma(m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ filtrat} = (281816,3482T + 69,65122164T^2 - 0,332949993T^3 +$$

$$0,121069417T^4 + 52687978,26) \text{ kJ}$$

Menghitung $\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT)$ etil asetat :

a) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (1,887567089T + 1,302471249 \cdot 10^{-3}T^2 + 3,691752554 \cdot 10^{-7}T^3 +$$

$$9,485187287 \cdot 10^{-9}T^4 + 348,6495588) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 101665,06 \text{ kg} \cdot (1,887567089T + 1,302471249 \cdot 10^{-3}T^2 + 3,691752554 \cdot$$

$$10^{-7}T^3 + 9,485187287 \cdot 10^{-9}T^4 + 348,6495588) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = (191899,6214T + 132,4158177T^2 + 0,037532224T^3 + 9,643121346 \cdot$$

$$10^{-4}T^4 + 35445478,31) \text{ kJ}$$

b) Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = (2,288188023T + 3,103991535 \cdot 10^{-3}T^2 - 5,69476883 \cdot 10^{-7}T^3 +$$

$$9,244302149 \cdot 10^{-8}T^4 + 4059,526123) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5350,7926 \text{ kg} \cdot (2,288188023T + 3,103991535 \cdot 10^{-3}T^2 - 5,69476883 \cdot$$

$$10^{-7}T^3 + 9,244302149 \cdot 10^{-8}T^4 + 4059,526123) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = (12243,61954T + 16,60881494T^2 - 3,047152691 \cdot 10^{-3}T^3 +$$

$$4,946434353 \cdot 10^{-4}T^4 + 21721682,34) \text{ kJ}$$

$$\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ etil asetat} = (204143,2409T + 149,0246326T^2 + 0,034485071T^3$$

$$+ 1,45895557 \cdot 10^{-3}T^4 + 57167160,65) \text{ kJ}$$

Menghitung suhu campuran :

$$\Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ filtrat} = \Sigma (m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT) \text{ etil asetat}$$

$$\begin{aligned}
 & (281816,3482T + 69,65122164T^2 - 0,332949993T^3 + 0,121069417T^4 + \\
 & 52687978,26) \text{ kJ} = (204143,2409T + 149,0246326T^2 + 0,034485071T^3 + \\
 & 1,45895557 \cdot 10^{-3}T^4 + 57167160,65) \text{ kJ} \\
 & 77673,1073T - 79,37341096T^2 - 0,367435064T^3 + 0,119610461T^4 - 4479182,39 = \\
 & 0
 \end{aligned}$$

Dari hasil trial and error, diperoleh $T = 50,72131557^\circ\text{C} \approx 50,72^\circ\text{C}$

Menghitung enthalpi untuk menaikkan suhu bahan dari $50,72^\circ\text{C}$ menjadi 80°C

$$T_1 = 50,72^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 48,3492 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5323,5845 \text{ kg} \cdot 48,3492 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 257391,0793 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 232,797 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80 - 50,72)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 10319,8724 \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 2215,7654 \text{ J/mol} = 123,0981 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 66329,311 \text{ kg} \cdot 123,0981 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 8165010,639 \text{ kJ}$$

d) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 5349,4090 \text{ J/mol} = 60,7197 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 101665,06 \text{ kg} \cdot 60,7197 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 6173075,935 \text{ kJ}$$

e) Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 3770,1863 \text{ J/mol} = 81,8360 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5350,7926 \text{ kg} \cdot 81,8360 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 437887,6757 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ total} = \Delta H \text{ karbohidrat} + \Delta H \text{ kafein} + \Delta H \text{ air} + \Delta H \text{ etil asetat} + \Delta H \text{ etanol}$$

$$= (257391,0793 + 10319,8724 + 8165010,639 + 6173075,935 +$$

$$437887,6757) \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ total} = 15043685,2 \text{ kJ}$$

Menghitung Qsteam dan massa steam yang diperlukan untuk menaikkan suhu bahan dari 50,72°C menjadi 80°C

$$Q_{\text{steam}} = \frac{\Delta H \text{ total}}{\text{waktu pemanasan}} = \frac{15043685,2 \text{ kJ}}{1,06010932 \text{ jam}} = 14190692,33 \text{ kJ/jam}$$
$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \cdot \lambda$$
$$14190692,33 \text{ kJ/jam} = m_{\text{steam}} \cdot 2120,448$$
$$m_{\text{steam}} = 6692,3086 \text{ kg/jam}$$

Menghitung Qsteam dan massa steam yang diperlukan untuk proses ekstraksi selama 4 jam

$$Q_{\text{loss}} = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots [10]$$

Keterangan : Qloss = panas yang hilang dari tangki ekstraktor, kJ

h = panas konveksi = $(1,24 \cdot (\Delta T)^{1/3}) \dots\dots\dots [10]$

A = luas perpindahan panas, m²

ΔT = perbedaan suhu, K

$$Q_{\text{loss}} = h \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= (1,24 \cdot (\Delta T)^{1/3}) \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= (1,24 \cdot (33-30)^{1/3}) \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 109,7913 \text{ m}^2 \cdot (33-30) \text{ K}$$
$$Q_{\text{loss}} = 589,0488 \text{ W} = 0,5890 \text{ kJ/s} = 2120,5757 \text{ kJ/jam}$$

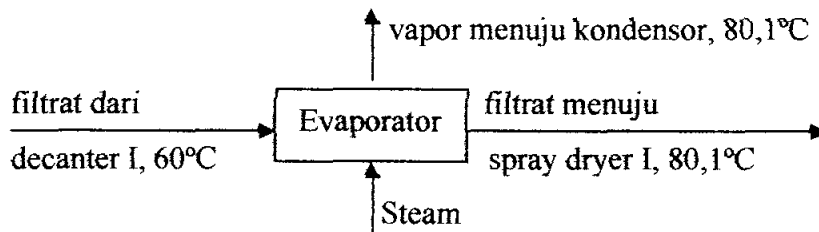
$$Q_{\text{steam}} = 4 \cdot Q_{\text{loss}}$$
$$= 4 \cdot 2120,5757 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{steam}} = 8482,3028 \text{ kJ/jam}$$
$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \cdot \lambda$$

$$8482,3028 \text{ kJ/jam} = m \text{ steam} \cdot 2120,448 \text{ kJ/kg}$$

$$m \text{ steam} = 4,0002 \text{ kg/jam}$$

4. Evaporator I (V-310)



Menghitung Enthalpi bahan masuk

$$T_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C}$$

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 56,7305 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5323,5845 \text{ kg} \cdot 56,7305 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 302009,5907 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 6,9839 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (60-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 370,0769 \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 2633,6615 \text{ J/mol} = 146,3145 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 66329,311 \text{ kg} \cdot 146,3145 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 9704941,891 \text{ kJ}$$

d) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 6178,7082 \text{ J/mol} = 70,1329 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 8214,5368 \text{ kg} \cdot 70,1329 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 576109,2588 \text{ kJ}$$

e) Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 4163,2905 \text{ J/mol} = 90,3688 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 2916,1819 \text{ kg} \cdot 90,3688 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 263531,8513 \text{ kJ}$$

f) Steam

$$\Delta H_{in} = \Delta H_{\text{karbohidrat}} + \Delta H_{\text{kafein}} + \Delta H_{\text{air}} + \Delta H_{\text{etil asetat}} + \Delta H_{\text{etanol}} + Q_{\text{steam}}$$

$$\Delta H_{in} = (10846962,67 + Q_{steam}) \text{ kJ}$$

Menghitung Enthalpi bahan keluar

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 80,1^\circ\text{C} = 353,1 \text{ K}$$

1. Menuju ke spray dryer I

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 90,0347 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 5323,5845 \text{ kg} \cdot 90,0347 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = 479307,4906 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 6,9839 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80,1-25)^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta H = 582,6067 \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 4156,3963 \text{ J/mol} = 230,9109 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 7995,846 \text{ kg} \cdot 230,9109 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = 1846328,054 \text{ kJ}$$

2. Menuju ke kondensor I

a) Uap air

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \lambda_{80,1^\circ\text{C}} \right)$$

$$= 58333,464 \text{ kg} \cdot (230,9109 + 2308,5342) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 148134629,7 \text{ kJ}$$

b) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 9877,6208 \text{ J/mol} = 112,1183 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_v \right)$$

$$= 8214,5368 \text{ kg} \cdot (112,1183 + 370,3119) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 3962940,511 \text{ kJ}$$

c) Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 6797,1660 \text{ J/mol} = 147,5400 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_v \right)$$

$$= 2916,1820 \text{ kg} \cdot (147,5400 + 836,0034) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 2868191,345 \text{ kJ}$$

$\Delta H \text{ out} = \Delta H \text{ bahan yang menuju ke spray dryer I} + \Delta H \text{ bahan yang menuju ke kondenser I}$

$\Delta H \text{ out} = (\Delta H \text{ karbohidrat} + \Delta H \text{ kafein} + \Delta H \text{ air}) + (\Delta H \text{ uap air} + \Delta H \text{ etil asetat} + \Delta H \text{ etanol})$

$$\Delta H_{out} = (2326218,152) + (154965761,6)$$

$$\Delta H_{out} = 157291979,7 \text{ kJ}$$

$$Q_{loss} = 10\% \cdot \Delta H_{in}$$

$$= 0,1 \cdot \Delta H_{in}$$

$$Q_{loss} = 0,1 (10846962,67 + Q_{steam})$$

$$\Delta H_{in} = \Delta H_{out} + Q_{loss}$$

$$\Delta H_{in} = \Delta H_{out} + 0,1 \cdot \Delta H_{in}$$

$$0,9 \cdot \Delta H_{in} = \Delta H_{out}$$

$$0,9 \cdot (10846962,67 + Q_{steam}) = 157291979,7$$

$$9762266,403 + 0,9 \cdot Q_s = 157291979,7$$

$$0,9 \cdot Q_s = 147529713,3$$

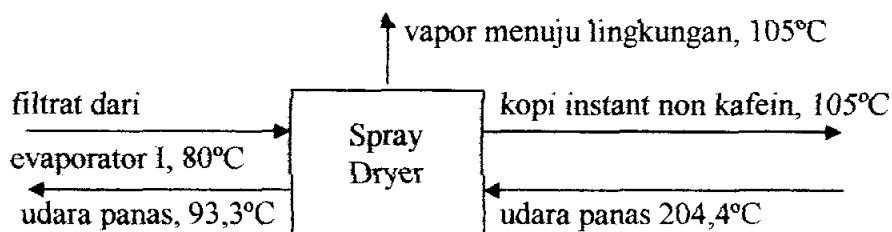
$$Q_s = 163921903,7 \text{ kJ}$$

$$Q_{steam} = m_{steam} \cdot \lambda$$

$$163921903,7 \text{ kJ} = m_{steam} \cdot 2120,448 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{steam} = 77305,3165 \text{ kg}$$

5. Spray Dryer I (B-330)



Menghitung Enthalpi bahan masuk

$$T_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

a) Karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 89,8679 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5323,5845 \text{ kg} \cdot 89,8679 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 478419,6038 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 6,9839 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 581,5494 \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 4148,8028 \text{ J/mol} = 230,4890 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 7995,846 \text{ kg} \cdot 230,4890 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 1842954,893 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{in}} = \Delta H_{\text{karbohidrat}} + \Delta H_{\text{kafein}} + \Delta H_{\text{air}}$$

$$\Delta H_{\text{in}} = 2321956,046 \text{ kJ}$$

Menghitung Enthalpi bahan keluar

$$T_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 105^\circ\text{C}$$

1. Menuju ke packing**a) Karbohidrat**

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 131,8479 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 5323,5845 \text{ kg} \cdot 131,8479 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 701903,7253 \text{ kJ}$$

b) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 6,9839 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (105-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 845,8900 \text{ kJ}$$

c) Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 6053,2621 \text{ J/mol} = 336,2923 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 658,834 \text{ kg} \cdot 336,2923 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 221560,8285 \text{ kJ}$$

2. Menuju ke lingkungan

-) Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot \lambda_{105^\circ\text{C}} \\ &= 7337,0122 \text{ kg} \cdot 2243,65 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= 16461687,42 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$\Delta H_{\text{out}} = \Delta H_{\text{bahan menuju ke packing}} + \Delta H_{\text{bahan menuju ke lingkungan}}$

$$\Delta H_{\text{out}} = 17385997,86 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= 10\% \cdot \Delta H_{\text{in}} \\ &= 0,1 \cdot (2321956,046)\end{aligned}$$

$$Q_{\text{loss}} = 232195,6046 \text{ kJ}$$

Sebagai pemanas digunakan udara panas yang masuk pada $T = 204,4^\circ\text{C}$ (berasal dari udara pada 30°C , 1 atm, dan kelembaban 70%)

Dari Geankoplis halaman 516 (Figure 9.3-2), didapatkan

$$H = 0,02 \text{ kg uap air/kg udara kering}$$

Menghitung Enthalpi udara panas masuk

$$\Delta H_{y1} = m \cdot C_s \cdot (T - T_{\text{ref}})$$

$$\text{dimana } C_s = 1,005 + 1,88 \cdot H$$

$$= 1,005 + 1,88 \cdot (0,02)$$

$$= 1,0426 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_{y1} = m \cdot 1,0426 \cdot (204,4 - 0) = 213,1074 \text{ m}$$

Menghitung Enthalpi udara panas keluar

$$\Delta H_{y2} = m \cdot C_s \cdot (T - T_{ref}) + m \cdot H \cdot \lambda_o$$

$$= m \cdot 1,0426 \cdot (93,3 - 0) + m \cdot 0,02 \cdot 2501,4$$

$$= 97,2746 \text{ m} + 50,028 \text{ m}$$

$$\Delta H_{y2} = 147,3026 \text{ m}$$

Jadi, udara panas yang dibutuhkan :

$$\Delta H_{y1} - \Delta H_{y2} = \Delta H_{out} + Q_{loss} - \Delta H_{in}$$

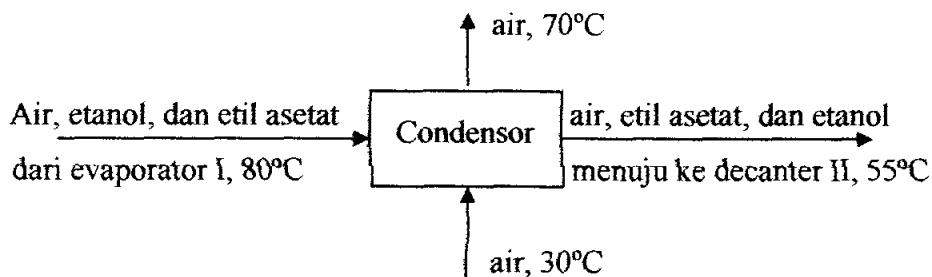
$$213,1074 \text{ m} - 147,3026 \text{ m} = 17385997,86 + 232195,6046 - 2321956,046$$

$$65,8048 \text{ m} = 15296237,42$$

$$m = 232448,4456 \text{ kg}$$

$$\text{maka, } \Delta H_{y1} = 213,1074 \text{ m} = 213,1074 \cdot 232448,4456 = 49536493,17 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{y2} = 147,3026 \text{ m} = 147,3026 \cdot 232448,4456 = 34240255,75 \text{ kJ}$$

6. Condenser I

$$T_1 = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$T_2 = 55^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

- Air

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -1892,8254 \text{ J/mol} = -105,1570 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengembunan air} &= -\text{panas penguapan air} \\ &= -2308,79 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \text{panas pengembunan air} \right) \\ &= 58333,464 \text{ kg} \cdot (-105,1570 - 2308,79) \text{ kJ/kg} \\ &= 58333,464 \text{ kg} \cdot (-2413,9470) \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = -140813888,7 \text{ kJ}$$

- Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -4582,4626 \text{ J/mol} = -52,0143 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengembunan etil asetat} &= -\text{panas penguapan etil asetat} \\ &= -369,9638 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \text{panas pengembunan etil asetat} \right) \\ &= 8214,5368 \text{ kg} \cdot (-52,0143 - 369,9638) \text{ kJ/kg} \\ &= 8214,5368 \text{ kg} \cdot (-421,9781) \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = -3466354,728 \text{ kJ}$$

- Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -3244,4521 \text{ J/mol} = -70,4244 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengembunan etanol} &= -\text{panas penguapan etanol} \\ &= -835,2396 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \text{panas pengembunan etanol} \right)$$

$$= 2916,1820 \text{ kg} \cdot (-70,4244 - 835,2396) \text{ kJ/kg}$$

$$= 2916,1820 \text{ kg} \cdot (-905,6640) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = -2641081,092 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{air}} + \Delta H_{\text{etil asetat}} + \Delta H_{\text{etanol}}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = -146921324,5 \text{ kJ}$$

Panas yang dikeluarkan bahan = panas yang diserap air pendingin + Qloss

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{air pendingin}} + Q_{\text{loss}}$$

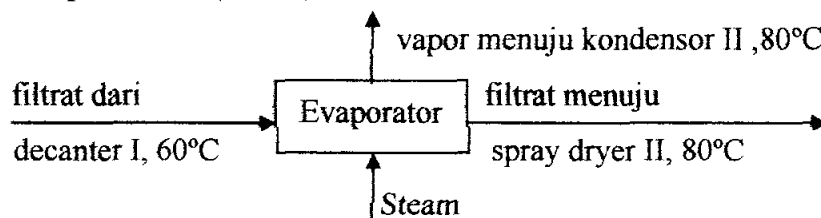
$$146921324,5 = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + (10\% \cdot \Delta H_{\text{total}})$$

$$146921324,5 = m \cdot (167,5378) + (14692132,45)$$

$$132229192,1 = 167,5378 m$$

$$m_{\text{air pendingin}} = 789249,999 \text{ kg}$$

7. Evaporator II (V-350)



Menghitung Enthalpi bahan masuk

$$T_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C}$$

a) Kafein

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 225,8131 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (60-25)^\circ\text{C} \\ \Delta H &= 11965,8362 \text{ kJ}\end{aligned}$$

b) Etil asetat

$$\begin{aligned}\int_{T_1}^{T_2} C_p dT &= 6178,7082 \text{ J/mol} = 70,1329 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 93450,5228 \text{ kg} \cdot 70,1329 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= 6553955,839 \text{ kJ}\end{aligned}$$

c) Etanol

$$\begin{aligned}\int_{T_1}^{T_2} C_p dT &= 4163,2905 \text{ J/mol} = 90,3688 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \\ &= 2434,6106 \text{ kg} \cdot 90,3688 \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= 220012,8321 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\Delta H_{in} = \Delta H_{kafein} + \Delta H_{etil\ asetat} + \Delta H_{etanol} + Q_{steam}$$

$$\Delta H_{in} = (6785934,507 + Q_s) \text{ kJ}$$

Menghitung Enthalpi bahan keluar

$$T_1 = 25^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C}$$

1. Menuju ke kondensor II

a) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 9858,9203 \text{ J/mol} = 111,9060 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_v \right)$$

$$= 93344,26 \text{ kg} \cdot (111,9060 + 369,9638) \text{ kJ/kg}$$

$$= 93344,26 \text{ kg} \cdot (481,8698) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 44979779,79 \text{ kJ}$$

b) Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 6783,5114 \text{ J/mol} = 147,2436 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_v \right)$$

$$= 2434,611 \text{ kg} \cdot (147,2436 + 835,2396) \text{ kJ/kg}$$

$$= 2434,611 \text{ kg} \cdot (982,4832) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 2391964,39 \text{ kJ}$$

2. Menuju ke spray dryer II

a) Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 225,8131 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 18803,4568 \text{ kJ}$$

b) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 9858,9203 \text{ J/mol} = 111,9060 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 106,265 \text{ kg} \cdot 111,9060 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 11891,6931 \text{ kJ}$$

$$\Delta H \text{ out} = \Delta H \text{ bahan yang menuju ke kondenser II} + \Delta H \text{ bahan yang menuju ke spray dryer II}$$

$$\Delta H \text{ out} = 47402439,33 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% \cdot \Delta H \text{ in}$$

$$= 0,1 \cdot \Delta H \text{ in}$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,1 \cdot (6785934,507 + Q_s)$$

$$\Delta H \text{ in} = \Delta H \text{ out} + Q_{\text{loss}}$$

$$\Delta H \text{ in} = \Delta H \text{ out} + 0,1 \cdot \Delta H \text{ in}$$

$$0,9 \cdot \Delta H \text{ in} = \Delta H \text{ out}$$

$$0,9 \cdot (6785934,507 + Q_s) = 47402439,33$$

$$6107341,056 + 0,9 \cdot Q_s = 47402439,33$$

$$0,9 \cdot Q_s = 41295098,27$$

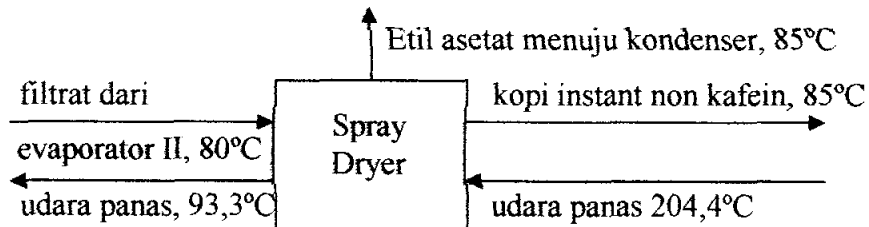
$$Q_s = 45883442,53 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \cdot \lambda$$

$$45883442,53 = m_{\text{steam}} \cdot 2120,448$$

$$m_{\text{steam}} = 21638,5606 \text{ kg}$$

8. Spray Dryer II (B-360)



Menghitung Enthalpi bahan masuk

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C} = 353 \text{ K}$$

- Kafein

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 225,8131 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (80-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 18803,4568 \text{ kJ}$$

- Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 9858,9203 \text{ J/mol} = 111,9060 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 106,265 \text{ kg} \cdot 111,9060 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 11891,6931 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{in}} = \Delta H_{\text{kafein}} + \Delta H_{\text{etil asetat}}$$

$$\Delta H_{\text{in}} = 30695,1499 \text{ kJ}$$

Menghitung Entalpi bahan keluar

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 85^\circ\text{C} = 358 \text{ K}$$

1. Menuju ke packing**a) Kafein**

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 225,8131 \text{ kg} \cdot 1,5140 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (85-25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = 20512,862 \text{ kJ}$$

b) Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 10797,7751 \text{ J/mol} = 122,5627 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$= 0,10626 \text{ kg} \cdot 122,5627 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 13,0235 \text{ kJ}$$

2. Menuju ke kondenser**• Etil asetat**

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 10797,7751 \text{ J/mol} = 122,5627 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_v \right)$$

$$= 106,1587 \text{ kg} \cdot (122,5627 + 387,8383) \text{ kJ/kg}$$

$$= 106,1587 \text{ kg} \cdot (510,4010) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = 54183,5077 \text{ kJ}$$

$\Delta H_{out} = \Delta H_{\text{bahan yang menuju ke packing}} + \Delta H_{\text{bahan yang menuju ke kondenser}}$

$$\Delta H_{out} = 74709,3932 \text{ kJ}$$

$$Q_{loss} = 10\% \cdot \Delta H_{in}$$

$$= 0,1 \cdot (30695,1499)$$

$$Q_{loss} = 3069,5150 \text{ kJ}$$

Sebagai pemanas digunakan udara panas yang masuk pada $T = 204,4^{\circ}\text{C}$ (berasal dari udara pada 30°C , 1 atm, dan kelembaban 70%)

Dari Geankoplis halaman 516 (Figure 9.3-2), didapatkan

$$H = 0,02 \text{ kg uap air/kg udara kering}$$

Menghitung Enthalpi udara panas masuk

$$\Delta H_{y1} = m \cdot C_s \cdot (T - T_{ref})$$

$$\text{dimana } C_s = 1,005 + 1,88 \cdot H$$

$$= 1,005 + 1,88 \cdot (0,02)$$

$$= 1,0426 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H_{y1} = m \cdot 1,0426 \cdot (204,4 - 0) = 213,10744 \text{ m}$$

Menghitung Enthalpi udara panas keluar

$$\Delta H_{y2} = m \cdot C_s \cdot (T - T_{ref}) + m \cdot H \cdot \lambda_o$$

$$= m \cdot 1,0426 \cdot (93,3 - 0) + m \cdot 0,02 \cdot 2501,4$$

$$= 97,2746 \text{ m} + 50,028 \text{ m}$$

$$\Delta H_{y2} = 147,3026 \text{ m}$$

Jadi, udara panas yang dibutuhkan :

$$\Delta H_{y1} - \Delta H_{y2} = \Delta H_{out} + Q_{loss} + \Delta H_{in}$$

$$213,1074 \text{ m} - 147,3026 \text{ m} = 74709,3932 + 3069,5150 - 30695,1499$$

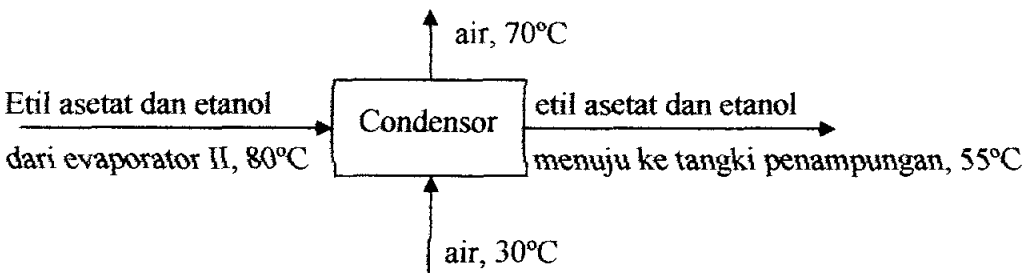
$$65,8049 \text{ m} = 47083,7583$$

$$m = 715,5058 \text{ kg}$$

maka, $\Delta H_{y1} = 213,1074 \text{ m} = 213,1074 \cdot 715,5058 = 152479,607 \text{ kJ}$

$$\Delta H_{y2} = 147,3026 \text{ m} = 147,3026 \cdot 715,5058 = 105395,8487 \text{ kJ}$$

9. Condenser II (E-353)



$$T1 = 80^{\circ}\text{C} = 353$$

$$T2 = 55^{\circ}\text{C} = 333 \text{ K}$$

- Etil asetat

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -3680,2121 \text{ J/mol} = -41,7731 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengembunan etil asetat} &= -\text{panas penguapan etil asetat} \\ &= -369,9638 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\Delta H = m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \text{panas pengembunan etil asetat} \right)$$

$$= 93344,26 \text{ kg} \cdot (-41,7731 - 369,9638) \text{ kJ/kg}$$

$$= 93344,26 \text{ kg} \cdot (-411,7369) \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H = -38433276,47 \text{ kJ}$$

- Etanol

$$\int_{T_1}^{T_2} C_p dT = -3244,4522 \text{ J/mol} = -70,4244 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengembunan etanol} &= -\text{panas penguapan etanol} \\ &= -835,2396 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \cdot \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \text{panas pengembunan etanol} \right) \\ &= 2434,611 \text{ kg} \cdot (-70,4244 - 835,2396) \text{ kJ/kg} \\ &= 2434,611 \text{ kg} \cdot (-905,6640) \text{ kJ/kg} \\ \Delta H &= -2204939,588 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{etil asetat}} + \Delta H_{\text{etanol}}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = -40638216,06 \text{ kJ}$$

$$\text{Panas yang dikeluarkan bahan} = \text{panas yang diserap air pendingin} + Q_{\text{loss}}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{air pendingin}} + Q_{\text{loss}}$$

$$40638216,06 = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + (10\% \cdot \Delta H_{\text{total}})$$

$$40638216,06 = m \cdot (167,5378) + (4063821,606)$$

$$36574394,45 = 167,5378 m$$

$$m_{\text{air pendingin}} = 218305,3555 \text{ kg}$$

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

1. Ware house bahan baku (F-110)

Fungsi : untuk menyimpan biji kopi

Perhitungan :

Direncanakan waktu tinggal = 20 hari (1 hari = 3 batch)

Bulk density = 620 kg/m³ [23]

Ditetapkan :

Jenis karung yang dipakai adalah karung dengan daya tampung 50 kg kedelai

Tiap hari dipakai 1 tumpukan karung biji kopi, dimana tumpukan karung terpisah-pisah dengan jarak 1 m tiap tumpukan.

1 hari = 3 batch = 12500 kg/batch × 3 batch/ tumpukan = 37500 kg/tumpukan

Volume biji kopi = biji kopi yang harus disimpan / bulk density

$$= 37500 / 620 = 60,4838 \text{ m}^3$$

- panjang tumpukan = 4,6 m (10 karung)

- lebar tumpukan = 3,6 m (5 karung)

- lebar jarak tiap tumpukan = 1 m

$$\text{Tinggi tumpukan} = \frac{60,484 \text{ m}^3}{4,6 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}} = 3,6524 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah karung} = \frac{60,484 \text{ m}^3}{\frac{50 \text{ kg}}{620 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 750 \text{ buah karung}$$

Tingkat tumpukan = $\frac{750 \text{ karung}}{(10 \times 5) \text{ karung}}$ = 15 tingkat tumpukan

Untuk 20 hari terdapat 20 sap tumpukan

Tumpukan disusun sepanjang 5 sap tumpukan dan lebar 4 sap tumpukan

Lebar jalan disepanjang warehouse 4 m.

Panjang gudang = $(4,6 \text{ m} \times 5) + (1 \text{ m} \times 4) + (2 \times 4 \text{ m}) = 35 \text{ m}$

Lebar gudang = $(3,6 \text{ m} \times 4) + (1 \text{ m} \times 3) + (2 \times 4 \text{ m}) = 25,4 \text{ m} \approx 26 \text{ m}$

Tinggi gudang = $3,6524 \text{ m} + 2,5 \text{ m} = 6,1524 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$

Spesifikasi alat :

Nama	: <i>warehouse</i> biji kopi (F-110)
Fungsi	: untuk menyimpan bahan baku biji kopi selama 20 hari
Kapasitas	: 750000 kg
Bahan konstruksi	: beton
Panjang tumpukan	: 4,6 m
Lebar tumpukan	: 3,6 m
Tinggi tumpukan	: 4,3133 m
Lebar jalan	: 4 m
Panjang gudang	: 35 m
Lebar gudang	: 26 m
Tinggi gudang	: 7 m
Jumlah	: 1 buah

2. Soaking screen (H-120)

Screen 1 :

Fungsi : Untuk memisahkan biji kopi dari kotoran (yang berdiameter lebih besar) yang ikut terbawa

Tipe : Ayakan getar

Dasar pemilihan : Cocok untuk memisahkan bahan yang beda diameter bahan (yang akan dipisahkan) kecil, dapat digunakan untuk memisahkan fase liquid-padat, sederhana dan ekonomis.

kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$

$$T = 30^{\circ}\text{C}$$

Bahan masuk =

Karbohidrat = 6930 kg/batch

Kafein = 247,5 kg/batch

Selulosa = 3712,5 kg/batch

Air = 1485 kg/batch

Kotoran = 125 kg/batch

Massa total = 12500 kg/batch

Kapasitas = 12500 kg/batch

$$= 6250 \text{ kg/jam}$$

$$= 6,25 \text{ ton/jam}$$

Diameter kopi bean = 0,7 cm = 7 mm

Dipilih diameter penyaring yang lebih besar dari diameter kopi = 8 mm

Kapasitas aktual screen = 0,02 -- 0,08 ton/ ft² jam.mm

Dipilih kapasitas screen = 0,04 ton/ ft² jam.mm

$$\begin{aligned} \text{Luas screen} &= \frac{\text{kapasitas bahan}}{(\text{kapasitas screen} * \text{diameter bahan})} \\ &= \frac{6,25 \text{ ton/ jam}}{(0,04 \text{ ton/ ft}^2 \text{ jam.mm} * 8, \text{ mm})} \\ &= 19,53125 \text{ ft}^2 = 1,81544 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Panjang = 2- 5 m [9,p.223]

Lebar = 0,5-1,5 m

Luas = 1 – 7,5 m²

Dipilih panjang = 2m

Maka luas screen = panjang x lebar

$$1,81544 \text{ m}^2 = 2 \text{ m} \times \text{lebar}$$

$$\text{Lebar} = 0,9077 \text{ m}$$

$$\text{Power} = \frac{1600 * ms}{Dp} \quad [13]$$

ms = massa, kg/s

Dp = ukuran partikel, mesh

$$\begin{aligned} \text{Power} &= \frac{1600 * 4166.667 \text{ kg/ jam}}{4500 \text{ mesh} * 3600 \text{ s/ jam}} \\ &= 0,6173 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi motor = 85%

$$\text{Power motor} = 0,62 \text{ Hp} / 0,85 = 0,7262 \text{ Hp} \sim 0,75 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Screen 1 pada soaking screen (H-120)

Fungsi : Untuk memisahkan biji kopi dari kotoran (yang berdiameter lebih besar)
yang ikut terbawa

Tipe : Ayakan getar

Kapasitas : 0,04 ton/ft² jam.mm

Luas screen : 1,81544 m²

Panjang screen : 2 m

Lebar screen : 0,90772 m

Power motor : 0,75 Hp

Screen 2 :

Fungsi : Untuk memisahkan biji kopi dari kotoran (yang berdiameter lebih kecil)
yang ikut terbawa

Tipe : Ayakan getar

Dasar pemilihan : Cocok untuk memisahkan bahan yang beda diameter bahan (yang akan dipisahkan) kecil, dapat digunakan untuk memisahkan fase liquid-padat, sederhana dan ekonomis.

kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$
 $T = 30^0\text{C}$

Bahan masuk =

Karbohidrat = 6930 kg/batch

Kafein = 247,5 kg/batch

Selulosa = 3712,5 kg/batch

Air = 1485 kg/batch

Kotoran = 125 kg/batch

Massa total = 12500 kg/batch

Kapasitas = 12500 kg/batch

= 6250 kg/jam

= 6,25 ton/jam

Diameter kopi bean = 0,7 cm = 7 mm

Dipilih diameter penyaring yang lebih besar dari diameter kopi = 6 mm

Kapasitas aktual screen = 0,02 – 0,08 ton/ ft² jam.mm

Dipilih kapasitas screen = 0,04 ton/ ft² jam.mm

Luas screen =
$$\frac{\text{kapasitas bahan}}{(\text{kapasitas screen} * \text{diameter bahan})}$$

=
$$\frac{6,25 \text{ ton/ jam}}{(0,04 \text{ ton/ ft}^2 \text{ jam.mm} * 6 \text{ mm})}$$

= 26,042 ft² = 2,42 m²

Panjang = 2- 5 m [9, p.223)

Lebar = 0,5-1,5 m

Luas = 1 – 7,5 m²

Dipilih panjang = 2m

Maka luas screen = panjang x lebar

2,42 m² = 2 m x lebar

Lebar = 1,2103 m

$$\text{Power} = \frac{1600 * ms}{Dp} \quad [9, p.223, \text{table 4-23b})$$

ms = massa, kg/s

Dp = ukuran partikel, mesh

$$\begin{aligned} \text{Power} &= \frac{1600 * 4166.667 \text{ kg / jam}}{3375 \text{ mesh} * 3600 \text{ s / jam}} \\ &= 0,8203 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi motor = 85%

$$\text{Power motor} = 0,8203 \text{ Hp} / 0,85 = 0,9683 \text{ Hp} \sim 0,97 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : screen 2 pada soaking screen (H-120)

Fungsi : Untuk memisahkan biji kopi dari kotoran (yang berdiameter lebih kecil)
yang ikut terbawa

Tipe : Ayakan getar

Kapasitas : 0,04 ton/ft² jam.mm

Luas screen : 2,42 m²

Panjang screen : 2 m

Lebar screen : 1,210295 m

Power motor : 0,97 Hp

3. Belt conveyor (J-121)

Fungsi = mengangkut biji kopi dari tangki pencucian menuju ke Roaster

Dasar Pemilihan = cocok untuk mengangkut material kering berbentuk granular

Rate biji kopi = 6250 kg/jam

Dari Perry table 21.7 didapatkan bahwa :

Panjang belt = 20 ft

Lebar belt = 35 cm

Kecepatan = 61 m/menit

Kapasitas = 32 ton/jam

Untuk kapasitas 6250 kg/jam kecepatan yang diperlukan

$$= \frac{6,25 \text{ ton/jam}}{32 \text{ ton/jam}} * 61 \text{ m/mnt} = 11,9141 \text{ m/mnt}$$

$$\text{hp} = \text{kapasitas} \times H \times 0,002 \times C \quad [21]$$

$$= 6,25 \text{ ton/jam} \times 6,097 \text{ m} \times 0,002 \times 1 = 0,076219 \text{ hp}$$

Dimana H = panjang belt conveyor (m)

C = material factor, dan dari [8] ed, hal 1356 untuk biji-bijian harga C=1

Efisiensi = 80%

$$\text{Power motor} = 0,0762 / 0,8 = 0,0952 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Belt conveyor (J-121)

Fungsi : mengangkut biji kopi dari tangki pencucian (H-120) menuju ke Roaster
(Q-130)

Kapasitas : 6250 kg/jam

- Panjang *belt* : 6,0975 m
- Lebar *belt* : 35 cm
- Kecepatan *belt* : 61 m/menit
- Power : 0,0953 hp
- Bahan konstruksi : *rubber*
- Jumlah alat : 1 buah

4. Roaster (Q-130)

Type : Direct Conditioning Cylinder

Dasar pemilihan : cocok untuk memanggang padatan granular dengan luas perpindahan panas yang besar dan sesuai untuk kapasitas besar

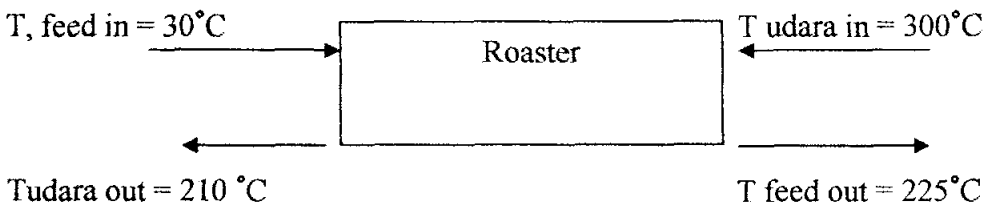
Kondisi operasi

Kapasitas : 12,692 kg/batch = 27981,8303 lb/bacth

Suhu feed : 30 °C = 86 °F

Suhu produk : 225 °C = 437 °C

Suhu udara panas : 300°C = 572 °F



Volume roaster = 1,15 x Volume material [21]

$$= 1,15 \times \frac{12692 \text{ kg / batch}}{350 \text{ kg / m}^3}$$
$$= 23,5424 \text{ m}^3$$

Dmaks = 10 ft [8]

L/D = 4-10 diambil L/D = 4

$$\text{Volume roaster} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times l$$
$$= \frac{\pi}{4} \times 4 \cdot D^3$$

D roaster = 1,96 m = 6,4303 ft

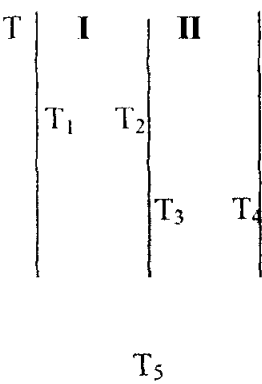
L roaster = 25,7214 ft

Perhitungan tebal dinding rotary dryer dan isolasi

T = 300 °C

T₁ = 275 °C

T₅ = 50 °C



dimana :I = Stainless Steel 304

II = Magnesia 85 %

T₃ = 200 °C (T₃ < T₂, T₃ suhu isolasi)

T₄ = 260 °F (T₅<T₃<T₄, T₄ suhu permukaan isolasi)

K_s (thermal konduktivitas steel) = 10,9202 btu/jam.ft²°F

K_r (thermal konduktivitas isolasi) = 0,1097 btu/jam.ft²°F [10].

Tebal shell rotary dryer 6 – 8 mm [23].

Diambil : tebal isolasi = 5 in

tebal shell = 2,36 in

$D_1 = 6,4303 \text{ ft} \times r_1 = 3,2151 \text{ ft}$

$D_2 = 6,8237 \text{ ft} \times r_2 = 3,4118 \text{ ft}$

$D_3 = 7,6570 \text{ ft} \times r_3 = 3,8285 \text{ ft}$

$A_1 = 2 \times \pi \times L \times r_1 = 519,3513 \text{ ft}^2$

$A_2 = 2 \times \pi \times L \times r_2 = 551,1191 \text{ ft}^2$

$A_3 = 2 \times \pi \times L \times r_3 = 618,4236 \text{ ft}^2$

$$A_{A_{lm}} = \frac{A_2 - A_1}{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)} = 535,0780$$

$$A_{B_{lm}} = \frac{A_3 - A_2}{\ln\left(\frac{A_3}{A_2}\right)} = 584,1252$$

$$R_A = \frac{r_2 - r_1}{k_s A_{lm}} = 3,3657 \cdot 10^{-5}$$

$$R_B = \frac{r_3 - r_2}{k_r A_{lm}} = 0,00649$$

Perhitungan laju perpindahan panas

1. Koefisien perpindahan panas Stainless steel

Konveksi Stainless steel dengan udara panas

Laju aliran udara masuk rotary dryer (400-1400 lb/jam.ft²)

Asumsi : laju aliran udara roaster $\rightarrow G = 2500 \text{ lb/jam.ft}^2$

Untuk laju aliran udara 400 – 6000 lbm/h.ft² [10]

$$\begin{aligned} hc1 &= 0,0128 \times G^{0,8} \\ &= 0,0128 \times 2500^{0,8} \\ &= 6,6920 \text{ Btu/batch.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Diasumsi : ($T_3 < T_2 < T_1$) $\rightarrow T_3 = 250 ^\circ\text{C} = \text{Suhu steel}$

Konduksi antara stainless steel dan isolasi

$$\begin{aligned} qk1 &= \frac{T_1 - T_3}{RA + RB} = \frac{T_1 - T_2}{RA + RB} \\ &= (275 - 250) / (3,3657 \cdot 10^{-5} + 0,00649) \\ &= 3827,6985 \text{ Btu/batch} \end{aligned}$$

$$3827,6985 = \frac{T_1 - T_2}{RA + RB}$$

$$T_2 = 247,8711 ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} qc1 &= hc \times A \times (T_1 - T_2) \\ &= 6,6920 \times 519,3513 \times 27,1288 \\ &= 94287,5484 \text{ Btu/batch} \end{aligned}$$

Konduksi pada Stainless stell

$$qk2 = U_k \times (T_1 - T_2) \times A$$

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{\Delta x1}{Ks}}$$

$$qk2 = 84146,2197 \text{ Btu/batch}$$

2. Koefisien perpindahan panas isolasi (ho)

Koefisien perpindahan panas konveksi isolasi dengan udara luar

$$NGr = \frac{D^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$$

Dari appendik A,3-3 [10],

$$G\beta\rho^2/\mu^2 = 1,76 \times 10^6$$

$$Npr = 0,689$$

$$\begin{aligned} NGr &= 1,089 \times 10^6 \times (260 - 122) \\ &= 1,09832E+11 \end{aligned}$$

$$NGrNpr = 1,09832E+11 * 0,689 = 75674027520$$

Dari table 4,7-12 [10], silinder horizontal dengan $NGrNpr > 10^9$

$$hc2 = 0,18 \times (302 - 122)^{0,333}$$

$$= 1,0161 \text{ Btu/jam ft}^2\text{°F}$$

$$qc2 = hc2 \times A \times (T_3 - T_4)$$

$$= 100802,8505 \text{ Btu/batch}$$

Konduksi pada isolasi

$$qk3 = U_k \times (T_3 - T_4) \times A$$

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{Zi}{Ki}} = \frac{1}{\frac{1}{1,2802} + \frac{0,2666}{0,10978}}$$

$$qk3 = \frac{1}{\frac{1}{1,2802} + \frac{0,2666}{0,10978}} \times 180 \times 618,4236$$

$$= 23202,5682 \text{ Btu/batch}$$

3. Koefisien perpindahan panas secara radiasi (hr)

$$hr = \frac{\epsilon \sigma (Ts^4 - Tr^4)}{(Ts - Tr)}$$

α = konstanta Stefan-Boltzman = 5,675

$Ts = T_1$ = suhu permukaan dalam = 300°C = 548 °K

$Tr = T_5$ = suhu permukaan luar = 50°C = 323 °K

$hr = 3,2410$ Btu/batch, $ft^2 \cdot ^\circ F$

$$qr = hr \times A \times (Ts - Tr)$$

$$= 450982,7524 \text{ Btu/batch}$$

$Q \text{ total} = 757249,6378 \text{ Btu/batch} = qt$ = Panas yang hilang selama pemanggangan,

$$L = qt / 0,125 \times D \times \Delta T \times \pi \times G^{0,67} \tag{24}$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= 757249,6378 / 0,125 \times 6,4303 \times 25,7214 \times 3,14 \times 2500^{0,67} \\ &= 71,2510 \end{aligned}$$

$$\Delta T \sim \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

Dimana : T_1 = Suhu bahan keluar

T_2 = Suhu bahan masuk

T_1' = Suhu pemanas masuk

T_2' = Suhu pemanas keluar

$$|\Delta T_1| = |T_1 - T_1'| = |437 - 572| = 135$$

$$|\Delta T_2| = |T_2 - T_2'| = 86 - T_2'$$

$$T_2' = 402,8 \text{ } ^\circ F = 206 \text{ } ^\circ C$$

Dari appendix B :

$$\Delta H \text{ udara panas} = \Delta H \text{ biji kopi} + q \text{ loss}$$

$$= 8952281,904 + 757249,6378/1,05506$$

$$= 798943,8028 \text{ kj}$$

Putaran rotary dryer

Dryer bekerja pada kecepatan peripheral $V = 30\text{-}150 \text{ ft/menit}$ [8],

Diambil $V = 75 \text{ ft/menit}$

D = diameter luar rotary dryer

N = putaran rotary dryer, Rpm

$$N = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{75 \text{ ft/menit}}{\pi \cdot 7,74 \text{ ft}} = 3,7144 \text{ rpm}$$

Dari Perry ed,3 , p,832, $N \cdot D = 25\text{-}35$

$$N \times D = 3,7144 \times 23,6427 = 28,4417 \text{ (memenuhi)}$$

Time passage

Penentuan time passage adalah untuk mengetahui lama material dalam rotary dryer

L = panjang rotary dryer

N = putaran rotary dryer

G = rate flue gas

F = feed rate

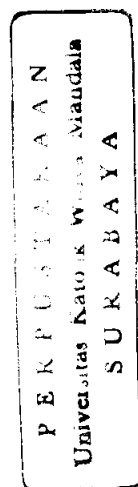
B = konstanta yang tergantung pada diameter partikel

S = slope

Konstanta (B)

$$h = 1 \text{ cm} \quad d = 0,63 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{volume biji kopi} &= \text{volume silinder} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times h \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,63^2 \times 1 \end{aligned}$$



$$= 0,3115 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Luas biji kopi} &= \text{luas silinder} = (2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2) + (\pi \times d \times h) \\ &= (2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,63^2) + (\pi \times 0,63 \times 1) \\ &= 2,6013 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$D = 6/av \quad [10]$$

$$\begin{aligned} av &= \text{luas biji kopi} / \text{volume biji kopi} = 2,6013 / 0,3115 \\ &= 8,3492 \end{aligned}$$

$$D = 6 / av = 6/8,3492 = 0,7186 \text{ cm} = 7186,3117 \text{ micron}$$

$$\begin{aligned} B &= 5 \times Dp^{-0,5} \\ &= 5 \times 7186,3117^{-0,5} \\ &= 0,0589 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{Massamsk}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2} = 27981,8303 / (\frac{1}{4} \times 3,14 \times 23,6427^2) \\ &= 215,5136 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam} \end{aligned}$$

$$G = 2500 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}$$

Slope rotary dryer 0- 0,08 ft [8], diambil 0,06

$$\sigma = \frac{0,23 \times L}{S \times N^{0,9} \times D} + \frac{0,6 \times B \times L \times G}{F}$$

$$\sigma = 51,0789 \text{ mnt}$$

Perencanaan power dryer

$$\text{Power dryer} = 0,5 D^2 - 1 D^2 \text{ hp} \quad [13]$$

Dimana D = diameter = 23,6427 ft

Effisiensi dryer antara 55 – 75 % [13]

Diambil power dryer = $0,6 D^2$ dan efisiensi 65 %

Power dryer = 24,8097 hp

$$\text{Power motor} = \frac{\text{power dryer}}{\text{efisiensi}} = \frac{24,8098}{0,65} = 38,1688 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: roaster (Q-1300
Tipe	: Direct Conditioning Cylinder (Q-130)
Diameter dalam shell	: 1,96 m
Diameter luar shell	: 2,0798 m
Diameter luar isolasi	: 2,3338 m
Panjang	: 7,84 m
Putaran	: 3,7144 rpm
Slope	: 0,06
Power	: 38,1688 hp
Bahan	: Stainless steel
Jumlah	: 1 buah

5. Belt conveyer (J-131)

Fungsi	: mengangkut biji kopi dari Roaster (Q-130) menuju ke Hammer mill (C-140)
Dasar Pemilihan	: cocok untuk mengangkut material kering berbentuk granular
Rate biji kopi	= 12692,475 kg/batch = 25384,95 kg/jam (waktu operasi 30 menit)

Dari [8] table 21,7 didapatkan bahwa :

Panjang belt = 20 ft

Lebar belt = 35 cm

Kecepatan = 61 m/menit

Kapasitas = 32 ton/jam

Untuk kapasitas 25384,95 kg/jam kecepatan yang diperlukan

$$= \frac{25,3849 \text{ ton} / \text{jam}}{32 \text{ ton} / \text{jam}} \cdot 61 \text{ m} / \text{mnt} = 48,3900 \text{ m} / \text{mnt} = 0,8065 \text{ m/s}$$

$$hp = 0,0027 \times m^{0,82} \times L \quad [21]$$

$$= 0,0027 \times 0,8065^{0,82} \times 6,0975$$

$$= 0,0137 \text{ Kw} = 0,0183 \text{ hp}$$

Efisiensi = 80%

$$\text{Power motor} = 0,0183 / 0,8 = 0,0229 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Belt conveyor (j-131)

Kapasitas : 12692,475 kg/jam

Panjang belt : 6,0975 m

Lebar belt : 35 cm

Kecepatan belt : 61 m/menit

Power : 0,0229 hp

Bahan konstruksi : rubber

Jumlah alat : 1 buah

6. Hammer Mill (C-140)

Fungsi : Menghancurkan biji kopi sampai pada ukuran partikel 60 mesh

Tipe : Rietz Disintegrator RD-18

Dasar pemilihan : Sesuai untuk menghancurkan biji- bijian dan mampu menghancurkan hingga 50 mesh.

Kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$

$$T = 30^{\circ} \text{C}$$

Kapasitas = $14243,37 \text{ kg/batch} = 14,24337 \text{ ton/batch}$

Maka, didapat data untuk kapasitas 15 ton ; [8, tabel 20-22)

Ukuran Mill = 76 in

Kecepatan = 3600 rpm

Daya motor = 30-150 Hp

$$\text{Reduction ratio} = \frac{d.\text{feed}}{d.\text{produk}}$$

Diameter feed = diameter biji kopi yang akan dihancurkan = 0,7 cm

$$= 3937,008 \text{ mesh}$$

Diameter produk = diameter produk kopi bubuk = 60 mesh

$$\text{Maka, reduction ratio} = \frac{d.\text{feed}}{d.\text{produk}} = \frac{3937,008}{60} = 65,6168$$

$$\text{Kecepatan} = \frac{14,24337 \text{ ton/batch}}{15 \text{ ton}} * 3600 = 3418 \text{ rpm}$$

$$\text{Daya motor} = \frac{14,24337}{15} * 100 = 94,96 \text{ Hp} = 95 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Hammer Mill (C-140)

Fungsi : Menghancurkan biji kopi sampai pada ukuran partikel 60 mesh
Tipe : Rietz disintegrator RD-18
Ukuran Mill : 76 in
Kecepatan : 3418 rpm
Power : 95 Hp
Reduction ratio : 65,6

7. Screw Conveyor (J-141)

Fungsi : Mengangkat kopi bubuk dari roaster (Q-130) menuju ke tangki
leaching (H-210)

Dasar pemilihan : agar bubuk kopi tidak berterbangan

Waktu operasi : 60 menit

Kapasitas = $14243,37 \text{ kg/batch} = 237,3895 \text{ kg/min}$
 $= 14243,37 \text{ kg/jam} = 15000 \text{ kg/jam}$

Kondisi operasi : $T = 30^\circ\text{C}$ dan $P = 1 \text{ atm}$

Untuk kapasitas 15000 kg/jam didapat [16] :

- Diameter flight = 10 inch
- Diameter poros screw = 2 inch
- D lubang feed = 9 inch
- Panjang screw = 15 ft
- Kecepatan screw = 80 rpm
- Power motor = 1,27 hp

Spesifikasi alat :

Nama alat : Screw conveyor (J-141)

Kapasitas : 14243,37 kg/jam

Panjang screw : 15 ft

Kecepatan screw : 80 rpm

Power : 1,54 hp

Jumlah : 1 buah

8. Tangki Leaching (H-210)

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk flanged standard dish head
dan tutup bawah berupa konis yang dilengkapi dengan pengaduk,

Dasar pemilihan : semua bahan pada tangki leaching tidak ada yang tertinggal

Perhitungan :

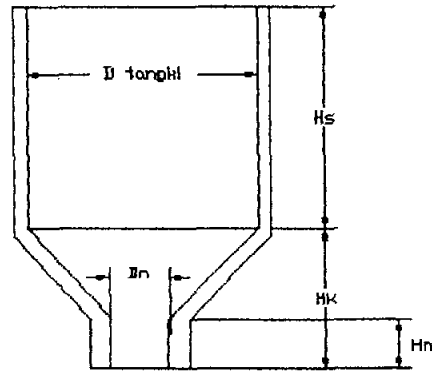
Kapasitas = 41589,3805 kg/batch

ρ campuran kopi = 1042,36 kg/m³

$$\begin{aligned} \text{Volume slurry} &= \frac{\text{kapasitas}}{\rho \text{ slurry}} = \frac{41589,3805 \text{ kg}}{1042,36 \text{ kg/m}^3} = 39,8992 \text{ m}^3 \\ &= 1407,9468 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan adalah 80 % volume tangki,

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan}}{0,8} = \frac{39,899 \text{ m}^3}{0,8} = 49,8740 \text{ m}^3 \\ &= 1759,9335 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$



$$\alpha = 60^\circ$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\text{Asumsi : } \frac{H}{D} = 1 \rightarrow H = D$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} D^2 H = \frac{\pi}{4} D^3 = 0,785 D^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \\ &= \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

$$\text{Volume dish head (ft)} = 0,000049 D^3 \rightarrow \text{di mana } D \text{ dalam inchi}$$

$$= 2,8 \cdot 10^{-8} D^3 \rightarrow \text{di mana } D \text{ dalam ft}$$

$$\text{Trial : tebal dish head (td)} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

Untuk tebal dish head = $\frac{3}{8}$ in, sf (straight flange) yang diambil adalah 2 in [27]

$$sf = 2 \text{ in} = 0,25 \text{ ft}$$

$$\text{Volume sf} = \frac{\pi}{4} D^2 \times 0,25 = 0,19625 D^2$$

$$V \text{ tangki} = V \text{ shell} + V \text{ konis} + V \text{ dish head} + V \text{ sf}$$

$$1759,9335 \text{ ft}^3 = 0,785 D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3) + 2,8,10^{-8} D^3 + 0,19625 D^2$$

$$1759,9335 = D^3 (0,785 + 2,8,10^{-8} + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha}) - \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} Dn^3 + 0,19625 D^2$$

$$Dn = 6 \text{ in} = 0,5 \text{ ft}$$

$$1759,9335 \text{ ft}^3 = 0,8605 \times D^3 + 0,19625 \times D^2 - 0,009442$$

$$D = 1759,1156 \text{ ft} = 3,8454 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = D = 12,616 \text{ ft} = 3,8454 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume slurry dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} \cdot (12,616^3 - 0,5^3) \\ &= 151,6694 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \text{ slurry dalam konis} &= Hk - Hn = \frac{D - Dn}{2 \cdot \text{tg} \alpha} = \frac{(12,616 - 0,5) \text{ ft}}{2 \cdot \text{tg} 60} \\ &= 3,4976 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$V \text{ slurry dalam shell} = V \text{ slurry} - V \text{ slurry dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{slurry dalam shell}} = 1407,9468 \text{ ft}^3 - 151,6694 \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (12,616 \text{ ft})^2 \times H_{\text{slurry dalam shell}} = 1256,2773 \text{ ft}^3$$

$$H_{\text{slurry dalam shell}} = 10,0547 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{slurry dalam tangki}} &= H_{\text{slurry dalam shell}} + H_{\text{slurry dalam konis}} \\ &= 10,0547 \text{ ft} + 3,4976 \text{ ft} = 13,5524 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \times g \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$\begin{aligned} &= 1080 \text{ kg/m}^3 \times \frac{62,43 \text{ lbm/ft}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \times 1 \text{ lbf/lbm} \times \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2} \times 13,5524 \text{ ft} \\ &= 6,1244 \text{ lbf/in}^2 = 6,1244 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{udara luar}} + P_{\text{hidrostatik}} \\ &= 14,696 \text{ psi} + 6,1244 \text{ psi} = 20,8204 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi : } P_{\text{design}} = 1,4 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,4 \times P_{\text{operasi}} = 1,4 \times 20,8204 \text{ psi} = 24,9845 \text{ psi}$$

Tebal shell (ts)

$$ts = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad [27]$$

$$\text{di mana } P = \text{tekanan design} = 24,9845 \text{ psi}$$

$$ID = \text{diameter shell} = 12,616 \text{ ft}$$

Material yang digunakan : Stainless Steel SA-340

$$f = 16598,813 \text{ lb/in}^2 \quad [21]$$

Konstruksi yang digunakan : double welded butt joint

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

$$c = \text{faktor korosi} = 3 \text{ mm} = 0,1181 \text{ in}$$

$$t_s = \frac{24,98454 \text{ lb/in}^2 \cdot (12,616 \cdot 12 \text{ in})}{2 \cdot 16598.813 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8} + 0,11811 \text{ in} = 0,2521 \text{ in}$$

Tebal shell diambil $\frac{5}{16} \text{ in}$

$$\text{OD shell} = 2 \cdot t_s + D = 2 \times \frac{5}{16} \text{ in} + (12,616 \times 12 \text{ in}) = 152,017 \text{ in}$$

Tebal dish head (td)

$$r_c = ID = 12,616 \times 12 \text{ in} = 151,392 \text{ in}$$

$$i_{cr} = 6 \% , r_c = 6 \% \times 151,392 \text{ in} = 9,0835 \text{ in}$$

di mana : r_c : radius of dish

i_{cr} : inside-corner radius

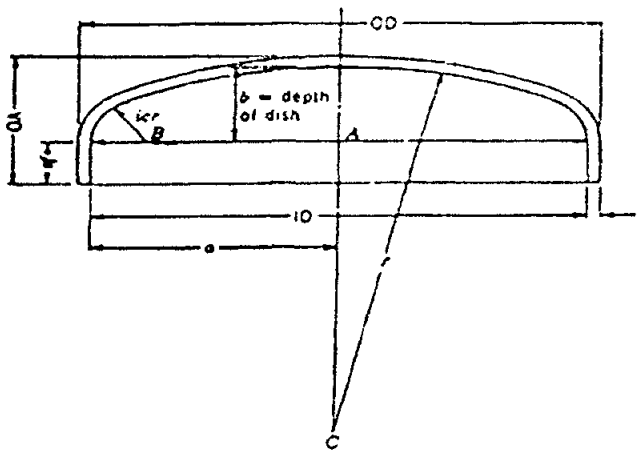
$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r_c}{i_{cr}}} \right)$$

w : stress-intensification factor

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{151,392 \text{ in}}{9,08352 \text{ in}}} \right) = 1,7706$$

$$t_d = \frac{P \cdot r_c \cdot w}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 \cdot P} + c \quad [27]$$

$$= \frac{24,9854 \text{ lb/in}^2 \cdot 151,392 \text{ in} \cdot 1,7706}{2 \cdot 16598.813 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8 - 0,2 \cdot 24,9854 \text{ lb/in}^2} + 0,11811 \text{ in} = 0,3703 \text{ in}$$



Tebal dish head diambil $\frac{3}{8}$ in (= trial memenuhi)

$$sf = 3 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{151,392 \text{ in}}{2} = 75,696 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = 75,696 \text{ in} - 9,0835 \text{ in} = 66,6124 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 151,392 \text{ in} - 9,0835 \text{ in} = 142,3084 \text{ in}$$

$$b = rc - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 151,392 \text{ in} - \sqrt{(151,392 \text{ in})^2 - (66,61248 \text{ in})^2} \\ = 25,6363 \text{ in}$$

$$OA = td + b + sf = \frac{3}{8} \text{ in} + 25,6363 \text{ in} + 3 \text{ in} = 28,0113 \text{ in}$$

Tebal konis (tk)

$$t = \frac{P \times D \times Z}{2 \cdot f \cdot E} \quad [30]$$

dimana t : tebal sambungan antara konis dan shell

Untuk $\alpha = 60^\circ$ maka $Z = 3,2$ [30]

$$t = 0,428941716 \text{ in} \sim \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\begin{aligned} t_k &= \frac{P \cdot ID}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (f \cdot E - 0,6 \cdot P)} + c \\ &= \frac{24,9845 \text{ lb/in}^2 \cdot 151,392 \text{ in}}{2 \cdot \cos 60 \cdot (16598,813 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 24,9845 \text{ lb/in}^2)} + 0,1181 \text{ in} \\ &= 0,3866 \text{ in} \end{aligned}$$

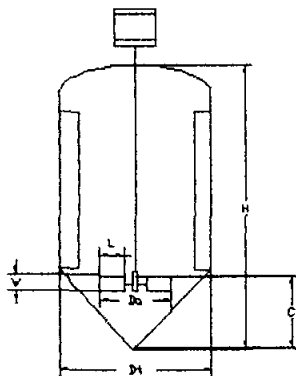
Tebal konis ~ tebal sambungan antara konis dan shell = $\frac{7}{16} \text{ in}$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki keseluruhan} &= H_{\text{shell}} + H_{\text{konis}} + OA \\ &= (12,616 + 3,4976 + 2,3342) \text{ ft} \\ &= 18,4479 \text{ ft} = 5,6243 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan pengaduk

Tipe : flat six-blade turbine open disk

Dasar pemilihan : proses pengadukan efisien (vigorous mixing) dan cocok untuk pengadukan larutan viskositas sedang (1000-50000 cps)



Dimensi pengaduk [10] :

$$Da = 0,3 \times Dt = 0,3 \times 12,616 \text{ ft} = 3,7848 \text{ ft} = 1,1539 \text{ m}$$

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} Dt = \frac{1}{12} \times 12,616 \text{ ft} = 1,0513 \text{ ft}$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{8} \rightarrow W = \frac{1}{8} Da = \frac{1}{8} \times 3,7848 \text{ ft} = 0,4731 \text{ ft}$$

$$\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} Dt = \frac{1}{3} \times 12,616 \text{ ft} = 4,2053 \text{ ft}$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \rightarrow L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 3,7848 \text{ ft} = 0,9462 \text{ ft}$$

di mana :

Da : diameter pengaduk

Dt : diameter tangki

L : panjang blade

C : jarak dari dasar tangki

J : lebar baffle

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H_{liq}}{D_t} \quad [28]$$

$$= \frac{1042,36}{1000} \times 4,1308 / 3,8454 = 0,3412 \sim 1 \text{ pengaduk}$$

Kecepatan agitator antara 50-100 rpm [21],

kecepatan agitator (N) diambil 75 rpm = 0,6667 rps

$$N_{RE} = \frac{N \cdot Da^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,6667 \text{ rps} \cdot (1,1539 \text{ m})^2 \cdot 1042,36 \text{ kg/m}^3}{0,427 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 4062918,006$$

$$N_p = 1,2 [10].$$

Power untuk pengaduk:

$$\begin{aligned} P &= N_p \times \rho \times N^3 \times D_a^5 = 1,2 \times 1042,36 \text{ kg/m}^3 \times (0,6667 \text{ rps})^3 \times (1,1539 \text{ m})^5 \\ &= 4997,7494 \text{ J/s} = 6,7021 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 80 \%$$

$$\text{Power motor yang dipakai} = \frac{6,70212 \text{ hp}}{0,8} = 8,3776 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat = tangki leaching (H-210)

Kapasitas = 39,8992 m³

ID = 3,8454 m

OD = 3,8612 m

Tebal shell = $\frac{5}{16}$ in

Tebal dish head = $\frac{3}{8}$ in

Tebal konis = $\frac{7}{16}$ in

Tinggi tangki = 5,6243 m

Power pengaduk = 8,3776 hp

Jarak dasar tangki ke tanah = 1,5 m

Jumlah = 2 buah

9. Pompa (L-211)

Perancangan Jaket Pemanas

a) Mencari luas perpindahan panas

$$A = A_{shell} + A_{konis}$$
$$= (\pi \times D_{rata-rata} \times h_{liquid}) + (\pi \times (R_1 + R_2) \times \sqrt{v^2 + (R_1 - R_2)^2})$$
$$= \left(\pi \times \frac{(OD + ID)_{shell}}{2} \times h_{liquid} \right) + (\pi \times (R_1 + R_2) \times \sqrt{v^2 + (R_1 - R_2)^2})$$
$$= \left(\pi \times \frac{(3,858 + 3,8454)m}{2} \times 4,1308m \right) +$$
$$\pi \times (3,8454 + 0,1524) \times \sqrt{1,0221^2 + (3,8454 - 0,1524)^2}$$
$$= (49,9598 \text{ m}^2) + (48,1014 \text{ m}^2)$$
$$A = 98,0612 \text{ m}^2$$

b) Mencari konduktivitas thermal (*k*) campuran

$$k \text{ campuran} = \frac{1}{\sqrt{\sum \left(\frac{fraksimassa}{k^2} \right)_{komponen}}} \dots\dots\dots [25]$$

- *k* air

$$\int_{T_1}^{T_2} k \, dT = 0,57109.(T_2-T_1)+8,8125.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-2,234533333.10^{-6}.$$
$$(T_2^3-T_1^3) \dots\dots\dots [15]$$

$$k \text{ air rata-rata} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} k}{(T_2 - T_1)}$$

$$k \text{ air rata-rata} = 0,657170766 \text{ W/mK}$$

- *k* karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} k \, dT = 0,20141.(T_2-T_1)+6,937.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-1,443733333.10^{-6}.$$
$$(T_2^3-T_1^3).....[15]$$

$$k \text{ karbohidrat rata-rata} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} k}{(T_2 - T_1)}$$

$k \text{ karbohidrat rata-rata} = 0,273278447 \text{ W/mK}$

- $k \text{ selulosa}$

$k \text{ selulosa} = 0.06 \text{ W/mK}.....[15]$

$$k \text{ campuran} = \frac{1}{\sqrt{\sum \left(\frac{\text{fraksimassa}}{k^2} \right)_{\text{komponen}}}}$$

$= 0,2508 \text{ W/mK}$

c) Mencari nilai Cp campuran

$Cp \text{ campuran} = \Sigma (\text{fraksi massa} \times Cp \text{ tiap komponen})$

$$= \left(\frac{9339,622}{83178,7608} \times 34,32164523 \right) + \left(\frac{306,3118}{83178,7608} \times 31,37008 \right) +$$
$$\left(\frac{69820,327}{83178,7608} \times 87,19750978 \right) + \left(\frac{3712,5}{83178,7608} \times 40,41769558 \right)$$

$Cp \text{ campuran} = 78,9669 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} = 18,8735 \text{ kkal/kg.}^\circ\text{C}$

d) Mencari nilai U_D

$$\frac{hj \times Dj}{k} = 0,36 \times \left(\frac{L^2 \times N \times \rho}{\mu} \right)^{2/3} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right) \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}[10]$$
$$\frac{hj \times 3,8454}{0,2508} = 0,36 \times (5417224,007)^{2/3} \times \left(\frac{78966,9081 \times 0,427.10^{-3}}{0,2508} \right) \times (1)^{0.14}$$

$h_j = 97368,4183 \text{ W/m}^2.\text{K} = 17147,4593 \text{ Btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F}$

$h_o = 1500 \text{ Btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F}.....[14]$

$U_C = \frac{h_j \times h_o}{h_j + h_o} = 1379,3401 \text{ Btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F}$

$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + Rd, \quad Rd = 0,001$

$U_D = 579,7154 \text{ Btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F} = 2832,2344 \text{ kkal/jam.m}^2.^{\circ}\text{C}$

e) Mencari waktu pemanasan awal

$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U_D \times A \times \theta}{M \times Cp}[14]$

Keterangan :

$U_D = 579,7154 \text{ Btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F} = 2832,2344 \text{ kkal/jam.m}^2.^{\circ}\text{C}$

$t_1 = \text{suhu bahan masuk} = 59,28^{\circ}\text{C}$

$t_2 = \text{suhu bahan keluar} = 80^{\circ}\text{C}$

$T_1 = \text{suhu steam masuk} = 148^{\circ}\text{C}$

$\theta = \text{waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu bahan dari } 59,28^{\circ}\text{C ke } 80^{\circ}\text{C}$

$M = \text{massa bahan dalam tangki} = 41589,4 \text{ kg/batch}$

$Cp \text{ campuran} = 18,8735 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C}$

$\ln \frac{(148 - 50,72)}{(148 - 80)} = \frac{2832,2344 \text{ kkal/jam.m}^2.^{\circ}\text{C} \times 98,0612 \times \theta}{41589,4 \text{ kg/batch} \times 18,8735 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C}}$

$\theta = 1,012037984 \text{ jam} \approx 1,0120 \text{ jam}$

f) Mencari OD dan ID jaket

$\text{Massa steam} = 3060,7872 \text{ kg/ jam}$

$$\rho \text{ steam pada } 148^{\circ}\text{C} = 0,525 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetric steam} &= \frac{3060,7872 \text{ kg/jam}}{0,525 \text{ kg/m}^3} = 5830,0709 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 1,6195 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan alir steam (v)} = 38 \text{ ft/s} = 11,5825 \text{ m/s}$$

$$\text{Rate volumetric} = A \times v$$

$$1,6195 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (\text{ID}_{\text{jaket}}^2 - \text{OD}_{\text{Shell}}^2) \times v$$

$$1,6195 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (\text{ID}_{\text{jaket}}^2 - (3,858)^2) \times 11,5825 \text{ m/s}$$

$$\text{ID}_{\text{jaket}} = 3,8810 \text{ m}$$

$$\text{ID}_{\text{jaket}} = \text{OD}_{\text{shell}} + \text{jacket spacing}$$

$$3,8810 \text{ m} = 3,858 \text{ m} + \text{jacket spacing}$$

$$\text{Jacket spacing} = 0,023015062 \text{ m}$$

Karena jacket spacing terlalu kecil, maka diambil jacket spacing = 2 in = 0,0508 m

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = \text{ID}_{\text{jaket}} + (2 \times \text{jacket spacing})$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = 3,8810 \text{ m} + (2 \times 0,0508 \text{ m})$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = 3,9826 \text{ m}$$

g) Menentukan tebal isolasi

$$Q = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{A_i \times h_i} + \frac{t_1}{k_1 \times A_1} + \frac{t_2}{k_2 \times A_2} + \frac{1}{A_o \times h_o}}$$

Asumsi : $A_i = A_1 = A_2 = A_o = A$ jaket, sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- Q = panas yang hilang, J
- A = luas perpindahan panas jaket, m^2
- T_i = suhu steam = $148^\circ C = 421\text{ K}$
- T_u = suhu udara = $30^\circ C = 303\text{ K}$
- h_i = $1500\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{ }^\circ F = 8517,45\text{ W/m}^2.\text{K}$
- t_1 = tebal jaket = $0,0508\text{ m}$
- k_1 = konduktivitas thermal bahan jaket (carbon steel) = 45 W/m.K
- $[10]$
- t_2 = tebal isolator
- k_2 = konduktivitas thermal isolator (aerogel, silica, opacified) = $0,013\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{ }^\circ F = 0,0225\text{ W/m.K}$ [14]
- h_o = $1,24 \times (\Delta T)^{1/3} = 1,24 \times (T_v - T_u)^{1/3}$
- T_v = suhu di permukaan isolator, K

Panas yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\frac{Q}{A} = h_o \times (T_v - T_u) \dots\dots\dots(2)$$

Dilakukan trial harga T_v untuk mendapatkan tebal isolator yang memungkinkan untuk digunakan.

Dari hasil trial, diperoleh data-data sebagai berikut :

- $T_v = 33^{\circ}\text{C} = 306\text{ K}$
- $h_o = 1,7884\text{ W/m}^2.\text{K}$
- $\frac{Q}{A} = h_o \times (T_v - T_u) = 5,3652\text{ W/m}^2 \dots\dots\dots (2)$
- $Q\text{ loss} = 526,1147\text{ W}$

Substitusi hasil dari persamaan (2) ke persamaan (1) :

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots (1)$$

$$5,3652\text{ W/m}^2 = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

$$t_2 = 0,482238527\text{ m} = 48,2239\text{ cm}$$

Spesifikasi alat :

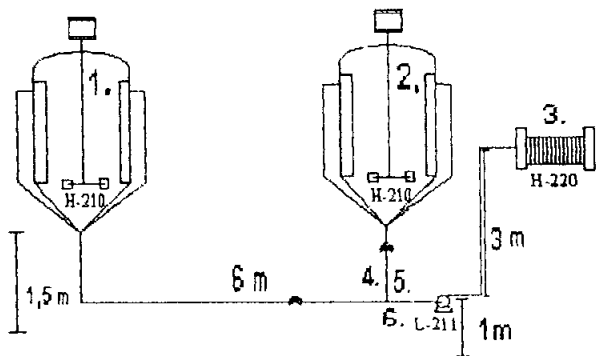
ID jaket	: 3,8810 m
OD jaket	: 3,9826 m
Jaket spacing	: 0,0508 m
Bahan konstruksi jaket	: carbon steel
Tebal isolasi	: 0,482238527 m = 48,2239 cm
Bahan konstruksi isolasi	: aerogel, silica, opacified

9. Pompa (L-211)

Fungsi : mengalirkan campuran kopi dari tangki leaching (H-210) ke Filter Press (H-220)

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : ekonomis dan efektif untuk mengalirkan liquid berviskositas rendah ($\mu < 3 \text{ Pa.s}$) dengan kapasitas besar.



Gambar C.2. Pompa dari tangki leaching menuju ke ke filter press

Perhitungan :

Aliran dari titik 1 ke titik 4

$$\frac{p_4 - p_1}{\rho} + \frac{v_4^2 - v_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (z_4 - z_1) + F_{41} = 0$$

$V_1 = V_4$ (karena inside area flow sama)

$$\frac{p_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_4 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_1 - F_{14} \dots\dots\dots 1$$

Aliran dari titik 2 ke titik 5

$$\frac{p_5 - p_2}{\rho} + \frac{v_5^2 - v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (z_5 - z_2) + F_{25} = 0$$

$V_1 = V_4$ (karena inside area flow sama)

$$\frac{p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_5 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} .Z_2 + F_{25}2$$

Aliran dari titik 6 ke titik 3

$$\frac{p_3 - p_6}{\rho} + \frac{v_3^2 - v_6^2}{2.\alpha.g_c} + \frac{g}{g_c} .(z_3 - z_6) + F_{63} + W_s = 0$$

Jarak ketinggian pipa diukur dari atas tanah pada titik 4, 5, 6 sama, sehingga

$$Z_4 \approx Z_5 \approx Z_6, \text{ maka : } P_4 \approx P_5 \approx P_6 \text{ dan } V_4 \approx V_5 \approx V_6$$

$$\text{maka} = \frac{p_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_4 \approx \frac{p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_5 \approx \frac{p_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_6$$

$$\frac{p_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_6 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2.\alpha.g_c} + \frac{g}{g_c} .z_3 + F_{63} + W_s3$$

Persamaan 1 dan 2

$$\frac{p_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_4 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_1 - F_{14}1$$

$$\frac{p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} .z_5 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} .Z_2 + F_{25}2$$

-----+

$$\frac{p_4 + p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} .(Z_4 + Z_5) = \frac{p_1 + p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} .(Z_1 + Z_2) + F_{14} + F_{25}$$

$$2 \left[\frac{p_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} .Z_6 \right] = \frac{p_1 + p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} .(Z_1 + Z_2) + F_{14} + F_{25}4$$

Substitusi persamaan 3 ke persamaan 4

$$2 \left[\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_3 + F_{63} + W_s \right] = \frac{p_1 + p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_1 + Z_2) + F_{14} + F_{25}$$

$$- W_s = \left[\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_3 + F_{63} \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{p_1 + p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_1 + Z_2) + F_{14} + F_{25} \right]$$

Perhitungan F14 :

Massa campuran kopi masuk = 41589,3805 kg/batch

$$= 41589,3805 \text{ kg/jam} = 11,5526 \text{ kg/s}$$

ρ larutan kopi = $1042,36 \text{ kg/m}^3 = 65,0864 \text{ lb/ft}^3$

$$\text{Debit campuran kopi masuk} = \frac{41589,38 \text{ kg/jam}}{1042,36 \text{ kg/m}^3} = 39,8992 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,3913 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Asumsi untuk aliran turbulen :

$$\text{ID opt} = 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,3913)^{0,45} \times (54,9404)^{0,13}$$

$$= 4,3044 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 5 in, schedule 40 [10] :

$$\text{ID} = 5,047 \text{ in} = 0,4206 \text{ ft}; \text{OD} = 5,563 \text{ in}; A = 0,1390 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,3914 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,1390 \text{ ft}^2} = 2,8156 \text{ ft/s} = 0,8582 \text{ m/s}$$

$$\mu \text{ camp} = 0,427 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,1282 \times 0,8582 \times 1042,36}{0,427.10^{-3}} = 268571,561(\text{turbulen})$$

Asumsi pemilihan pipa memenuhi syarat

1. Losses karena kontraksi dari tangki ke pipa :

$$K_c = 0,55 (1 - (A_{\text{pipa}}/A_{\text{tangki}})) \quad [10]$$

$A_{\text{pipa}}/A_{\text{tangki}} = 0$; karena A_{tangki} jauh lebih besar dibanding A_{pipa} sehingga :

$$K_c = 0,55$$

$$h_c = K_c \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 0,55 \times \frac{2,81567^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0677 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, fitting dan valve, ft

Penafsiran panjang pipa lurus = 7,5 m = 24,606 ft

$$\text{Commercial steel} \rightarrow \epsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ m} [10]$$

$$\frac{\epsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1282} = 0,00035$$

$$f = 0,0038 [10]$$

Panjang pipa ekivalen :

- 1 buah elbow 90° $Le/D [21] = 32$ $Le = 13,4585 \text{ ft}$
- 1 buah gate valve $Le/D [21] = 7$ $Le = 2,9440 \text{ ft}$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total pipa} &= 24,606 + 13,4585 + 2,9440 \text{ ft} \\ &= 41,0085 \text{ ft} = 12,5026 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ff &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\
 &= 4 \times 0,0038 \times \frac{12,5026}{0,1282} \times \frac{2,8157^2}{2 \cdot 1.32,174} \\
 &= 0,18259 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 1$ buah

K_f elbow $90^\circ = 0,75$ [10]

$$hf = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,75 \times \frac{2,8157^2}{2 \cdot 1.32,174} = 0,0924 \text{ ft.lbf/lbm}$$

4. Friksi pada gate valve :

Jumlah gate valve = 1 buah

K_f gate valve wide open = 0,17 [10]

Jenis valve yang digunakan : Gate valve yang terbuka penuh

Dasar pemilihan : valve hanya berfungsi untuk membuka atau menutup aliran saja tanpa harus mengatur aliran dan friksinya kecil,

$$\begin{aligned}
 hf &= K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,17 \times \frac{2,8157^2}{2 \cdot 1.32,174} \\
 &= 0,0209 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma F_{14} = 0,0677 + 0,1825 + 0,0924 + 0,0209 = 0,3637 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Perhitungan F25 :

Tangki kedua memiliki spesifikasi dan rate yang sama dengan tangki yang pertama , sehingga digunakan pipa dengan ukuran yang sama pula,

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 5 in, schedule 40 [10]:

$$ID = 5,047 \text{ in} = 0,4206 \text{ ft} ; OD = 5,563 \text{ in}; A = 0,1390 \text{ ft}^2$$

1. Losses karena kontraksi dari tangki ke pipa :

$$K_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

$A_{\text{pipa}}/A_{\text{tangki}} = 0$; karena A_{tangki} jauh lebih besar dibanding A_{pipa} sehingga :

$$K_c = 0,55$$

$$h_c = K_c \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 0,55 \times \frac{2,8157^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0677 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, fitting, dan valve, ft

Penafsiran panjang pipa lurus = 3,5 m = 11,4828 ft

Commercial steel : $\epsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ m}$ [10]

$$\frac{\epsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1282} = 0,00035$$

$$f = 0,0038 \quad [10]$$

Panjang pipa ekivalen :

- 1 buah gate valve Le/D [21]=7 $Le = 2,9440 \text{ ft}$
- 1 buah tee branch Le/D [21]= 90 $Le = 37,8521 \text{ ft}$

Panjang total pipa = 11,4828 + 2,9440 + 37,8521 ft

$$= 52,2789 \text{ ft} = 15,9348 \text{ m}$$

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 4 \times 0,0038 \times \frac{52,2789}{0,4206} \times \frac{2,8157^2}{2.1.32,174}$$

$$= 0,2327 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah gate valve = 1 buah

Kf gate valve wide open = 0,17 [10]

Jenis valve yang digunakan : Gate valve yang terbuka penuh

Dasar pemilihan : valve hanya berfungsi untuk membuka atau menutup aliran saja tanpa harus mengatur aliran dan friksinya kecil.

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,17 \times \frac{2,8157^2}{2.1.32,174} = 0,0209 \text{ ft.lbf/lbm}$$

4. Friksi pada Tee Branch :

Jumlah Tee Branch = 1 buah

Kf Tee Branch = 1 [10]

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 1 \times \frac{2,8157^2}{2.1.32,174} = 0,1232 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma F_{25} = 0,0677 + 0,2327 + 0,1232 + 0,0209$$

$$= 0,4446 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Perhitungan F63 :

Pada titik 6 terjadi pertemuan aliran dari titik 4 dan titik 5, sehingga

$$0,5 \times Q_6 = Q_4 = Q_5$$

$$Q_6 = 79,7984 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,7827 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Asumsi untuk aliran turbulen :

$$\begin{aligned} ID_{opt} &= 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,7827)^{0,45} \times (54,9404)^{0,13} \\ &= 5,8801 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 6 in, schedule 40 :

$$ID = 6,065 \text{ in} = 0,5054 \text{ ft}; OD = 6,625 \text{ in}; A = 0,2006 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,7828 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,2006 \text{ ft}^2} = 2,2532 \text{ ft/s} = 0,6867 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,1540 \times 0,6868 \times 1042,36}{0,427 \cdot 10^{-3}} \\ &= 258266,0087 \text{ (turbulen)} \end{aligned}$$

$$\text{Commercial steel : } \varepsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ m} \quad [10]$$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1504} = 0,000298$$

$$f = 0,0035 \quad [10]$$

1. Losses karena friksi pada pipa lurus, fitting dan valve, ft

$$\text{Penafsiran panjang pipa lurus} = 4,5 \text{ m} = 14,7636 \text{ ft}$$

Panjang pipa ekivalen :

$$2 \text{ buah elbow } 90^\circ \text{ Le/D [21] = 32} \quad Le = 26,9170 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 14,7636 + 26,9170 \text{ ft}$$

$$= 41,6806 \text{ ft} = 12,7044 \text{ m}$$

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha g_c}$$

$$= 4 \times 0,0038 \times \frac{41,6806}{0,5054} \times \frac{(2,2532 \text{ ft/s})^2}{2}$$

$$= 0,0910 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 2$ buah

K_f elbow $90^\circ = 0,75$ [10]

$$h_f = 2 \times K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,1183 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. Losses karena sudden enlargement, hex

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2 \alpha g_c}$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa dengan ID = 0,4206 ft

A_2 = luas penampang pipa dengan ID = 0,6651 ft

$$h_{ex} = 0,0074 \text{ ft.lbf/lbm}$$

4. Expansion loss at filter press entrance, hex

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= (1 - 0)^2 \times \frac{2,2532^2}{2 \cdot 1,32,174} = 0,0788 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma F_{63} = 0,0910 + 0,1183 + 0,0074 + 0,0788$$

$$= 0,2958 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-W_s = \frac{1}{2} \left[\frac{p_1 + p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} (Z_1 + Z_2) + F14 + F25 \right] - \left[\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_3 - F63 \right]$$

$$Z_1 = 4,9212 \text{ m} \quad Z_2 = 4,9212 \text{ m} \quad Z_3 = 11,4828 \text{ m}$$

Untuk menghitung ΔP_{pompa} pada pompa *campuran kopi* ke *filter press*, diambil dari data praktikum filtrasi dengan menggunakan *Plate and Frame Filter Press* pada pratikum Teknik Kimia III (dengan bahan : *slurry* CaCO_3). Asumsi yang digunakan adalah : *slurry* CaCO_3 = *campuran kopi*. Pada praktikum Teknik Kimia III, harga ΔP_{pompa} diukur pada alat pengukur tekanan dan didapatkan harga ΔP_{pompa} yang berbeda – beda untuk konsentrasi *slurry* yang berbeda. Untuk ΔP_{pompa} pada perancangan tugas akhir ”Kopi instan rendah kafein” diambil konsentrasi *slurry* CaCO_3 dari data praktikum Teknik Kimia III.

$$C_s = 50 \text{ kg/m}^3 \text{ (diambil dari data praktikum Teknik Kimia III)}$$

$$\Delta P = 111125 \text{ N/m}^2 = 1,0967 \text{ atm} = 2320,8674 \text{ lbf/ft}^2$$

Sehingga :

$$-W_s = 9,7607 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 50\% \quad [21]$$

$$\text{Brake hp} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 550} \quad [10]$$

$$= \frac{9,7607 \times 4,4840}{0,5 \times 550} = 1,8079 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 82\%, \quad [21]$$

Sehingga dipakai pompa dengan motor = 2,2048 hp

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Pompa (L-211)
Fungsi	: mengalirkan <i>slurry</i> campuran kopi ke <i>filter press</i>
Tipe	: <i>centrifugal pump</i>
Rate aliran pompa	: $0,6867 \text{ m}^3/\text{s}$
Efisiensi pompa	: 50 %
Efisiensi motor	: 83 %
Power motor	: $2,2048 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$ 2200 watt
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i>
Jumlah	: 1 buah

10. Filter press (H-220)

Fungsi	: untuk memisahkan antara filtrat dan cake yang terdapat pada larutan kopi
Tipe	: Plate and frame filter press
Dasar pemilihan	: proses pembersihan alat dan pengambilan cake mudah

Ditetapkan:

Waktu operasi = 1 jam

Waktu bongkar pasang = 30 menit

Waktu pembersihan = 30 menit

Massa *slurry* yang masuk di tiap alat per batch = 83178,761 kg

Rate massa yang masuk = $83178,761 \text{ kg/jam} = 183375,8965 \text{ lb/jam}$

$$\rho \text{ larutan} = 1080 \text{ kg/m}^3 = 67,4367 \text{ lb/ft}^3$$

Data filter press [16] :

Ukuran plate and frame = 30 in x 30 in

Luas efektif = $10,5 \text{ ft}^2$

rate filtrasi = $60 \text{ gal/ft}^2 \cdot \text{jam}$

$$\begin{aligned} \text{Luas filtrasi total} &= \frac{183375,9 \text{ lb/jam}}{67,437 \text{ lb/ft}^3 \cdot 80 \text{ gal/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot 0,1337 \text{ ft}^3/\text{gal}} \\ &= 486,2708 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah plate \& frame} &= \frac{\text{Luas total}}{\text{Luas efektif}} = \frac{324,18 \text{ ft}^2}{10,5 \text{ ft}^2} = 46,3115 \approx 31 \\ &= 31 + 1 = 32 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah frame} = \frac{32}{2} = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah plate} = \frac{32}{2} + 1 = 17 \text{ buah}$$

Panjang alat berkisar antara 0,5 – 20 m [9].

Tebal frame berkisar antara 0,125 – 8 in, diambil 3 inch [16],

Jumlah plate and frame = 33 buah

Tebal plate and frame seluruhnya = $3 \cdot 33 = 99 \text{ inc} = 2,5146 \text{ m}$

Spesifikasi alat :

Nama alat : filter press (H-220)

Kapasitas : 83178,761kg/jam

Ukuran plate & frame : 30 in x 30 in

Luas efektif : $10,5 \text{ ft}^2$

Jumlah plate	: 17 buah
Jumlah frame	: 16 buah
Tinggi support	: 0,5 m
Jumlah alat	: 1 buah

11. Bak penampung ampas kopi (F-221)

Fungsi : sebagai tempat penampung ampas kopi

Diambil : dimensi bak : Panjang = 3a ft

$$\text{Lebar} = a \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi} = 0,5a \text{ ft}$$

$$\text{Massa masuk} = 8981,809 \text{ kg/batch} = 19801,2961 \text{ lb/batch}$$

$$P \text{ campuran} = P \text{ larutan kopi} = 1080 \text{ kg/m}^3 = 67,4220 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{Volume larutan} = 19801,2961 / 67,4220 = 293,6917 \text{ ft}^3/\text{batch}$$

$$\text{Diambil volume bak} = 1,2 \times \text{volume larutan}$$

$$= 1,2 \times 293,6917$$

$$= 293,6917 \text{ ft}^3/\text{batch}$$

$$\text{Perbandingan} = p : l : t = 3 : 1 : 0,5$$

$$\text{Jadi volume bak} = \text{volume balok}$$

$$352,4300 = p \times l \times t$$

$$352,4300 = 3a \times a \times 0,5a$$

$$352,4300 = 1,5a^3$$

$$a = 6,1705 \text{ ft} = 1,8808 \text{ m}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : bak penampung ampas kopi (F-221)

Panjang bak : 5,6424 m

Lebar bak : 1,880 m

Tinggi bak : 0,9404 m

Bahan konstruksi : beton

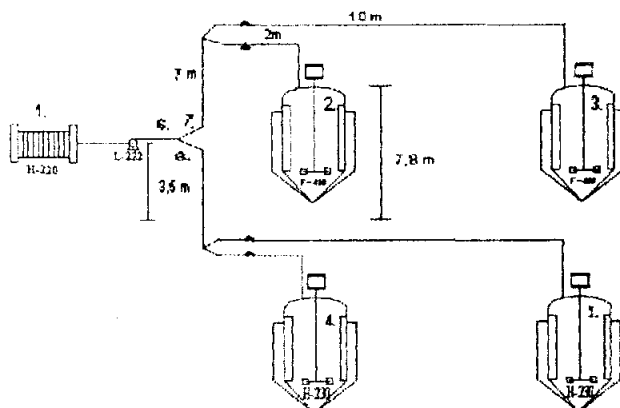
Jumlah : 1 buah

12. Pompa (L-222)

Fungsi : mengalirkan larutan kopi dari filter press (H-220) menuju
Tangki Ekstraktor (H-230)

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan: ekonomis dan efektif untuk mengalirkan liquid berviskositas rendah (μ
 $< 3 \text{ Pa.s}$) dengan kapasitas besar.



Gambar C.3. Pompa dari filter press menuju ke tangki ekstraktor

Perhitungan :

Waktu filtrasi pada filter press 60 menit

Pengisian tangki dilakukan bergantian, dimana pengisian tangki A dan tangki C dilakukan terlebih dahulu, sedangkan pengisian tangki B dan tangki C dilakukan selanjutnya.

Waktu pengisian 2 buah tangki : 30 menit

Perhitungan

aliran dari titik 1 ke titik 6

$$\frac{p_6 - p_1}{\rho} + \frac{v_6^2 - v_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (z_6 - z_1) + F_{61} + W_s = 0$$

$$V_1 = 0$$

$$\frac{p_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_6 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_6^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_1 - F_{61} - W_s \dots\dots\dots a$$

aliran dari titik 7 ke titik 2 (ke tangki C)

$$\frac{p_2 - p_7}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_7^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_2 - Z_7) + F_{72} = 0$$

$$V_2 = V_7 \text{ (karena inside area flow sama)}$$

$$\frac{p_7}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_7 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_2 - Z_7) + F_{72} \dots\dots\dots b$$

aliran dari titik 7 ke titik 3 (ke tangki D)

$$\frac{p_7}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_7 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_3 - Z_7) + F_{73} \dots\dots\dots c$$

aliran dari titik 8 ke titik 4 (ke tangki A)

$$\frac{p_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_8 = \frac{p_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_4 - Z_8) + F_{84} \dots\dots\dots d$$

aliran dari titik 8 ke titik 5 (ke tangki B)

$$\frac{P_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_8 = \frac{P_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_5 - Z_8) + F_{58} \dots\dots\dots e$$

Jarak ketinggian pipa diukur dari atas tanah pada titik 6, 7, 8 sama, sehingga

$$Z_6 \approx Z_7 \approx Z_8, \text{ maka : } P_6 \approx P_7 \approx P_8, \quad V_7 \approx V_8 \rightarrow V_P$$

$$\text{maka} = \frac{P_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_6 \approx \frac{P_7}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_7 \approx \frac{P_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_8$$

Pengisian I : Tangki C dan tangki A (pers. b&d)

$$\frac{P_7}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_7 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_2 - Z_7) + F_{72} \dots\dots\dots b$$

$$\frac{P_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_8 = \frac{P_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_4 - Z_8) + F_{84} \dots\dots\dots d$$

-----+

$$\frac{P_7 + P_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_7 + Z_8) = \frac{P_2 + P_4}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_2 + Z_4) + F_{72} + F_{84} \dots\dots\dots f$$

Tangki A, B, C dan D mempunyai ukuran dan spesifikasi yang sama, sehingga

jarak pipa untuk tangki A ~ tangki C → Z4 ~ Z2= ZA, F48 ~ F27= FA

tangki B ~ tangki D → Z5 ~ Z3= ZB, F58 ~ F37= FB

$$2 \left[\frac{P_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_6 \right] = 2 \left[\frac{P_t}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_A) \right] + F_{78} + F_{48}$$

Substitusi persamaan e ke a

$$\left[\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_6^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_1 - F_{61} - W_s \right] = \left[\frac{P_t}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_A) + F_A \right]$$

$$-W_s = \frac{P_t - P_1}{\rho} + \frac{\left(\frac{v_6^2}{2}\right)}{\alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_A - Z_1) + F_A - F_{16}$$

Pengisian II : Tangki B dan tangki D (pers. c&e)

$$\frac{p_7}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_7 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_3 - Z_7) + F_{37} \dots\dots\dots c$$

$$\frac{p_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_8 = \frac{p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_5 - Z_8) + F_{58} \dots\dots\dots e$$

$$\frac{p_7 + p_8}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_7 + Z_8) = \frac{p_3 + p_5}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_3 + Z_5) + F_{37} + F_{58} \dots\dots\dots g$$

Tangki A, B, C dan D mempunyai ukuran dan spesifikasi yang sama, sehingga

$$P_2 \approx P_3 \approx P_4 \approx P_5 \approx P_1$$

Jarak pipa untuk tangki B ~ tangki D → Z5 ~ Z3= ZB, F58 ~ F37= FB

$$2 \left[\frac{p_6}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot z_6 \right] = 2 \left[\frac{p_t}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (ZB) \right] + F_{37} + F_{58}$$

Substitusi persamaan a ke persamaan g

$$\left[\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_6^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot z_1 - F_{61} - W_s \right] = \left[\frac{p_t}{\rho} + \frac{g}{g_c} \cdot (ZB) + FB \right]$$
$$-W_s = \frac{P_t - P_1}{\rho} + \frac{\left(\frac{v_6^2}{2}\right)}{\alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (ZB - Z_1) + FB - F_{61}$$

Perhitungan F61 :

Waktu pengisian tangki total diasumsi = 60 menit

Massa larutan kopi masuk = 71,886 kg/batch = 19,9682 kg/s

ρ larutan kopi = 1080 kg/m³

$$\begin{aligned}\text{Debit larutan kopi masuk} &= \frac{19,968 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1080 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0092 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,6529 \text{ ft}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Asumsi untuk aliran turbulen :

$$\begin{aligned}\text{ID opt} &= 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,6529)^{0,45} \times (67,4367)^{0,13} \\ &= 5,5655 \text{ in}\end{aligned}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 6 in, schedule 40 [10]:

$$\text{ID} = 6,065 \text{ in} = 0,5054 \text{ ft}; \text{OD} = 6,625 \text{ in}; \text{A} = 0,2006 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,6529 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,2006 \text{ ft}^2} = 3,2548 \text{ ft/s} = 0,9920 \text{ m/s}$$

$$\mu \text{ camp} = 8,9370 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,15405 \times 0,9921 \times 67,436}{8,9374 \cdot 10^{-4}} = 185453,0666 \text{ (turbulen)}$$

$$\text{Commercial steel} \rightarrow \epsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\epsilon}{\text{ID}} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,15405} = 0,00035$$

$$f = 0,0042$$

1. Losses karena kontraksi dari filter press ke pipa :

$$K_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \quad A_2/A_1 = 0 ;$$

Dimana $A_2 = A$ filter press

$A_1 = A$ pipa, karena $A_{\text{filter press}}$ jauh lebih besar dibanding A_{pipa}

$$K_c = 0,55$$

$$h_c = K_c \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 0,55 \times \frac{3,2548^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0905 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus dan fitting, f_t

Penafsiran panjang pipa lurus = 1 m = 3,2808 ft

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 4 \times 0,0042 \times \frac{3,2808}{0,5054} \times \frac{(3,2548 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174}$$

$$= 0,0179 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma F_{f1} = 0,0905 + 0,1752 = 0,2731 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Perhitungan FA :

Waktu pengisian tangki = 30 menit

Massa larutan kopi masuk tangki = 17971,42315 kg/batch = 9,9841 kg/s

ρ larutan kopi = 1080 kg/m³

$$\begin{aligned} \text{Debit larutan kopi masuk} &= \frac{9,9841 \text{ kg/s}}{1080 \text{ kg/m}^3} = 0,0092 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,3264 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Asumsi untuk aliran turbulen :

$$\begin{aligned} ID_{opt} &= 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,3264)^{0,45} \times (67,4367)^{0,13} \\ &= 4,0741 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 5 in, schedule 40 [10]:

$$ID = 5,047 \text{ in} = 0,4206 \text{ ft}; OD = 5,563 \text{ in}; A = 0,1390 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,3264 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,1390 \text{ ft}^2} = 2,3485 \text{ ft/s} = 0,7158 \text{ m/s}$$

$$\mu_{\text{camp}} = 8,9370 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,1282 \times 0,7158 \times 67,436}{8,9374 \cdot 10^{-4}} = 111359,6625 \text{ (turbulen)}$$

$$\text{Commercial steel} \rightarrow \varepsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1282} = 0,00035$$

$$f = 0,0042$$

1. Losses karena kontraksi, h_c

$$K_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa dengan ID = 0,5054ft

A_2 = luas penampang pipa dengan ID = 0,4199 ft

$$K_c = 0,0663$$

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= 0,00568 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus dan fitting, ft

Penafsiran panjang pipa lurus = 11 m = 36,0888 ft

Panjang pipa ekivalen :

- 1 buah elbow 90° $Le/D [21] = 32$ $Le = 13,4585$ ft
- 1 buah gate valve $Le/D [21] = 7$ $Le = 2,9440$ ft
- 2 buah Tee Branch $Le/D [21] = 90$ $Le = 75,7042$ ft

Panjang total pipa = 36,0888 + 13,4585 + + 2,9440 + 75,7042 ft = 128,1956 ft

$$Ff = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$= 4 \times 0,0038 \times \frac{128,1956}{0,4199} \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1,32,174}$$

$$= 0,1846 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow 90° = 1 buah

$K_f \text{ elbow } 90^\circ = 0,75$

$$hf = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,75 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1,32,174} = 0,0642 \text{ ft.lbf/lbm}$$

4. Friksi pada gate valve :

Jumlah gate valve = 1 buah

$K_f \text{ gate valve wide open} = 0,17$

$$hf = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,17 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1,32,174}$$

$$= 0,0291 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. Friksi pada Tee Branch :

Jumlah Tee Branch = 2 buah

Kf Tee Branch = 1

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 1 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174} = 0,1714 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma FA = 0,0056 + 0,1846 + 0,0642 + 0,0291 + 0,1714$$

$$= 0,4551 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-W_s = \frac{P_t - P_1}{\rho} + \frac{\left(\frac{v_2}{6}\right)}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_A - Z_1) + FA - F_{16}$$

$$= 1,3466 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Efisiensi pompa (η) = 45%

$$\text{Brake hp} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 550}$$

$$= \frac{1,3466 \times 4,4840}{0,5 \times 550} = 0,3621 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80%, [21]

Sehingga dipakai pompa dengan motor = 0,4527 hp

Perhitungan FB :

Tangki A, B, C dan D mempunyai spesifikasi yang sama, sehingga :

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 5 in, schedule 40 :

$$ID = 5,047 \text{ in} = 0,4206 \text{ ft}; OD = 5,563 \text{ in}; A = 0,1390 \text{ ft}$$

$$f = 0,0042 \quad [10]$$

1. Losses karena kontraksi, h_c

$$K_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa dengan ID = 0,5054 ft

A_2 = luas penampang pipa dengan ID = 0,4199 ft

$$K_c = 0,0663$$

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= 0,0056 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

3. Losses karena friksi pada pipa lurus dan fitting, ft

Penafsiran panjang pipa lurus = 19 m = 62,3352 ft

Panjang pipa ekivalen :

- 1 buah elbow 90° Le/D [21] = 32 $Le = 13,4585 \text{ ft}$
- 1 buah gate valve Le/D [21] = 7 $Le = 2,9440 \text{ ft}$
- 1 buah Tee Branch Le/D [21] = 90 $Le = 75,7042 \text{ ft}$

$$\begin{aligned} \text{Panjang total pipa} &= 62,3352 + 13,4585 + 2,9440 + 75,7042 \text{ ft} \\ &= 154,4420 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= 4 \times 0,0038 \times \frac{154,4420}{0,4206} \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1,32,174} \\ &= 0,2224 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 1$ buah

K_f elbow $90^\circ = 0,75$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,75 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174} = 0,0642 \text{ ft.lbf/lbm}$$

4, Friksi pada *gate valve* :

Jumlah gate valve = 1 buah

K_f gate valve wide open = 0,17

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,17 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174}$$

$$= 0,0291 \text{ ft.lbf/lbm}$$

3. Friksi pada Tee Branch :

Jumlah Tee Branch = 1 buah

K_f Tee Branch = 1

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 1 \times \frac{(2,3485 \text{ ft/s})^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174} = 0,1714 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma FB = 0,0056 + 0,2224 + 0,0642 + 0,0291 + 0,1714$$

$$= 0,4929 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-W_s = \frac{P_t - P_1}{\rho} + \frac{\left(\frac{v_2^2}{6}\right)}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{g}{g_c} \cdot (Z_B - Z_1) + FB - F_{61}$$

$$= 1,3844$$

Efisiensi pompa (η) = 50 %

$$\begin{aligned}\text{Brake hp} &= \frac{w_s \times m}{\eta \times 550} \\ &= \frac{1,3844 \times 66,56}{0,50 \times 550} = 0,3723 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi motor = 80%,

Sehingga dipakai pompa dengan motor = 0,4654 hp

Power pompa = 0,4527 + 0,46541 = 0,9181 hp

Spesifikasi alat :

Nama alat : pompa (L-222)
 Fungsi : mengalirkan filtrat kopi dari *filter press* ke tangki ekstraktor
 Tipe : *centrifugal pump*
 Rate aliran pompa : 0,6529 ft³/s
 Efisiensi pompa : 50 %
 Efisiensi motor : 80 %
 Power motor : 0,9181 hp = 0,94 hp = 700 watt
 Bahan konstruksi : *stainless steel*
 Jumlah : 1 buah

13. Tangki ekstraktor (H-230) pada tugas khusus App.F

14. Tangki penampung etil asetat-etanol (F-352)

Fungsi : sebagai tempat untuk menampung larutan

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat

Perhitungan dimensi tangki

ρ etil asetat : 894 kg/m³

ρ etanol : 787 kg/m³

Komponen	Massa (kg/batch)	X	ρ (kg/m ³)
Etil asetat	101,655	0,95	894
Etanol	5,351	0,05	787
Total	107,006		

ρ campuran = 887,9636 kg/m³

Kapasitas tangki penampung = 53,503 kg

$$\text{Volume larutan} = \frac{\text{kapasitas}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{53505 \text{ kg}}{887,964 \text{ kg/m}^3} = 60,2535 \text{ m}^3$$

$$= 2127,7549 \text{ ft}^3$$

Asumsi :

Volume larutan = 80 % volume tangki,

$$\text{Volume tangki} = \frac{\text{volume larutan}}{0,8} = \frac{60,2535 \text{ m}^3}{0,8}$$

$$= 66,9483 \text{ m}^3 = 2362,4431 \text{ ft}^3$$

Asumsi : $\frac{H}{D} = 1,5 \rightarrow H = 1,5 D$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times 1,5 \times D^3$$

$$\text{Volume tangki} = \text{volume shell}$$

$$2362,443 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \times 1,5 \times D^3$$

$$D = 12,5805 \text{ ft} = 3,8355 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = 1,25 D = 1,25 \times 12,5805 \text{ ft} = 18,8708 \text{ ft} = 5,7532 \text{ m}$$

$$V_{\text{larutan dalam tangki}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$2127,7549 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \times (12,5805 \text{ ft})^2 \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$H_{\text{larutan dalam tangki}} = 17,1258 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \times g \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$= 887,9636 \text{ kg/m}^3 \times \frac{62,43 \text{ lbm/ft}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \times 1 \text{ lbf/lbm} \times \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2} \times 17,1258 \text{ ft}$$

$$= 6,5929 \text{ lbf/in}^2 = 6,59298 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{udara luar}} + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$= 14,696 \text{ psi} + 6,5929 \text{ psi} = 21,2889 \text{ psi}$$

$$\text{Asumsi : } P_{\text{design}} = 1,4 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,4 \times P_{\text{operasi}} = 1,4 \times 21,2889 \text{ psi} = 29,8045 \text{ psi}$$

Tebal shell (ts)

$$ts = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f} + c \quad [27]$$

$$\text{di mana } P = \text{tekanan design} = 29,8045 \text{ psi}$$

$$ID = \text{diameter shell} = 12,5805 \text{ ft}$$

Material yang digunakan Stainless Steel SA-304

$$f = 17500 \text{ lb/in}^2 \quad [21]$$

Konstruksi yang digunakan : double welded butt joint

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 80 \%$$

$$c = \text{faktor korosi} = 0,1181 \text{ in}$$

$$ts = \frac{29,8045 \text{ lb/in}^2 \cdot (12,58 \cdot 12 \text{ in})}{2 \cdot 17500 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8} + 0,1181 \text{ in} = 0,2856 \text{ in}$$

Tebal shell diambil $\frac{5}{16}$ in

Tebal tutup atas dan bawah = tebal shell

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= 2 \cdot ts + D = 2 \times \frac{5}{16} \text{ in} + (12,5805 \times 12 \text{ in}) \\ &= 151,5915 \text{ in} = 3,8504 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung etil asetat-etanol (F-352)

Kapasitas : 53,503 m³

ID : 3,8355 m

OD : 3,8504 m

Tebal shell : $\frac{5}{16}$ in

Tinggi tangki : 5,7532 m

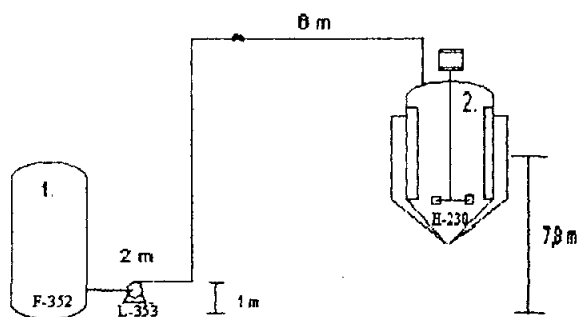
Jumlah : 1 buah

15. Pompa (L-353)

Fungsi : mengalirkan etil-asetat dari tangki penampung (F-352) menuju ke tangki ekstraktor (H-230)

Type : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah (< 3 Pa.s), paling umum digunakan di industri dan harganya relatif murah



Gambar C.4. Gambar pompa dari tangki penampung etil asetat menuju ke ke tangki ekstraktor

Perhitungan :

Kapasitas : 53502,9263 kg/batch

Waktu operasi/batch : 30 menit

$$\text{Laju alir media} : 53502,9263 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1 \text{ batch}}{30 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} = 29,7238 \text{ kg/s}$$

$$\rho = 887,963 \text{ kg/m}^3 = 55,4457 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 0,000457 \text{ kg/m.s}$$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho} = 0,0334 \text{ m}^3/\text{s} = 1,1820 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{ID optimum} &= 3,9, Q^{0,45}, \rho^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 \times 1,1820^{0,45} \times 55,4457^{0,13} \\ &= 7,0869 \text{ in} \end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt [10] :

Nominal pipe size = 8 in Sch 40

$$A = 0,139 \text{ m}^2$$

$$\text{OD} = 0,2191 \text{ m}$$

$$ID = 0,2027\text{m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,032 \text{ m}^3/\text{s}}{0,03227\text{m}^2} = 1,0373 \text{ m/s}$$

$$N_{re} = \frac{ID \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,2027 \text{ m} \times 1,1820 \text{ m/s} \times 1080 \text{ kg/m}^3}{0,000457 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 408584,3817 \rightarrow \text{aliran turbulen}$$

$$\text{Aliran turbulen} \rightarrow \alpha = 1$$

Jenis pipa yang digunakan : commercial steel, karena sering dipakai di industri.

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-3} [10]$$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,2027} = 0,00023$$

$$f = 0,0058 [10]$$

1. *Sudden contraction* :

$$A_2 \ll A_1$$

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(1,037 \text{ m/s})^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,2959 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

$$\text{Panjang pipa lurus} = 9 \text{ m} = 29,5272 \text{ ft}$$

Panjang pipa ekivalen

$$\blacksquare 3 \text{ buah elbow } 90^\circ \text{ Le/D [21]} = 32 \quad \text{Le} = 63,8473 \text{ ft}$$

$$\blacksquare 1 \text{ buah gate valve Le/D [21]} = 7 \quad \text{Le} = 4,6555 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 29,5272 + 63,8473 + 4,6555 \text{ ft}$$

$$= 98,0300 \text{ ft} = 29,8872 \text{ m}$$

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,0058 \times \frac{29,8872 \text{ m}}{0,2027 \text{ m}} \times \frac{(1,037 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 1,9781 \text{ J/kg}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ =$ buah

K_f elbow $90^\circ = 13,4585$ [19]

$$h_f = \times K_f \times \frac{v^2}{2} = \times 13,4585 \times \frac{(1,037 \text{ m/s})^2}{2} = 1,2105 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah *gate valve* = 1 buah

K_f *gate valve* wide open = 0,17 [10]

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(1,037 \text{ m/s})^2}{2} = 0,0914$$

5. *Expansion loss* pada tangki ekstraktor :

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \times \frac{v^2}{2} = (1 - 0)^2 \times \frac{(1,037 \text{ m/s})^2}{2} = 0,5380 \text{ J/kg}$$

$$\Sigma F = (0,2959 + 1,8402 + 1,2105 + 0,0914 + 0,5380) \text{ J/kg}$$

$$= 3,9761 \text{ J/kg}$$

$v_2 =$ kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

$v_1 =$ kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$\Delta z =$ perbedaan ketinggian titik1 dan titik 2 = 5,8 m

$g =$ percepatan gravitasi = $0,0184 \text{ m/s}^2$

$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

$$-W_s = \frac{1}{2\alpha} (v_2 - \overset{1,077}{v_1})^2 + \frac{g}{gc} (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1} (0 - 0)^2 + (0,5)m + 0 + 1,2488 \text{ J/kg}$$

$$= 5,6668 \text{ J/kg}$$

$$W_s = -5,6668 \text{ J/kg}$$

Untuk pompa *centrifugal* range efisiensinya antara 50-85 %, dipilih efisiensi pompa 75 %,

$$W_s = -\eta \times W_p$$

$$-5,6668 = -0,75 \times W_p$$

$$W_p = 7,5557 \text{ J/kg}$$

$$kW = \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,003867 \text{ m}^3/\text{s} \times 1080 \text{ kg/m}^3 \times 7,5557 \text{ J/kg}}{1000}$$

$$kW = 0,2245$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,2245 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,3011 \text{ hp}$$

Efisiensi motor : 80% [21]

$$\text{Power motor} = \frac{0,3011 \text{ hp}}{0,8} = 0,3764 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

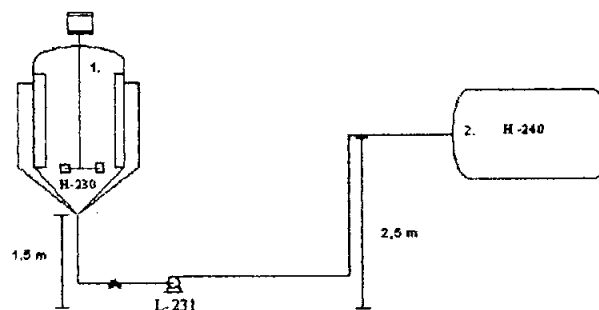
Nama	: Pompa (L-353)
Tipe	: Centifugal pump
Pipa	: 8 inc schedule 40
ID pipa	: 0,2027 m
OD pipa	: 0,2191 m
Bahan	: stainless stell
Power	: 0,3764 hp $\approx 0,5$ hp ≈ 370 watt
Jumlah	: 4 buah

16. Pompa (L-231)

Fungsi : mengalirkan filtrat kopi dari tangki ekstraktor (H-230) menuju ke Decanter 1 (H-240)

Type : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah (< 3 Pa.s), paling umum digunakan di industri dan harga relatif murah.



Gambar C.5. Gambar pompa dari tangki ekstraktor ke decanter 1

Perhitungan :

Tangki ekstraktor berjumlah 4 buah, pengisian ke decanter dilakukan per tangki

Waktu pengosongan 1 tangki = Waktu operasi pipa = 82 menit

Kapasitas : 46063,1 kg/batch

$$\text{Laju alir media} : 46063,1 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1 \text{ batch}}{30 \text{ menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} = 9,3624 \text{ kg/s}$$

$$\rho = 1080 \text{ kg/m}^3 = 67,4367 \text{ lb.ft}^3$$

$$\mu = 0,00089 \text{ kg/m.s}$$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho} = \frac{9,3624 \text{ kg/s}}{1080 \text{ kg/m}^3} = 0,00866 \text{ m}^3/\text{s} = 0,3061 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{ID optimum} &= 3,9, Q^{0,45}, \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,00866^{0,45} \times 67,4367^{0,13} \\ &= 3,9579 \text{ in} \end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt [10] :

Nominal pipe size = 4 in Sch = 40

$$A = 0,0082 \text{ m}^2$$

$$\text{OD} = 0,1143 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 0,1024 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,00867 \text{ m}^3/\text{s}}{0,008219 \text{ m}^2} = 1,0547 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Nre} &= \frac{\text{ID} \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,10242 \text{ m} \times 1,0548 \text{ m/s} \times 1080 \text{ kg/m}^3}{0,00089 \text{ kg/m.s}} \\ &= 131094,039 \rightarrow \text{aliran turbulen} \end{aligned}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Commercial steel $\rightarrow \varepsilon = 4,6 \times 10^{-3}$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1024} = 0,00044$$

$$f = 0,0045$$

1. *Sudden contraction* :

$$A_2 \ll A_1$$

$$hc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(1,0547 \text{ m/s})^2}{2 \times 1 \times 9,806}$$

$$= 0,03119 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

$$\text{Panjang pipa lurus} = 5,5 \text{ m} = 18,0444 \text{ ft}$$

Panjang pipa ekivalen

- 2 buah elbow 90° Le/D [21] = 32 $Le = 13,4585 \text{ ft}$
- 1 buah gate valve Le/D [21] = 7 $Le = 2,3522 \text{ ft}$

$$\text{Panjang total pipa} = 18,0444 + 0,06428 + 2,3522 \text{ ft}$$

$$= 41,9028 \text{ ft} = 12,7752 \text{ m}$$

$$Ff = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 4 \times 0,0042 \times \frac{5,715 \text{ m}}{0,1814 \text{ m}} \times \frac{(1,0547 \text{ m/s})^2}{2 \times 1 \times 9,806}$$

$$= 1,2488 \text{ J/kg}$$

3. Friksi pada elbow :

$$\text{Jumlah elbow } 90^\circ = 2 \text{ buah}$$

$$Kf \text{ elbow } 90^\circ = 0,75 [10]$$

$$h_f = 2 \times K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 2 \times 13,4585 \times \frac{(1,0547 \text{ m/s})^2}{2 \times 1 \times 9,806} = 0,2543 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *gate valve* wide open = 0,17 [10]

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,17 \times \frac{(1,0547 \text{ m/s})^2}{2 \times 1 \times 9,806} = 0,0096$$

$$\Sigma F = (0,03119 + 0,25431 + 1,2488 + 0,0096) \text{ J/kg}$$

$$= 4,1141 \text{ J/kg}$$

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

Δz = perbedaan ketinggian titik 1 dan titik 2 = 1,5 – 1 = 0,5 m

g = percepatan gravitasi = 0,0184 m/s²

$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

$$-W_s = \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1} (1,5047)^2 + (0,6529) \text{ m} + 0 + 1,2488 \text{ J/kg}$$

$$= 6,4469 \text{ J/kg}$$

$$W_s = -6,4469 \text{ J/kg}$$

Untuk pompa centrifugal range efisiensinya antara 50-85 %, dipilih efisiensi pompa 75%,

$$W_s = -\eta \times W_p$$

$$-6,4469 = -0,75 \times W_p$$

$$W_p = 8,5959 \text{ J/kg}$$

$$kW = \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,00867 \text{ m}^3/\text{s} \times 1080 \text{ kg/m}^3 \times 8,5959 \text{ J/kg}}{1000}$$

$$kW = 0,0804$$

$$\text{Power pompa} = 0,0804 \text{ kW}$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,08048 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,1079 \text{ hp}$$

efisiensi motor : 80%

$$\text{Power motor} = \frac{0,1079 \text{ hp}}{0,8} = 0,1340 \text{ hp}$$

Semua tangki ekstraktor memiliki spesifikasi yang sama, sehingga power keempat tangki diasumsi sama.

$$\text{Total power motor untuk 4 tangki} = 4 \times 0,1340 = 0,5362 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Pompa (L-231)

Tipe : Centrifugal pump

Pipa : 4 inc schedule 40

ID pipa	: 0,1024 m
OD pipa	: 0,1143m
Bahan	: Stainless stell
Power	: 0,1340 hp = 0,175 hp = 130 watt
Jumlah	: 1 buah

17. Decanter 1 (H-240)

Fungsi : Memisahkan air kopi dari etil asetat + kafein dengan menggunakan gaya gravitasi (yaitu perbedaan berat jenis) dan sifat kedua larutan yang tidak saling larut.

Tipe : Continuous gravity decanter

Dasar pemilihan : cocok untuk memisahkan liquid yang mempunyai perbedaan densitas kecil sederhana dan ekonomis.

Kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$

$T \text{ masuk} = 70^{\circ}\text{C}$

Bahan masuk :

Fraksi massa ringan :

Etil asetat = 19202,67 kg/jam

Etanol = 1010,67 kg/jam

Kafein = 43,97 kg/jam

Massa total = 20257,31 kg/jam

Fraksi massa berat :

Karbohidrat = 1005,53 kg/jam

$$\text{Air} = 12528,398 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa total} = 13533,928 \text{ kg/jam}$$

$$X_{\text{etil asetat}} = \frac{\text{massa etil asetat}}{\text{massa total}} = \frac{19202,67}{(19202,67 + 1010,67 + 43,97)} = 0,948$$

$$X_{\text{kafein}} = \frac{\text{massa kafein}}{\text{massa total}} = \frac{43,97}{(19202,67 + 1010,67 + 43,97)} = 0,00217$$

$$\rho_A = \text{Densitas fraksi berat (air + kopi)} = 1042,36 \text{ kg/m}^3 = 1,04236 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_B = \text{Densitas fraksi massa ringan}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{X_{\text{etilasetat}}}{\rho_{\text{etilasetat}}} + \frac{X_{\text{kafein}}}{\rho_{\text{kafein}}}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{0,948}{658,76} + \frac{0,002}{1230}$$

$$\rho_{\text{campuran B}} = 694,0889 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dimana } \rho_{\text{etil asetat}} = A B^{-(1-T/TC)^n}$$

$$A = 0.30654$$

$$B = 0.25856$$

$$n = 0.27800$$

$$TC = 523.30$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{etil asetat}} &= 0.30654 \cdot 0.25856^{-(1-343/523.30)^{0.27800}} \\ &= 658,76 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total massa} = \text{massa fraksi berat} + \text{massa fraksi ringan}$$

$$= 33791,238 \text{ kg/jam}$$

$$\rho_{\text{cairan}} = \frac{1}{\rho_{\text{cairan}}} = \frac{X_1}{\rho_1} + \frac{X_2}{\rho_2}$$

$X1$ = Fraksi ringan dalam jumlah total (campuran)

$$= (\text{massa etil asetat} + \text{kafein} + \text{etanol}) / \text{massa total} = 0,5995$$

$$\rho_1 = \rho \text{ fraksi ringan } (\rho_B) = 694,0889 \text{ kg/m}^3$$

$X2$ = fraksi berat dalam campuran total

$$= (\text{massa air} + \text{kopi}) / \text{massa total} = 0,4$$

$$\rho_2 = \rho \text{ fraksi berat } (\rho_A) = 1042,36 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{maka : } \frac{1}{\rho_{\text{cairan}}} = \frac{X1}{\rho_1} + \frac{X2}{\rho_2}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{cairan}}} = \frac{0,6}{694,0889} + \frac{0,4}{1042,36}$$

$$\rho_{\text{cairan}} = 801,321 \text{ kg/m}^3 = 0,812 \text{ gr/cm}^3 = 50,0247 \text{ lb/ft}^3$$

laju produk keluar :

Untuk lapisan air dengan kopi (A) :

$$\text{Massa fraksi berat} = 13533,93 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ fraksi berat} = 1042,36 \text{ kg/m}^3 = 1,04236 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{laju volume fraksi berat} = \text{massa fraksi berat} / \rho \text{ fraksi berat}$$

$$= 13533,93 \text{ kg/jam} / 1042,36 \text{ kg/m}^3$$

$$= 12,984 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk lapisan etil asetat + kafein (B) :

$$\text{Massa fraksi ringan} = 20257,31 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ campuran B} = 694,0889 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{laju volume fraksi ringan} = \text{massa fraksi ringan} / \rho \text{ fraksi ringan}$$

$$= 20257,31 \text{ kg/jam} / 694,0889 \text{ kg/m}^3$$

$$= 29,1855 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju volume total} &= \text{laju volume fraksi berat} + \text{laju volume fraksi ringan} \\
 &= 12,984 \text{ m}^3/\text{jam} + 29,1855 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 42,169 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Menghitung waktu pemisahan :

$$t = \frac{100 \cdot \mu}{\rho_A - \rho_B} \quad [29]$$

t = waktu pemisahan (jam)

ρ_A = density liquida berat (lapisan air + kopi). (kg/m³)

ρ_B = density liquida ringan (lapisan etil asetat + kafein + etanol). (kg/m³)

μ = viskositas fase kontinyu, cp

Viskositas dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{campuran}} &= 0,324 \cdot (\rho_{\text{fase kontinyu}})^{0,5} \quad [13, \text{pers.3-246}] \\
 &= 0,324 (1,04236 \text{ g/cm}^3)^{0,5} \\
 &= 0,33079 \text{ cp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } t &= \frac{100 \cdot \mu}{\rho_A - \rho_B} \\
 &= \frac{100 \cdot 0,33079}{1042,036 - 694,0889} \\
 &= 0,09498 \text{ jam} = 5,6988 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Menghitung lapisan dan tinggi liouida :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume cairan} &= \text{waktu pemisahan} \times \text{laju volume total} \\
 &= 0,09498 \text{ jam} \times 42,169 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 4,00528 \text{ m}^3 = 4005,288 \text{ ltr}
 \end{aligned}$$

Volume cairan = 90% volume bejana

Volume bejana = volume cairan / 0,9

$$= 4,00528 \text{ m}^3 / 0,9$$

$$= 4,45032 \text{ m}^3 = 4450,3209 \text{ ltr}$$

$$\text{Untuk shell : } \frac{H}{D} = 3 \quad [9, \text{ tabel 4.25}]$$

$$V_{\text{bejana}} = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \cdot H$$

$$= \frac{1}{4} \pi \left(\frac{H}{3} \right)^2 \cdot H$$

$$H^3 = \frac{V_{\text{bejana}}}{\pi / 36}$$

$$H^3 = \frac{4,45032}{\pi / 36} = 51,0227 \text{ m}^3$$

$$H (D) = 3,70898 \text{ m} = 146,0226 \text{ in}$$

$$\frac{H}{D} = 3$$

$$D = H/3$$

$$D (H) = 3,70898 \text{ m} / 3 = 1,2363 \text{ m} = 48,6742 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi liquida (ht)} &= \frac{4V}{\pi D^2} \\ &= \frac{4 \cdot 4,005288}{\pi^2 \cdot 3,70898} = 0,37089 \text{ m} = 1,21684 \text{ ft} \end{aligned}$$

Volume lapisan fraksi berat (hA) = laju volume fraksi berat x waktu tinggal

$$= 12,9839 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,09498 \text{ jam}$$

$$= 1,23323 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi lapisan fraksi berat (hA)} &= \frac{4 \cdot V}{\pi D^2} \\ &= \frac{4 \cdot 1,23326}{\pi^2 \cdot 3,70898} = 0,11419 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi lapisan fraksi ringan (hB)} = Z_t - Z_A$$

$$= \text{tinggi liquid} - \text{tinggi lapisan fraksi berat}$$

$$= 0,370898 \text{ m} - 0,11419 \text{ m} = 0,25669 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pengeluaran pipa atas (hA)} = h_A + h_B (\rho \text{ fraksi ringan} / \rho \text{ fraksi berat})$$

$$= 0,11419 \text{ m} + 0,25669 \text{ m} \cdot (694,0889 / 1042,36)$$

$$= 0,285131 \text{ m}$$

Mencari P operasi :

$$P \text{ Hidrostatik} = \frac{\rho \cdot H_T}{144} \quad [27]$$

$$= \frac{50,0247 \cdot 1,21684}{144}$$

$$= 0,422724 \text{ psi}$$

$$P \text{ tangki} = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

$$P \text{ total} = P \text{ tangki} + P \text{ Hidrostatik}$$

$$= 14,7 \text{ psi} + 0,422724 \text{ psi}$$

$$= 15,12272 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = 1,2 \times P \text{ total}$$

$$= 1,2 \times 15,12272 \text{ psi}$$

$$= 18,147268 \text{ psi}$$

Bahan :

Digunakan stainless steel dari [27, tabel 13.1, p.251] :

$$F = 75000 \text{ psi}$$

$$E = \text{double welded butt join} = 0,8$$

$$C = 0,125 \text{ in}$$

t = dalam in

D = dalam in

P = dalam lb/in²

Tebal shell :

$$t_s = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad [27 \text{ pers. 13-1}]$$

$$= 0,213 \text{ in} = 0,02 \text{ ft}$$

Tebal tutup :

$$t = D \sqrt{0,162 \frac{P_{Design}}{F_{allow}} + c}$$

$$= 146.0226 \sqrt{0,162 \frac{18.147}{18750} + \frac{1}{8}}$$

$$= 6,108 \text{ in} = 0,509 \text{ ft}$$

Maka diambil $t_s = 0,6 \text{ ft}$

Spesifikasi alat :

Nama : Decanter 1 (H-240)

Fungsi : memisahkan antara lapisan etil asetat + kafein dan air + kopi

Tipe : Continuous gravity decanter

Bahan konstruksi : stainless steel

Diameter shell : 1,2363 m

Panjang shell : 3,70898 m

Tebal shell : 0,6 ft = 0,165 m

Tebal tutup : 0,6 ft = 0,165 m

Jumlah : 1

18. Pompa filtrat kopi (L-241)

Fungsi : mengalirkan larutan kopi dari dekanter (H-240) menuju ke evaporator 1 (V-310)

Tipe : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah, paling umum digunakan di industri, harganya relatif murah, dan perawatannya mudah.

Massa larutan : 15637,64 kg / jam

Waktu operasi : 60 menit

Laju alir media : 15637,64 kg/jam = 4,34379 kg/s

$\rho_{\text{larutan}} = 1042,36 \text{ kg/m}^3 = 65,07226 \text{ lb/ft}^3$

$\mu_{\text{larutan}} = 0,33079 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho_{\text{larutan}}} = \frac{4,34379 \text{ kg/s}}{1042,36 \text{ kg/m}^3} = 0,004167 \text{ m}^3/\text{s} = 0,147165 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{ID optimum} = 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \quad [21]$$

$$= 3,9 \times 0,147165^{0,45} \times 65,07226^{0,13}$$

$$= 2,833466703 \text{ in}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt : [10]

Nominal pipe size = 3 in

Sch = 40

$$A = 0,0513 \text{ ft}^2 = 0,004769 \text{ m}^2$$

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in} = 0,088900178 \text{ m}$$

$$ID = 2,8335 \text{ in} = 0,071971 \text{ m} = 0,2361 \text{ ft}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,004167 \text{ m}^3/\text{s}}{0,004769 \text{ m}^2} = 0,873768 \text{ m/s}$$

$$N_{re} = \frac{ID \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,071971 \text{ m} \times 0,873768 \text{ m/s} \times 1042,36 \text{ kg/m}^3}{0,33079 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 198161,4 \rightarrow \text{aliran turbulen}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Friksi untuk aliran turbulen (steel pipe) digunakan :

$$f = \frac{0,004}{N_{re}^{0,16}} \quad [10, \text{p } 92]$$

$$= 0,000568$$

Digunakan pipa commercial steel $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5}$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,071971 \text{ m}} = 0,000639$$

Dari fig 2.10-3 [10], pp.88, diperoleh ;

$$f = 0.0046 \quad [10]$$

1. *Sudden contraction* :

$$A_2 \lll A_1$$

dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(0,8738 \text{ m/s})^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,381763 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

Panjang pipa lurus = 6 m = 19,6848 ft

Panjang pipa ekivalen

- 4 buah elbow 90° $Le/D = 32$ [21]

$$Le = 4 \times 32 \times 0,2361 = 30,2208 \text{ ft}$$

- 1 buah gate valve $Le/D = 7$ [21]

$$Le = 1 \times 7 \times 0,2361 = 1,6527 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 19,6848 + 30,2208 + 1,6527 \text{ ft} = 51,5583 \text{ ft} = 15,7152 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Ff &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,0046 \times \frac{15,7152 \text{ m}}{0,071971 \text{ m}} \times \frac{(0,8738 \text{ m/s})^2}{2} \\ &= 1,5338 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow 90° = 4 buah

$$Kf \text{ elbow } 90^\circ = 0,75 \text{ [10]}$$

$$hf = 4 \times Kf \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,75 \times \frac{(0,8738 \text{ m/s})^2}{2} = 1,31082 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah gate valve = 1 buah

$$Kf \text{ gate valve wide open} = 0,17 \text{ [10]}$$

Jenis valve yang digunakan : Gate valve yang terbuka penuh

Dasar pemilihan : valve hanya berfungsi untuk membuka atau menutup aliran saja tanpa harus mengatur aliran dan friksinya kecil.

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,8738 \text{ m/s})^2}{2} = 0,0649$$

$$\begin{aligned}\Sigma F &= (0,381763 + 1,5338 + 1,31082 + 0,0649) \text{ J/kg} \\ &= 3,2913 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

Δz = perbedaan ketinggian titik 1 dan titik 2 = 6,425 m

g = percepatan gravitasi = 9,806 m/s²

$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

$$\begin{aligned}-W_s &= \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + g(\Delta z) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{1}{2 \times 1} 0,8738^2 + 9,806 \text{ m/s}^2 (6,425) \text{ m} + 0 + 3,2913 \text{ J/kg} \\ &= 66,2948 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$W_s = -66,2948 \text{ J/kg}$$

Dari fig. 14-37. didapatkan efisiensi pompa yang digunakan = 62 % [21]

Dari fig. 14-38 didapatkan efisiensi motor 80 % [21]

$$W_s = -\eta_p \cdot W_p$$

$$-66,2948 = -0,62 \cdot W_p$$

$$W_p = 106,9271 \text{ J/kg}$$

$$kW = \frac{Q \times \rho \times Wp}{1000} = \frac{0,004167 \text{ m}^3/\text{s} \times 1042,36 \text{ kg/m}^3 \times 106,9271 \text{ J/kg}}{1000}$$

$$= 0,4644$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,4644 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,6228 \text{ hp} \approx 0,6 \text{ hp}$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,6 \text{ hp}}{0,80} = 0,75 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: Pompa larutan kopi (L-241)
Fungsi	: mengalirkan larutan kopi dari dekanter (H-240) menuju ke evaporator 1 (V-310)
Tipe	: centrifugal pump
Jenis pipa	: 3 in schedule 40
ID pipa	: 0,072 m
OD pipa	: 0,089 m
Power	: 0,94 hp = 700 watt
Jumlah	: 1 buah

19. Evaporator 1 (V-310) pada App.E

20. Dekanter 2 (H-320)

Fungsi : Memisahkan air dari etil asetat + etanol dengan menggunakan gaya gravitasi (yaitu perbedaan berat jenis) dan sifat kedua larutan yang tidak saling larut.

Tipe : Continuous gravity decanter

Dasar pemilihan : cocok untuk memisahkan liquid yang mempunyai perbedaan densitas kecil sederhana dan ekonomis.

Kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$

$T \text{ masuk} = 70^\circ\text{C}$

Bahan masuk :

Fraksi massa ringan :

Etil asetat = 1551,58 kg/jam

Etanol = 550,815 kg/jam

Massa total = 2102,395 kg/jam

Fraksi massa berat :

Air = 11018,12 kg/jam

$$X \text{ etil asetat} = \frac{\text{massa etil asetat}}{\text{massa total}} = \frac{1551,58}{(1551,58 + 550,815)} = 0,738$$

$$X \text{ etanol} = \frac{\text{massa etanol}}{\text{massa total}} = \frac{550,815}{(550,815 + 1551,58)} = 0,262$$

$$\rho_A = \text{Densitas fraksi berat (air)} = 977,81 \text{ kg/m}^3 = 0,97781 \text{ g/cm}^3$$

$\rho_B = \text{Densitas fraksi massa ringan}$

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{X_{\text{etilasetat}}}{\rho_{\text{etilasetat}}} + \frac{X_{\text{etanol}}}{\rho_{\text{etanol}}}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{0,738}{658,76} + \frac{0,262}{778,48}$$

$$\rho_{\text{campuran B}} = 686,4166 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dimana } \rho \text{ etil asetat} = A B^{-(1-T/TC)^n}$$

$$A = 0.30654$$

$$B = 0.25856$$

$$n = 0.27800$$

$$TC = 523.30$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ etil asetat} &= 0.30654 \cdot 0.25856^{-(1-343/523.30)^{0.27800}} \\ &= 658,76 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Dimana } \rho \text{ eanol} = A B^{-(1-T/TC)^n}$$

$$A = 0.2657$$

$$B = 0.26395$$

$$n = 0.2367$$

$$TC = 516.25$$

$$\rho \text{ etanol} = 778,48 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Total massa} &= \text{massa fraksi berat} + \text{massa fraksi ringan} \\ &= 13120,518 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ cairan} = \frac{1}{\frac{X1}{\rho1} + \frac{X2}{\rho2}}$$

$$X1 = \text{Fraksi ringan dalam jumlah total (campuran)}$$

$$= (\text{massa etil asetat} + \text{etanol}) / \text{massa total} = 0,1602$$

$$\rho1 = \rho \text{ fraksi ringan } (\rho_B) = 686,4166 \text{ kg/m}^3$$

$$X2 = \text{fraksi berat dalam campuran total}$$

$$= (\text{massa air}) / \text{massa total} = 0,8398$$

$$\rho2 = \rho \text{ fraksi berat } (\rho_A) = 997,81 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{maka : } \frac{1}{\rho_{\text{cairan}}} = \frac{X1}{\rho1} + \frac{X2}{\rho2}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{cairan}}} = \frac{0,1602}{686,4166} + \frac{0,8398}{997,81}$$

$$\rho_{\text{cairan}} = 915,5328 \text{ kg/m}^3 = 0,9155 \text{ gr/cm}^3 = 57,1547 \text{ lb/ft}^3$$

laju produk keluar :

Untuk lapisan air (A) :

$$\text{Massa fraksi berat} = 11018,12 \text{ kg/jam}$$

$$\rho_{\text{fraksi berat}} = 997,81 \text{ kg/m}^3 = 0,99781 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{laju volume fraksi berat} = \text{massa fraksi berat} / \rho_{\text{fraksi berat}}$$

$$= 11018,12 \text{ kg/jam} / 997,81 \text{ kg/m}^3$$

$$= 11,2682 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk lapisan etil asetat + etanol (B) :

$$\text{Massa fraksi ringan} = 2102,395 \text{ kg/jam}$$

$$\rho_{\text{campuran B}} = 686,4166 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{laju volume fraksi ringan} = \text{massa fraksi ringan} / \rho_{\text{fraksi ringan}}$$

$$= 2102,395 \text{ kg/jam} / 686,4166 \text{ kg/m}^3$$

$$= 3,0628 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Laju volume total} = \text{laju volume fraksi berat} + \text{laju volume fraksi ringan}$$

$$= 11,2682 \text{ m}^3/\text{jam} + 3,0628 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 14,331 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Menghitung waktu pemisahan :

$$t = \frac{100.\mu}{\rho A - \rho B} \quad [29]$$

t = waktu pemisahan (jam)

ρA = density liquida berat (lapisan air).(kg/m³)

ρB = density liquida ringan (lapisan etil asetat + etanol).(kg/m³)

μ = viskositas fase kontinyu, cp

Viskositas dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \mu \text{ campuran} &= 0,324 (\rho_{\text{fase kontinyu}})^{0,5} \quad [13] \\ &= 0,324 (0,97781 \text{ g/cm}^3)^{0,5} \\ &= 0,32038 \text{ cp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } t &= \frac{100.\mu}{\rho A - \rho B} \\ &= \frac{100. * 0,32038}{997,81 - 686,4166} \\ &= 0,10994 \text{ jam} = 6,5969 \text{ menit} \end{aligned}$$

Menghitung lapisan dan tinggi liquida :

Volume cairan = waktu pemisahan x laju volume total

$$\begin{aligned} &= 0,10994 \text{ jam} \times 14,3310 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 1,5757 \text{ m}^3 = 1575,6857 \text{ ltr} \end{aligned}$$

Volume cairan = 90% volume bejana

Volume bejana = volume cairan / 0,9

$$\begin{aligned} &= 1,5757 / 0,9 \\ &= 1,75076 \text{ m}^3 = 1750,762 \text{ ltr} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk shell : } \frac{H}{D} = 3 \quad [9]$$

$$V_{\text{bejana}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left(\frac{H}{3}\right)^2 \cdot H$$

$$H^3 = \frac{V_{\text{bejana}}}{\pi/36}$$

$$H^3 = \frac{1,75076}{\pi/36} = 20,0725 \text{ m}^3$$

$$H (D) = 2,7177 \text{ m} = 106,9955 \text{ in}$$

$$\frac{H}{D} = 3$$

$$D = H/3$$

$$D (H) = 2,7177 \text{ m} / 3 = 0,9059 \text{ m} = 36,6652 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi liquida (ht)} &= \frac{4 \cdot V}{\pi D^2} \\ &= \frac{4 \cdot 1,5757}{\pi^2 \cdot 2,7177} = 0,27177 \text{ m} = 0,8916 \text{ ft} \end{aligned}$$

Volume lapisan fraksi berat (hA) = laju volume fraksi berat x waktu tinggal

$$= 11,2682 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,10995 \text{ jam}$$

$$= 1,2389 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi lapisan fraksi berat (hA)} &= \frac{4 \cdot V}{\pi D^2} \\ &= \frac{4 \cdot 1,2389}{\pi^2 \cdot 2,7177} = 0,21368 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi lapisan fraksi ringan (hB)} = Z_t - Z_A$$

$$= \text{tinggi liquid} - \text{tinggi lapisan fraksi berat}$$

$$= 0,27177 \text{ m} - 0,21368 \text{ m} = 0,058 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pengeluaran pipa atas (ha1)} &= hA + hB (\rho \text{ fraksi ringan} / \rho \text{ fraksi berat}) \\ &= 0,21368 \text{ m} + 0,058 \text{ m} * (686,4166/977,81) \\ &= 0,25446 \text{ m} \end{aligned}$$

Mencari P operasi :

$$\begin{aligned} P \text{ Hidrostatik} &= \frac{\rho \cdot H_T}{144} \quad [27] \\ &= \frac{57,1547 \text{ lb} / \text{ft}^3 * 0,892 \text{ ft}}{144} \\ &= 0,3538 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$P \text{ tangki} = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} P \text{ total} &= P \text{ tangki} + P \text{ Hidrostatik} \\ &= 14,7 \text{ psi} + 0,3538 \text{ psi} \\ &= 15,054 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= 1,2 \times P \text{ total} \\ &= 1,2 \times 15,054 \text{ psi} \\ &= 18,065 \text{ psi} \end{aligned}$$

Bahan :

Digunakan stainless steel dari [27] :

$$F = 75000 \text{ psi}$$

$$E = \text{double welded butt join} = 0,8$$

$$C = 0,125 \text{ in}$$

$$t = \text{dalam in}$$

D = dalam in

P = dalam lb/in²

Tebal shell :

$$ts = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad [27]$$

$$= 0,189 \text{ in} = 0,02 \text{ ft}$$

Tebal tutup :

$$t = D \sqrt{0,162 \frac{P_{Design}}{F_{allow}} + c}$$

$$= 106,9955 \sqrt{0,162 \frac{18.0646}{75000} + \frac{1}{8}}$$

$$= 13,3786 \text{ in} = 1,1148 \text{ ft}$$

Maka diambil ts = 1,12 ft

Spesifikasi alat :

Nama : Decanter 2 (H-320)

Fungsi : memisahkan antara lapisan etil asetat + kafein dan air + kopi

Tipe : Continuous gravity decanter

Bahan konstruksi : stainless steel

Diameter shell : 0,9059 m

Panjang shell : 2,7177 m

Tebal shell : 1,12 ft = 0,342 m

Tebal tutup : 1,12 ft = 0,342 m

Jumlah : 1

21. Pompa etil asetat (L-321)

Fungsi : mengalirkan etil asetat dari decanter 2 menuju ke tangki penampung etil asetat.

Type : centrifugal pump

Dasar pemilihan : harganya ekonomis dan cocok untuk mengalirkan fluida dengan kapasitas besar.

Massa larutan : 1726,407 kg/jam

Waktu operasi/batch : 60 menit

Laju alir media : $1726,407 \text{ kg/jam} = 0,47955 \text{ kg/s}$

$\rho = 658,76 \text{ kg/m}^3 = 41,12495 \text{ lb/ft}^3$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho} = \frac{0,47955 \text{ kg/s}}{658,76 \text{ kg/m}^3} = 0,000728 \text{ m}^3/\text{s} = 0,025723 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{ID optimum} &= 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 \times 0,025723^{0,45} \times 41,12495^{0,13} \\ &= 1,217708 \text{ in} \end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt : [10]

Nominal pipe size = 1,25 in

Sch = 40

A = $0,0009648 \text{ m}^2$

OD = 1,66 in = $0,042164 \text{ m}$

ID = 1,217708 in = $0,03093 \text{ m} = 0,101475 \text{ ft}$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000728 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0009648 \text{ m}^2} = 0,754561 \text{ m/s}$$

$$\text{Nre} = \frac{\text{ID} \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,03093 \text{ m} \times 0,75456 \text{ m/s} \times 658,76 \text{ kg/m}^3}{0,0007351984 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 20912,0384 \rightarrow \text{aliran turbulen}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Jenis pipa yang digunakan : commercial steel, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} \quad [10]$$

$$\frac{\varepsilon}{\text{ID}} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,03093} = 0,001487$$

$$f = 0.0049 \quad [10]$$

1. Sudden contraction :

$$A_2 \ll A_1$$

$$\text{hc} = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(0,754561 \text{ m/s})^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,156575 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

$$\text{Panjang pipa lurus} = 6 \text{ m} = 19,6848 \text{ ft}$$

Panjang pipa ekivalen

- 4 buah elbow $90^\circ \text{ Le/D} = 32 \quad [21]$

$$\text{Le} = 4 \times 32 \times 0,101475 = 12,988 \text{ ft}$$

- 1 buah gate valve $\text{Le/D} = 7 \quad [21]$

$$\text{Le} = 1 \times 7 \times 0,101475 = 0,710325 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 19,6848 + 12,988 + 0,710325 \text{ ft} = 33,3839 \text{ ft} = 10,1755 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Ff &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,0049 \times \frac{10,1755 \text{ m}}{0,03093 \text{ m}} \times \frac{(0,754561 \text{ m/s})^2}{2} \\ &= 1,8356 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

3. Friksi pada elbow :

$$\text{Jumlah elbow } 90^\circ = 4 \text{ buah}$$

$$Kf \text{ elbow } 90^\circ = 0,75$$

$$hf = 4 \times Kf \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,75 \times \frac{(0,754561 \text{ m/s})^2}{2} = 0,54044 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

$$\text{Jumlah gate valve} = 1 \text{ buah}$$

$$Kf \text{ gate valve wide open} = 0,17 [10]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,754561 \text{ m/s})^2}{2} = 0,48396$$

$$\Sigma F = (0,1566 + 1,8356 + 0,54044 + 0,48396) \text{ J/kg}$$

$$= 3,0166 \text{ J/kg}$$

$$v_2 = \text{kecepatan aliran pada titik 2} \approx 0$$

$$v_1 = \text{kecepatan aliran pada titik 1} \approx 0$$

$$\Delta z = \text{perbedaan ketinggian titik 1 dan titik 2} = 8,3 \text{ m}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi} = 9,806 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1} 0,754^2 + 9,806 \text{ m/s}^2 (8,3) \text{ m} + 0 + 3,0166 \text{ J/kg}$$

$$= 84,3076 \text{ J/kg}$$

$$W_s = -84,3076 \text{ J/kg}$$

Dari fig. 14-37 didapatkan efisiensi pompa yang digunakan = 45 % [21]

$$W_s = -\eta \cdot W_p$$

$$-84,3076 \text{ J/kg} = -0,45 W_p$$

$$W_p = 187,35 \text{ J/kg}$$

$$\text{kW} = \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,000728 \text{ m}^3/\text{s} \times 658,76 \text{ kg/m}^3 \times 187,35 \text{ J/kg}}{1000}$$

$$\text{kW} = 0,08985$$

$$\text{Power pompa} = 0,08985 \text{ kW}$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,08985 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,120489 \text{ hp}$$

$$\text{efisiensi motor} : 80\% \quad [21]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,120489 \text{ hp}}{0,80} = 0,1506 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Pompa etil asetat (L-321)

Fungsi : mengalirkan etil asetat dari decanter 2 (H-320) menuju ke tangki penampung etil asetat (F-352)

Tipe	: Centifugal pump
ID pipa	: 0,030903 m
OD pipa	: 0,042164 m
Power	: 0,1506 hp $\approx$ 0,25 hp
Jumlah	: 1 buah

22. Pompa filtrat kopi instan rendah kafein (L-312)

Fungsi : mengalirkan larutan kopi pekat dari evaporator 1 (V-310) menuju spray dryer 1 (B-330)

Tipe : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah, paling umum digunakan di industri, harganya relatif murah, dan perawatannya mudah.

Massa larutan : 2517,125 kg / jam

Waktu operasi : 60 menit

Laju alir media : 2517,125 kg/jam $\approx$ 0,6992 kg/s

$\rho_{\text{larutan}} = 1042,36 \text{ kg/m}^3 = 65,07226 \text{ lb/ft}^3$

$\mu_{\text{larutan}} = 0,33079 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho_{\text{larutan}}} = \frac{0,6992 \text{ kg/s}}{1042,36 \text{ kg/m}^3} = 0,000671 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0237 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{ID optimum} &= 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 \times 0,0237^{0,45} \times 65,07226^{0,13} \\ &= 1,2455 \text{ in} \end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt : [10]

Nominal pipe size = 1 1/4 in

Sch 40

$$A = 0,01040 \text{ ft}^2 = 0,0009648 \text{ m}^2$$

$$\text{OD} = 1,66 \text{ in} = 0,04216 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 1,2455 \text{ in} = 0,03164 \text{ m} = 0,1038 \text{ ft}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000671 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0009648 \text{ m}^2} = 0,6958 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Nre} &= \frac{\text{ID} \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,03164 \text{ m} \times 0,6958 \text{ m/s} \times 1042,36 \text{ kg/m}^3}{0,33079 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} \\ &= 69372,3 \rightarrow \text{aliran turbulen} \end{aligned}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Friksi untuk aliran turbulen (steel pipe) digunakan :

$$\begin{aligned} f &= \frac{0,004}{\text{Nre}^{0,16}} \quad [10] \\ &= 0,000572 \end{aligned}$$

Digunakan pipa commercial steel $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5}$

$$\frac{\varepsilon}{\text{ID}} = \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,03164 \text{ m}} = 0,00145$$

Dari fig 2.10-3 Geankoplis, 3rd ed., pp.88, diperoleh ;

$$f = 0,005 \quad [10]$$

1. Sudden contraction :

$$A_2 \lll A_1$$

dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(0,6958 \text{ m/s})^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,1331 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

Panjang pipa lurus = 6 m = 19,6848 ft

Panjang pipa ekivalen

- 3 buah elbow 90° $Le/D = 32$ [21]

$$Le = 3 \times 32 \times 0,1083 = 10,3968 \text{ ft}$$

- 1 buah gate valve $Le/D = 7$ [21]

$$Le = 1 \times 7 \times 0,1083 = 0,7581 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 19,6848 + 10,3968 + 0,7581 \text{ ft} = 30,8397 \text{ ft} = 9,4 \text{ m}$$

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,005 \times \frac{9,4 \text{ m}}{0,03164 \text{ m}} \times \frac{(0,6958 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 1,4383 \text{ J/kg}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 3$ buah

$$K_f \text{ elbow } 90^\circ = 0,75 \text{ [10]}$$

$$h_f = 3 \times K_f \times \frac{v^2}{2} = 3 \times 0,75 \times \frac{(0,6958 \text{ m/s})^2}{2} = 0,5446 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah gate valve = 1 buah

$$K_f \text{ gate valve wide open} = 0,17 \text{ [10]}$$

Jenis valve yang digunakan : Gate valve yang terbuka penuh

Dasar pemilihan : valve hanya berfungsi untuk membuka atau menutup aliran saja tanpa harus mengatur aliran dan friksinya kecil.

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,6958 \text{ m/s})^2}{2} = 0,0412$$

$$\begin{aligned}\Sigma F &= (0,1331 + 1,4383 + 0,5446 + 0,0412) \text{ J/kg} \\ &= 2,1572 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

Δz = perbedaan ketinggian titik1 dan titik 2 = 8,064 m

g = percepatan gravitasi = 9,806 m/s²

$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

$$\begin{aligned}-W_s &= \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + g(\Delta z) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{1}{2 \times 1} (0)^2 + 9,806 \text{ m/s}^2 (8,064) \text{ m} + 0 + 2,1572 \text{ J/kg} \\ &= 81,1844 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$W_s = -81,1844 \text{ J/kg}$$

Dari fiq. 14-37 didapatkan efisiensi pompa yang digunakan = 42 % [21]

Dari fiq. 14-38 didapatkan efisiensi motor 80 % [21]

$$W_s = -\eta \cdot W_p$$

$$-81,1844 = -0,42 \cdot W_p$$

$$W_p = 193,296 \text{ J/kg}$$

$$kW = \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,000671 \text{ m}^3/\text{s} \times 1042,36 \text{ kg/m}^3 \times 193,296 \text{ J/kg}}{1000} = 0,1352$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,1352 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,1812 \text{ hp} \approx 0,2 \text{ hp}$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,2 \text{ hp}}{0,80} = 0,226 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: Pompa larutan kopi (L-312)
Fungsi	: mengalirkan larutan kopi pekat dari evaporator 1 (V-310) menuju spray dryer 1 (B-330)
Tipe	: centrifugal pump
Jenis pipa	: 1 1/4 in schedule 40
ID pipa	: 0,03164 m
OD pipa	: 0,04216 m
Power	: 0,226 hp = 0,35 hp = 250 watt
Jumlah	: 1 buah

23. Spray dryer 1 (B-330)

Fungsi : Sebagai alat pengering slurry kopi sehingga diperoleh kopi bubuk dalam bentuk granular

Tipe : bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk dished head

Kapasitas : 1385,8328 kg/jam

Kondisi operasi :

Suhu udara masuk ; 205 °C

Suhu feed masuk : 80°C

Tekanan operasi : 1 atm

Suhu operasi : 105 °C

Perhitungan

Menghitung ukuran dryer :

Feed masuk terdiri dari :

Padatan : 1006,85 kg/jam

Air : 1510,275 kg/jam

Kadar air mula-mula : 0,6

Dari perhitungan App.A :

Air yang menguap ; 1385,8328 kg/jam

Kopi yang keluar sebagai produk ; 1131,2921 kg/jam

Kadar air dalam produk : 0,11

Laju pengeringan = air yang menguap : 1385,8328 lb/jam

Suhu udara masuk : 205°C

Suhu udara keluar : 93,33 °C

Dari Perry ed.5 p. 20-63 :

Volume Chamber = 4800 ft³

Diameter Chamber = 20 ft

Lubang Pengeluaran =

Tinggi Shell = 0,4 D = 0,4 . 20 = 8 ft[13]

$$\text{Volume Silinder} = \frac{\pi}{4} D^2 H_s = \frac{\pi}{4} 20^2 \cdot 8 = 2512 \text{ ft}^3$$

Volume konis = Volume Chamber- Volume Silinder

$$= 4800 \text{ ft}^3 - 2512 \text{ ft}^3 = 2288 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume Konis} = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} h_c (D^2 + DM + M^2) \quad [31]$$

$$2288 \text{ ft}^3 = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} h_c (20^2 + 20.1 + 1^2)$$

$$h_c = 20,7694 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c = 8 + 20,7694 = 28,7694 \text{ ft}$$

Menghitung tebal shell

Untuk shell, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas dipilih bahan konstruksi stainless steel type 304

$$F = 15100$$

$$E = 0,85 \text{ (single welded butt joint)}$$

$$r_i = 11,75 \text{ ft} = 141 \text{ in}$$

$$P = 14,7 \text{ psia}$$

Tebal shell

$$ts = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6P} \quad [27]$$

$$ts = \frac{14,7 \cdot 141}{15100 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 14,7} = 0,1719 \text{ in} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Menghitung tebal konis

$$\text{Tebal konis} = \frac{P.ID}{2 \cdot \cos \alpha (f.E - 0,6P)} \quad [27]$$

$$tc = \frac{14,7.141}{2 \cdot \cos 30(15100.0,85 - 0,6.14,7)} = 0,0933 \cong 3/16 \text{ in}$$

Menghitung tutup atas

$$\text{tebal tutup atas} = \frac{P.r_c.W}{2.f.E - 0,2.P} \quad [27]$$

dimana $r_c = 70,5 \text{ in}$

$P = 14,7 \text{ psia}$

$W = 1,23,097$

$$t_a = \frac{P.r_c.W}{2.f.E - 0,2.P} = \frac{14,7.70,5.23,097}{2.15100.0,85 - 0,2.14,7} = 0,9325 \cong 3/16 \text{ inch}$$

Atomizer

Jenis : centrifugal dish

Menentukan putaran centrifugal dish :

$$\frac{D.v.s}{r} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L.N.r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha.\rho_L.Lw}{\Gamma^2} \right]^{0,1} \quad [13]$$

$D.v.s = \text{diameter semprotan rata-rata} = 1,47.10^{-4} \text{ m} = 4,8216.10^{-4}$

$Di = \text{diameter dish, m (} = 0,25 \text{ m} = 0,8202 \text{ ft)}$

$r = \text{jari-jari dish} = 0,41 \text{ ft}$

$\Gamma = \text{kecepatan massa semprotan dari wetted dish peripheral, lb/min ft}^3$

$P.L = \text{densitas slurry} = 861,46 \text{ kg/m}^3 = 53,7812 \text{ lb/ft}^3$

N = putaran dish = rpm

M = viskositas liquid = 0,3243 kg/ms = 0,2175 lb/fts

A = liquid retension = lb/min²

L_w = wetted dish peripheral = 2,5761 ft

$$\Gamma = M / L_w = 3331.605282 \text{ kg/jam.} / 2,5761 \text{ m} = 3,2808. 60.0,4535 \\ = 14,4871 \text{ lb/min ft}$$

Dimana :

(P) = komponen paranchor = 271,7

ρ_L = densitas liquid = $4,66 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$

α = dyne/cm

Pada tekanan rendah, $\rho_L \gg \rho_G$, maka ρ_G dapat diabaikan.

$$\alpha^{1/4} = (271,7)(4,66 \times 10^{-3}) = 2,5696 \text{ dyne/cm} = 20,3975 \text{ lb/min}^2$$

$$\frac{4,8216 \cdot 10^{-4}}{0,41} = 0,4 \left[\frac{14,4871}{53,7812 \cdot N \cdot 0,41^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,2175}{14,4871} \right]^{0,2} \left[\frac{20,3975 \cdot 53,78 \cdot 2,5761}{14,4871^2} \right]^{0,1}$$

$$N = 101,046 \text{ rpm} = 100 \text{ rpm}$$

Menghitung power yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot (r \cdot N)^2 W$$

Dimana P = Hp netto, Hp

R = jari-jari roda atomizer, ft

N = putaran disk , rpm

W = rate feed, lbm/menit

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot (0,41 \cdot 101,046)^2 122,5756 = 0,002 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Nama alat : Spray Dryer

Fungsi : Sebagai alat pengering slurry kopi sehingga diperoleh kopi bubuk dalam bentuk granular

Tipe : bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk dished head

Kapasitas : 3331.605282 kg/jam

Tinggi silinder : 8 ft

Tinggi konis : 20,7694 ft

Diameter : 20 ft

Tebal shell : $\frac{3}{16}$ in

Tebal konis : $\frac{3}{16}$ in

Tebal head : $\frac{3}{16}$ in

Jumlah : 1 unit

Nama alat : Atomizer

Type : centrifugal dish

Diameter dish : 0,82 ft

Diameter semprotan rata-rata : $4,82 \cdot 10^{-4}$ ft

Kecepatan putaran dish : 100 rpm

Kecepatan massa semprotan : 14,4871 lb/ft min

Power : 0,002 hp

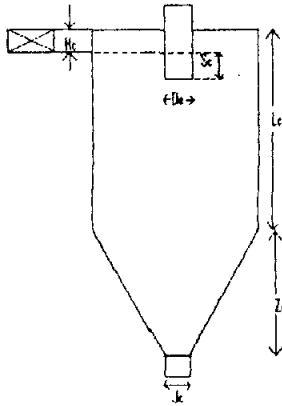
24. Cyclone (G-331)

Fungsi = memisahkan debu-debu kopi bubuk dari spray dryer yang terikut udara

Type = Cyclone separator

Kondisi operasi : suhu masuk = 105°C

Dasar Pemilihan : untuk memisahkan solid dari gas



A_c = luas penampang gas masuk

D_c = diameter cyclone

D_e = diameter lubang pengeluaran gas

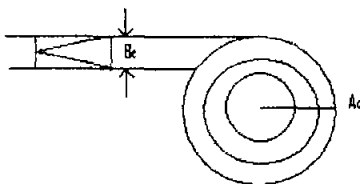
H_c = diameter lubang masuk

L_c = tinggi cyclone bagian silinder

Z_c = tinggi cyclone bagian kerucut

J_c = diameter lubang pengeluaran

partikel



Perhitungan :

Rate uap air yang teruapkan = 1385,8328 kg/jam = 0,3849 kg/dtk

Asumsi :

bubuk kopi yang terikut udara = 2 % berat bubuk kopi yang terbentuk [13]

Rate bubuk kopi yang terbentuk = 1131,2921 kg/jam = 0,3142 kg/dtk

Bubuk kopi yang terikut udara = $0,02 \times 0,3142 = 0,0062$ kg/dtk

Rate masuk separator = $0,3849 + 0,0062 = 0,3911$ kg/dtk

Asumsi = pemisahan yang terjadi 99%

$r_{\text{Bubuk kopi}} = 0,0006$ kg/cm³ [22]

$r_{\text{uap air}} = 0,0013$ kg/cm³

$r_{\text{campuran}} = 0,0012$ kg/cm³

$$\text{rate volumetric} = \frac{\text{rate masuk separator}}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{0,3911}{0,0012} = 325,9166 \text{ cm}^3/\text{dt}$$

luas inlet = $HC \cdot BC = DC/2 \cdot DC/4 = DC^2/8$

Asumsi = inlet velocity (V_c) = 40ft/s = 1219,2 cm/s [13]

$$\text{luas inlet} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{inlet velocity}}$$

$$\frac{DC^2}{8} = \frac{325,9166}{1219,2}$$

$DC = 1,4623$ cm

Tinggi separator = $ZC + LC = 2 \cdot DC + 2DC = 4DC = 4 \times 1,4623 = 5,8495$ cm

Ukuran inlet pipa : $HC = 0,5 DC = 0,7311$ cm

$BC = 0,25 DC = 0,3655$ cm

Pipa pengeluaran uap (De) = $HC = 0,7311$ cm

Pipa pengeluaran debu (JC) = BC = 0,3655 cm

Spesifikasi alat :

Nama alat : Cyclone

Tipe : Cyclone separator

Rate : 1131,2921 kg/jam

Pipa pengeluaran uap (De) : HC = 0,7311 cm

Pipa pengeluaran debu (JC) : BC = 0,3655 cm

Jumlah : 1 buah

25. Screw Conveyor (J-332)

Fungsi : Mengangkat kopi rendah kafein dari spray dryer (B-330)
menuju ke tangki penampung (F-333)

Dasar pemilihan: agar bubuk kopi tidak berterbangan

Waktu operasi : 60 menit

Kapasitas = 5989,4024 kg/60menit = 5989,4024 kg/jam

Kondisi operasi : T = 30 °C dan P = 1 atm

Dari Perry, 6th ed., tabel 7-6, 9, 7-7, untuk kapasitas 5989,4024 kg/jam didapat :

- Diameter flight = 9inch
- Diameter poros screw = 2 inch
- D lubang feed = 6 inch
- Panjang screw = 15 ft

Untuk kapasitas = 5 ton/jam = 5000 kg/jam didapat [16]:

Kecepatan screw = 40 rpm

Power motor = 0,43 hp

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan screw untuk kapasitas } 1571,66 \text{ kg/jam} &= \frac{5989,4024 \text{ kg/jam}}{5000 \text{ kg/jam}} \times 40 \text{ rpm} \\ &= 47,9152 \text{ rpm}\end{aligned}$$

$$\text{Power motor} = \frac{5989,4024 \text{ kg/jam}}{5000 \text{ kg/jam}} \times 0,43 \text{ hp} = 0,5150 \text{ hp}$$

Efisiensi = 80 % [21],

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{0,5150 \text{ hp}}{0,8} = 0,6438 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : screw conveyer (J-332)

Kapasitas : 5989,4024 kg/jam

Kecepatan screw : 40 rpm

Power : 0,6438 hp

Jumlah : 1 buah

26. Tangki kopi instan rendah kafein (F-333)

Fungsi : sebagai tempat untuk menampung kopi instant rendah kafein

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat

Perhitungan dimensi tangki

Kapasitas tangki penampung : $5989,4024 \times 3 = 17968,2072 \text{ kg}$ (untuk 3 batch)

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{\text{kapasitas}}{\rho \text{ kopi}} = \frac{17968,2072 \text{ kg}}{620 \text{ kg/m}^3} \\ &= 28,9809 \text{ m}^3 = 1022,6678 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Asumsi :

Volume larutan = 80 % volume tangki,

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan}}{0,8} = \frac{28,98 \text{ m}^3}{0,8} \\ &= 36,2262 \text{ m}^3 = 1278,3347 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

$$\text{Asumsi : } \frac{H}{D} = 1 \rightarrow H = D$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H = \frac{\pi}{4} D^3$$

Volume tangki = volume shell

$$1278,3347 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = 11,7360 \text{ ft} = 3,5780 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = D = 3,5780 \text{ m} = 11,7360 \text{ ft}$$

$$V \text{ larutan tangki} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$28,9809 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \times (11,73602583 \text{ ft})^2 \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$H \text{ larutan dalam tangki} = 11,7360 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \times g \times H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$\begin{aligned}&= 620 \text{ kg/m}^3 \times \frac{62,43 \text{ lbf/ft}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \times 1 \text{ lbf/lbm} \times \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2} \times 11,7360 \text{ ft} \\ &= 2,5424 \text{ lbf/in}^2 = 2,5424 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$P \text{ operasi} = P \text{ udara luar} + P \text{ hidrostatik}$$

$$= 14,696 \text{ psi} + 2,5424 \text{ psi} = 17,2384 \text{ psi}$$

Asumsi : P design = 1,4 x P operasi

$$P \text{ design} = 1,4 \times P \text{ operasi} = 1,4 \times 17,2384 \text{ psi} = 24,1337 \text{ psi}$$

Tebal shell (ts)

$$ts = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad [27]$$

di mana P = tekanan design = 24,1337 psi

ID = diameter shell = 11,7360 ft

Material yang digunakan : Stainless stell steel SA-304

$$f = 17500 \text{ lb/in}^2 \quad [27]$$

Konstruksi yang digunakan : Double welded butt joint

E = efisiensi sambungan = 80 %

c = faktor korosi = 0,1181 in

$$ts = \frac{24,1334 \text{ lb/in}^2 \cdot (11,736 \cdot 12 \text{ in})}{2 \cdot 17500 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8} + 0,1181 \text{ in} = 0,2394 \text{ in}$$

Tebal shell diambil $\frac{1}{4}$ in

Tebal tutup atas dan bawah = tebal shell

$$OD \text{ shell} = 2 \cdot ts + D = 2 \cdot \frac{1}{4} \text{ in} + (11,7360 \cdot 12 \text{ in}) = 141,3323 \text{ in}$$

Spesifikasi alatI :

Nama : tangki penampung kopi instan rendah kafein

Kapasitas : 17968,2072 m³

ID : 3,5780 m

OD	: 3,5898 m
Tebal shell	: $\frac{1}{4}$ in
Tinggi tangki	: 3,5780 m
Jumlah	: 1 buah

27. Pompa filtrat kafein (L-242)

Fungsi : mengalirkan filtrat kafein dari decanter 1 (H-240) menuju ke evaporator 2 (V-350)

Tipe : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah, paling umum digunakan di industri, harganya relatif murah, dan perawatannya mudah.

Massa larutan : 18153,6 kg/jam

Waktu operasi : 60 menit

Laju alir media : 18153,6 kg/jam = 5,043 kg/s

$$\rho = 694,089 \text{ kg/m}^3 = 43,33 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 0,00027 \text{ kg/m.s}$$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho} = \frac{5,043 \text{ kg/s}}{694,089 \text{ kg/m}^3} = 0,007266 \text{ m}^3/\text{s} = 0,2566 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{ID optimum} &= 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 \times 0,2566^{0,45} \times 43,33^{0,13} \\ &= 3,4515 \text{ in} \end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt : [10]

Nominal pipe size = 3 1/2 in

Sch = 40

A = 0,006379 m²

OD = 4 in = 0,1016 m

ID = 3,4515 in = 0,087669 m = 0,2876 ft

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,007266 \text{ m}^3/\text{s}}{0,006379 \text{ m}^2} = 1,13905 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{ID \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,08767 \text{ m} \times 1,13905 \text{ m/s} \times 694,089 \text{ kg/m}^3}{0,00027 \text{ kg/m.s}} \\ &= 256711,4 \rightarrow \text{aliran turbulen} \end{aligned}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Jenis pipa yang digunakan : commercial steel, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-3} \text{ [10]}$$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,08767} = 0,000525$$

$$f = 0,0048 \quad [10]$$

3. Sudden contraction :

$$A_2 \lll A_1$$

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(1,13095 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 0,351738 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

4. Friksi pada pipa lurus :

Panjang pipa lurus = 6 m = 19,6848 ft

Panjang pipa ekivalen

- 4 buah elbow 90° $L_e/D = 32$ [21]

$$L_e = 4 \times 32 \times 0,2876 = 36,8159 \text{ ft}$$

- 1 buah gate valve $L_e/D = 7$ [21]

$$L_e = 1 \times 7 \times 0,2876 = 2,0132 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 19,6848 + 36,8159 + 2,0132 \text{ ft} = 58,5139 \text{ ft} = 17,8353 \text{ m}$$

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,0048 \times \frac{17,8353 \text{ m}}{0,087669 \text{ m}} \times \frac{(1,13905 \text{ m/s})^2}{2} = 2,5339 \text{ J/kg}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 4$ buah

K_f elbow $90^\circ = 0,75$

$$h_f = 4 \times K_f \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,75 \times \frac{(1,13905 \text{ m/s})^2}{2} = 1,9462 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada gate valve :

Jumlah gate valve = 1 buah

K_f gate valve wide open = 0,17 [10]

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(1,13905 \text{ m/s})^2}{2} = 0,110282$$

$$\begin{aligned} \Sigma F &= (0,351738 + 2,5339 + 1,9462 + 0,110282) \text{ J/kg} \\ &= 4,94208 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

Δz = perbedaan ketinggian titik 1 dan titik 2 = 4,095 m

$$g = \text{percepatan gravitasi} = 9,806 \text{ m/s}^2$$

$$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{1}{2 \times 1} 0,99^2 + 9,806 \text{ m/s}^2 (4,095) \text{ m} + 0 + 4,94208 \text{ J/kg} \\ &= 45,0977 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$W_s = -45,0977 \text{ J/kg}$$

Dari fig. 14-37 didapatkan efisiensi pompa yang digunakan = 65 % [21]

$$W_s = -\eta \cdot W_p$$

$$-45,0977 = -0,65 \cdot W_p$$

$$W_p = 69,381 \text{ J/kg}$$

$$\text{kW} = \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,007266 \text{ m}^3/\text{s} \times 694,089 \text{ kg/m}^3 \times 69,381 \text{ J/kg}}{1000}$$

$$\text{kW} = 0,3499$$

$$\text{Power pompa} = 0,3499 \text{ kW}$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,3499 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,469 \text{ hp}$$

efisiensi motor : 80% [21]

$$\text{Power motor} = \frac{0,469 \text{ hp}}{0,8} = 0,5865 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: Pompa filtrat kafein (L-242)
Fungsi	: mengalirkan filtrat kafein dari decanter 1 (H-240) menuju ke evaporator 2 (V-350)
Tipe	: Centrifugal pump
ID pipa	: 0,087669 m
OD pipa	: 0,1016 m
Power	: 0,5865 hp = 0,67 hp = 500 watt
Jumlah	: 1 buah

28. Evaporator 2 (V-350)

Fungsi	= Untuk memekatkan filtrat kafein sebagai produk samping, sampai 40% kadar kafein.
Tipe	= Single effect Short tube Vertical evaporator
Dasar pemilihan	= Cocok untuk memekatkan larutan dengan viskositas rendah, pembersihan dan perawatan mudah dan harga alat murah.
Kondisi operasi : Tekanan operasi	= 1 atm
Suhu operasi	= 80°C
Suhu steam	= 148°C

Penentuan diameter evaporator

Short tube vertical :

$$U_d = 500 \text{ btu/hr.ft}^2 \text{ F} \quad [10]$$

Dari App.B. didapatkan 8648497,06 kJ/jam = 8197161,356 btu/jam

$$\Delta T = T_{\text{steam}} - T_{\text{operasi}} = 298,4 \text{ F} - 176 \text{ F} = 122,4 \text{ F}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan evaporator} &= \frac{Q}{U \cdot \Delta T} = \frac{8197161,356 \text{ btu} / \text{jam}}{500 \text{ btu} / \text{jam ft}^2 \text{ F} \cdot 122,4 \text{ F}} = 133,94 \text{ ft}^2 \\ &= 12,44 \text{ m}^2 = 133,94 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dari [14], tabel 11 didapat :

$$\text{OD} = 1,5 \text{ in} = 0,125 \text{ ft} ; 1 \frac{7}{8} \text{ in triangular pitch} ; 1 \text{ pases}$$

$$\text{Dipilih panjang tube} = 8 \text{ ft}$$

$$N_t = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{133,94 \text{ ft}^2}{\pi \cdot 0,125 \text{ ft} \cdot 8 \text{ ft}} = 42,65$$

$$\text{Dari [14] didapat : jumlah tube} = 48 \text{ pipa} ; \text{ID shell} = 17,25 \text{ in}$$

$$\text{Banyaknya filtrat yang menguap} = 3856,6568 \text{ kg/jam} = 8502,386 \text{ lb/jam}$$

Dari [14] didapatkan :

$$\text{Spesifik volume untuk steam pada } T = 298,4 \text{ F} ; v = 6,6082 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$\text{Kecepatan volumetrik} = 1 \text{ ft/s} = 3600 \text{ ft/jam}$$

$$\text{Rate volumetrik} = \text{banyak uap} \times \text{spesifik volume}$$

$$= 8502,386 \text{ lb/jam} \times 6,6082 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$= 56185,46 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$\text{Luas penampang} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan volumetrik}} = \frac{56185,46 \text{ ft}^3 / \text{jam}}{3600 \text{ ft} / \text{jam}} = 15,6070 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter evaporator} &= \sqrt{\frac{\text{luas penampang} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{15,6070 \cdot 4}{\pi}} = 4,4577 \text{ ft} \\ &= 53,4924 \text{ in} \end{aligned}$$

Penentuan tinggi evaporator :

Mengambil tinggi liquid 1 ft diatas tinggi tube

$$\text{Tinggi liquid} = 8 \text{ ft} + 1 \text{ ft} = 9 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid} = 0,85 \times \text{tinggi tangki}$$

$$\text{Tinggi tangki} = 8 \text{ ft} / 0,85 = 10,5 \text{ ft}$$

Penentuan tebal shell :

$$\rho \text{ campuran} = 694,0889 \text{ kg/m}^3 = 43,33045 \text{ lb/ft}^3$$

$$P \text{ Hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{campuran}} * H_{\text{liq}}}{144} \quad [22, \text{p.46, eq.3.17}]$$

$$= \frac{43,33045 \text{ lb/ft}^3 * 9 \text{ ft}}{144} = 2,7 \text{ psi}$$

$$P \text{ operasi} = P \text{ udara luar} + P \text{ Hidrostatik}$$

$$= 14,7 \text{ psi} + 2,7 \text{ psi} = 17,4 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = 1,2 \times P \text{ operasi}$$

$$1,2 \times 17,4 \text{ psi} = 20,88 \text{ psi}$$

$$T \text{ shell} = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot (f \cdot E - 0,6P)} + c \quad [22, \text{p.254}]$$

$$= \frac{20,88 \text{ psi} * 53,4924 \text{ in}}{2 \cdot (75000 * 0,8 - 0,6 * 20,88 \text{ psi})} + 0,125$$

$$= 0,1343 \text{ in}$$

$$\text{Tebal shell diambil} = 3/16 \text{ in} \quad [22, \text{p.89}]$$

$$\text{OD shell} = 53,4924 \text{ in} + (2 * 3/16) = 53,8674 \text{ in} = 1,368 \text{ m}$$

$$\text{Diambil OD shell} = 54 \text{ in} = 1,37 \text{ m}$$

Penentuan tebal tinggi tutup :

$$r_c = 54 \text{ in} \quad [22, \text{p.90}]$$

$$i_{cr} = 3,25 \text{ in} \quad [22, \text{p.90}]$$

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right) \quad [22,p.138]$$

$$= \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{54}{3,25}} \right) = 1,769 \text{ in}$$

$$T_{\text{head}} = \frac{P \cdot rc \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 \cdot P} + c \quad [22,p.138]$$

$$= \frac{20,88 \text{ psi} \cdot 54 \text{ in} \cdot 1,769 \text{ in}}{2 \cdot 75000 \text{ psi} \cdot 0,8 - 0,2 \cdot 20,88 \text{ psi}} + 0,125 = 0,1416 \text{ in}$$

Diambil Thead = 3/16 in

Spesifikasi alat :

- Nama alat : Evaporator 2 (V-350)
- Fungsi : Untuk memekatkan filtrat kafein sebagai produk samping,
sampai 40% kadar kafein.
- Tipe : Short tube evaporator
- Diameter evaporator : 53,4924 in
- Tinggi evaporator : 10,5 ft = 3,2 m
- Tebal shell : 3/16 in
- Tebal head : 3/16 in
- Bahan konstruksi : stainless steel

29. Pompa filtrat kafein pekat (L-354)

- Fungsi : mengalirkan larutan kafein pekat dari evaporator 2 (V-350)
menuju spray dryer 2 (B-360)
- Tipe : centrifugal pump

Dasar pemilihan : cocok untuk fluida dengan viskositas rendah, paling umum digunakan di industri, harganya relatif murah, dan perawatannya mudah.

Massa larutan : 106,625 kg / jam

Waktu operasi : 60 menit

Laju alir media : 106,625 kg/jam = 0,0296 kg/s

$\rho_{\text{larutan}} = 694,0889 \text{ kg/m}^3 = 43,33045 \text{ lb/ft}^3 = 0,6940889 \text{ g/cm}^3$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{larutan}} &= 0,324 (\rho_{\text{campuran}})^{0,5} \\ &= 0,2699 \text{ cp} \\ &= 0,2699 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m s}\end{aligned}$$

$$Q = \frac{\text{laju alir media}}{\rho_{\text{larutan}}} = \frac{0,0296 \text{ kg/s}}{694,0889 \text{ kg/m}^3} = 0,0000426 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0015 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned}\text{ID optimum} &= 3,9 \cdot Q^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 \times 0,0015^{0,45} \times 43,33045^{0,13} \\ &= 0,3414 \text{ in}\end{aligned}$$

Di mana ID opt dalam in, Q dalam ft^3/s , ρ dalam lb/ft^3

ID yang mendekati ID opt : [10]

Nominal pipe size = 1/4 in

Sch = 40

$$A = 0,00072 \text{ ft}^2 = 0,0000672 \text{ m}^2$$

$$\text{OD} = 0,54 \text{ in} = 0,01372 \text{ m}$$

$$\text{ID} = 0,3414 \text{ in} = 0,00867 \text{ m} = 0,02845 \text{ ft}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000426 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0000672 \text{ m}^2} = 0,6339 \text{ m/s}$$

$$N_{re} = \frac{ID \times v \times \rho}{u} = \frac{0,00867 \text{ m} \times 0,6339 \text{ m/s} \times 694,0889 \text{ kg/m}^3}{0,2699 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 14134,2132 \rightarrow \text{aliran turbulen}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Friksi untuk aliran turbulen (steel pipe) digunakan :

$$f = \frac{0,004}{N_{re}^{0,16}} \quad [10]$$

$$= 0,000867$$

Digunakan pipa commercial steel $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5}$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,00867 \text{ m}} = 0,0053$$

Dari fig 2.10-3 Geankoplis, 3rd ed., pp.88, diperoleh ;

$$f = 0,0087 \quad [10]$$

1. *Sudden contraction* :

$$A_2 \lll A_1$$

dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(0,6339 \text{ m/s})^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,1105 \text{ J/kg}$$

2. Friksi pada pipa lurus :

$$\text{Panjang pipa lurus} = 6 \text{ m} = 19,6848 \text{ ft}$$

Panjang pipa ekivalen

- 3 buah elbow 90° $Le/D = 32$ [21]

$$Le = 3 \times 32 \times 0,02845 = 2,7312 \text{ ft}$$

- 1 buah gate valve $Le/D = 7$ [21]

$$Le = 1 \times 7 \times 0,02845 = 0,1992 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang total pipa} = 19,6848 + 2,7312 + 0,1992 \text{ ft} = 22,6152 \text{ ft} = 6,8932 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Ff &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2} = 4 \times 0,0087 \times \frac{6,8932 \text{ m}}{0,00867 \text{ m}} \times \frac{(0,6339 \text{ m/s})^2}{2} \\ &= 5,5589 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

3. Friksi pada elbow :

Jumlah elbow $90^\circ = 3$ buah

$$Kf \text{ elbow } 90^\circ = 0,75 \text{ [10]}$$

$$hf = 3 \times Kf \times \frac{v^2}{2} = 3 \times 0,75 \times \frac{(0,6958 \text{ m/s})^2}{2} = 0,5446 \text{ J/kg}$$

4. Friksi pada *gate valve* :

Jumlah gate valve = 1 buah

$$Kf \text{ gate valve wide open} = 0,17 \text{ [10]}$$

Jenis valve yang digunakan : Gate valve yang terbuka penuh

Dasar pemilihan : valve hanya berfungsi untuk membuka atau menutup aliran saja tanpa harus mengatur aliran dan friksinya kecil.

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,6339 \text{ m/s})^2}{2} = 0,0342$$

$$\Sigma F = (0,1105 + 5,5589 + 0,5446 + 0,0342) \text{ J/kg}$$

$$= 6,2482 \text{ J/kg}$$

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 ≈ 0

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

Δz = perbedaan ketinggian titik 1 dan titik 2 = 7,83 m

g = percepatan gravitasi = $9,806 \text{ m/s}^2$

$P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

$$-W_s = \frac{1}{2\alpha} (v_2 - v_1)^2 + g(\Delta z) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F$$

$$= \frac{0,6339^2}{2 \times 1} + 9,806 \text{ m/s}^2 (7,83) \text{ m} + 0 + 6,2482 \text{ J/kg}$$

$$= 82,9822 \text{ J/kg}$$

$$W_s = -82,9822 \text{ J/kg}$$

Dari fig. 14-37 didapatkan efisiensi pompa yang digunakan = 42 % [21]

Dari fig. 14-38 didapatkan efisiensi motor 80 % [21]

$$W_s = -\eta_p W_p$$

$$-82,9822 = -0,42 W_p$$

$$W_p = 197,576 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \frac{Q \times \rho \times W_p}{1000} = \frac{0,0000426 \text{ m}^3/\text{s} \times 694,0889 \text{ kg/m}^3 \times 197,576 \text{ J/kg}}{1000} \\ &= 0,0584 \end{aligned}$$

$$\text{hp pompa} = \frac{0,0584 \text{ kW}}{0,74570 \text{ kW}} \times 1 \text{ hp} = 0,0783 \text{ hp} \approx 0,1 \text{ hp}$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,1 \text{ hp}}{0,80} = 0,125 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: Pompa larutan kopi (L-354)
Fungsi	: mengalirkan larutan kafein pekat dari evaporator 2 (V-350) menuju spray dryer 2 (B-360)
Tipe	: centrifugal pump
Jenis pipa	: 1/4 in schedule 40
ID pipa	: 0,00867 m
OD pipa	: 0,04216 m
Power	: 0,01372 hp = 0,17 hp = 125 watt
Jumlah	: 1 buah

30. Spray Dryer 2 (B-360)

Fungsi	: Sebagai alat pengering slurry kafein sehingga diperoleh kafein bubuk dalam bentuk granular
Tipe	: bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk dished head
Kapasitas	: 63,911 kg/jam = 150,0258 lb/jam
Kondisi	
Suhu udara masuk	: 205 °C
Suhu feed masuk	: 80°C

Tekanan operasi : 1 atm

Suhu operasi : 105 °C

Perhitungan

Menghitung ukuran dryer :

Feed masuk terdiri dari :

Padatan : 42,65 kg/jam

Etil asetat : 63,975 kg/jam

Kadar air mula-mula : 0,6

Dari perhitungan App.A :

Etil asetat yang menguap ; 63,911 kg/jam

Kafein yang keluar sebagai produk ; 42,7139 kg/jam

Kadar etil asetat dalam produk : 0,001

Laju pengeringan = etil asetat yang menguap : 150,0258 lb/jam

Suhu udara masuk : 205°C

Suhu udara keluar : 93,33 °C

Volume Chamber : 250 ft³ [13]

Diameter Chamber : 5 ft

Lubang Pengeluaran

Tinggi Shell = 0,4 D = 0,4 . 5 = 2 ft [13]

$$\text{Volume Silinder} = \frac{\pi}{4} D^2 H_s = \frac{\pi}{4} 5^2 . 2 = 39,25 \text{ ft}^3$$

Volume konis = Volume Chamber- Volume Silinder

$$= 250 \text{ ft}^3 - 39,25 \text{ ft}^3 = 210,75 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume Konis} = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} h_c (D^2 + DM + M^2) \quad [31]$$

$$210,75 \text{ ft}^3 = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} h_c (5^2 + 5.1 + 1^2)$$

$$h_c = 25,9813 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c = 2 + 25,9813 = 27,9813 \text{ ft}$$

Menghitung tebal shell

Untuk shell, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas dipilih bahan konstruksi stainless steel type 304 [27].

$$F = 15100$$

$$E = 0,85 \text{ (single welded butt joint)}$$

$$r_i = 11,75 \text{ ft} = 141 \text{ in}$$

$$P = 14,7 \text{ psia}$$

Tebal shell

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6P} \quad [27]$$

$$t_s = \frac{14,7 \cdot 141}{15100 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 14,7} = 0,1719 \text{ in} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Menghitung tebal konis

$$\text{Tebal konis} = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6P)} \quad [27]$$

$$t_c = \frac{14,7 \cdot 141}{2 \cdot \cos 30 (15100 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 14,7)} = 0,0933 \cong 3/16 \text{ in}$$

Menghitung tutup atas

$$\text{tebal tutup atas} = \frac{P.r_c.W}{2.f.E - 0,2.P} \quad [27]$$

dimana $r_c = 70,5$ in

$P = 14,7$ psia

$W = 1,799$

$$t_a = \frac{P.r_c.W}{2.f.E - 0,2.P} = \frac{14,7.70,5.1,7995}{2.15100.0,85 - 0,2.14,7} = 0,0726 \cong 3/16 \text{ inch}$$

Atomizer

Jenis : centrifugal dish

Menentukan putaran centrifugal dish :

$$\frac{D.v.s}{r} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L.N.r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha.\rho_L.Lw}{\Gamma^2} \right]^{0,1} \quad [13]$$

$D.v.s$ = diameter semprotan rata-rata = $1,47.10^{-4}$ m = $4,8216.10^{-4}$

D_i = diameter dish, m (=0,25 m = 0,8202 ft

r = jari-jari dish = 0,41 ft

Γ = kecepatan massa semprotan dari wetted dish peripheral, lb/min ft³

$P.L$ = densitas slurry = $861,46 \text{ kg/m}^3 = 53,7812 \text{ lb/ft}^3$

N = putaran dish = rpm

M = viskositas liquid = $0,3243 \text{ kg/ms} = 0,2175 \text{ lb/fts}$

A = liquid retension = lb/min²

Lw = wetted dish peripheral = 2,5761 ft

$\Gamma = M / Lw = 3331.605282 \text{ kg/jam.} / 2,5761 \text{ m} .3,2808. 60.0,4535 = 14,4871 \text{ lb/min ft}$

Dimana :

(P) = komponen paranchor = 271,7

ρ_L = densitas liquid = $4,66 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$

α = dyne/cm

Pada tekanan rendah, $\rho_L \gg \rho_G$, maka ρ_G dapat diabaikan.

$\alpha^{1/4} = (271,7)(4,66 \times 10^{-3}) = 2,5696 \text{ dyne/cm} = 20,3975 \text{ lb/min}^2$

$$\frac{4,8216 \cdot 10^{-4}}{0,41} = 0,4 \left[\frac{14,4871}{53,7812 \cdot N \cdot 0,41^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,2175}{14,4871} \right]^{0,2} \left[\frac{20,3975 \cdot 53,782 \cdot 5761}{14,4871^2} \right]^{0,1}$$

$N = 101,046 \text{ rpm} = 100 \text{ rpm}$

Menghitung power yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot (r \cdot N)^2 W$$

Dimana P = Hp netto, Hp

R = jari=jari roda atomizer, ft

N = putaran disk , rpm

W = rate feed, lbm/menit

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \cdot (0,41 \cdot 101,046)^2 122,5756 = 0,002 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Nama alat : Spray Dryer (B-360)

Fungsi : Sebagai alat pengering slurry kafein sehingga diperoleh kafein bubuk dalam bentuk granular

Tipe : bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk dished head

Kapasitas : 63,911 kg/jam

Tinggi silinder : 2 ft

Tinggi konis : 25,9813 ft

Diameter : 20 ft

Tebal shell : $\frac{3}{16}$ in

Tebal konis : $\frac{3}{16}$ in

Tebal head : $\frac{3}{16}$ in

Jumlah : 1 unit

Nama alat : Atomizer

Type : centrifugal dish

Diameter dish : 0,82 ft

Diameter semprotan rata-rata : $4,82 \cdot 10^{-4}$ ft

Kecepatan putaran dish : 100 rpm

Kecepatan massa semprotan : 14,4871 lb/ft min

Power : 0,002 hp

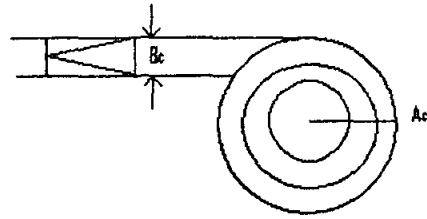
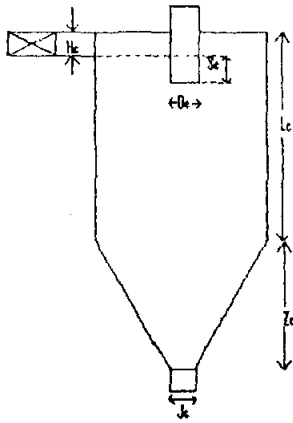
31. Cyclone (G-361)

Fungsi : memisahkan debu-debu kafein bubuk dari spray dryer yang terikut udara

Type : Cyclone separator

Kondisi operasi : suhu masuk = 105°C

Dasar Penilaian : untuk memisahkan solid dari gas



A_c = luas penampang gas masuk

D_c = diameter cyclone

D_e = diameter lubang pengeluaran gas

H_c = diameter lubang masuk

L_c = tinggi cyclone bagian silinder

Z_c = tinggi cyclone bagian kerucut

J_c = diameter lubang pengeluaran

partikel

Perhitungan :

Rate etil asetat yang teruapkan = 63,911 kg/jam = 0,0177 kg/dtk

Asumsi :

bubuk kafein yang terikut udara = 2 % berat bubuk kafein yang terbentuk [13]

Rate bubuk kafein yang terbentuk = 42,7139 kg/jam = 0,0118 kg/dtk

Bubuk kafein yang terikut udara = 0,02 x 0,0118 = 0,0002 kg/dtk

Rate masuk separator = 0,0177 + 0,0002 = 0,0179 kg/dtk

Asumsi = pemisahan yang terjadi 99%

$\rho_{\text{Bubuk kafein}} = 0,0006 \text{ kg/cm}^3$ [22]

$\rho_{\text{uap aetil asetat}} = 0,0011 \text{ kg/cm}^3$

$\rho_{\text{campuran}} = 0,0010 \text{ kg/cm}^3$

$$\text{rate volumetric} = \frac{\text{rate masuk separator}}{\rho_{\text{campuran}}} = \frac{0,0179}{0,0010} = 16,4242 \text{ cm}^3/\text{dt}$$

luas inlet = HC.BC = DC/2 . DC/4 = DC/8

Asumsi = inlet velocity (V_c) = 40ft/s = 1219,2 cm/s [13]

$$\text{luas inlet} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{inlet velocity}}$$

$$\frac{DC^2}{8} = \frac{16,4242}{1219,2}$$

$$DC = 0,3282 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi separator} = ZC + LC = 2. DC + 2DC = 4DC = 4 \times 0,3282 = 1,3131 \text{ cm}$$

$$\text{Ukuran inlet pipa : HC} = 0,5 DC = 0,1641 \text{ cm}$$

$$BC = 0,25 DC = 0,082 \text{ cm}$$

$$\text{Pipa pengeluaran uap (De)} = HC = 0,1641 \text{ cm}$$

Pipa pengeluaran debu (JC) = BC = 0,082 cm

Spesifikasi alat :

Nama alat : Cyclone

Tipe : Cyclone separator

Rate : 0,0118 kg/dtk

Pipa pengeluaran uap (De) : HC = 0,1641 cm

Pipa pengeluaran debu (JC) : BC = 0,082 cm

Jumlah : 1 buah

32. Tangki penampung kafein (F-363)

Fungsi : sebagai tempat untuk menampung bubuk kafein

Tipe : Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat

Perhitungan dimensi tangki

Massa kafein = 225,8131 kg/batch

Kapasitas tangki penampung = 677,7582 kg (3 batch)

$$\text{Volume} = \frac{\text{kapasitas}}{\rho \text{ kopi}} = \frac{677,758 \text{ kg}}{582 \text{ kg/m}^3} = 1.1645 \text{ m}^3$$

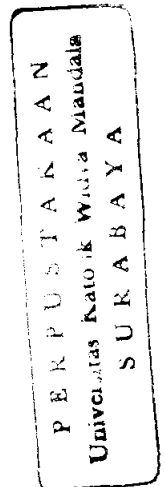
$$= 41,0935 \text{ ft}^3$$

Asumsi :

Volume larutan = 80 % volume tangki,

$$\text{Volume tangki} = \frac{\text{volume larutan}}{0,8} = \frac{1,1645 \text{ m}^3}{0,8} = 1,4556 \text{ m}^3$$

$$= 51,3668 \text{ ft}^3$$



$$\text{Asumsi : } \frac{H}{D} = 1 \rightarrow H = D$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot D^3$$

$$\text{Volume tangki} = \text{volume shell}$$

$$51,3668 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3$$

$$D = 4,0240 \text{ ft} = 1,2268 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = D = 1,2268 \text{ m} = 3,2327 \text{ ft}$$

$$V \text{ kafein tangki} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$41,0935 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot (4,0240 \text{ ft})^2 \cdot H_{\text{larutan dalam tangki}}$$

$$H \text{ kafein dalam tangki} = 3,2327 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot g \cdot H_{\text{larutan dalam tangki}} \quad [27]$$

$$= 582 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{62,43 \text{ lbf/ft}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot 1 \text{ lbf/lbm} \cdot \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2} \cdot 3,2327 \text{ ft}$$

$$= 0,81569 \text{ lbf/in}^2 = 0,8978 \text{ psi}$$

$$P_{\text{operasi}} = P_{\text{udara luar}} + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$= 14,696 \text{ psi} + 0,8156 \text{ psi} = 15,5116 \text{ psi}$$

$$\text{Asumsi : } P_{\text{design}} = 1,4 \cdot P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,4 \times P_{\text{operasi}} = 1,4 \times 15,5116 \text{ psi} = 21,7163 \text{ psi}$$

Tebal shell (ts)

$$ts = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad [27]$$

$$\text{di mana } P = \text{tekanan design} = 21,8313 \text{ psi}$$

$$ID = \text{diameter shell} = 4,4279 \text{ ft}$$

Material yang digunakan : Carbon steel SA-53

$$f = 9000 \text{ lb/in}^2 \quad [27]$$

Konstruksi yang digunakan : double welded butt joint

E = efisiensi sambungan = 80 %

$$c = \text{faktor korosi} = \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$ts = \frac{21,7163 \text{ lb/in}^2 \cdot (4,024 \cdot 12 \text{ in})}{2 \cdot 9000 \text{ lb/in}^2 \cdot 0,8} + \frac{1}{8} \text{ in} = 0,19787 \text{ in}$$

$$\text{Tebal shell diambil } \frac{1}{4} \text{ in}$$

Tebal tutup atas dan bawah = tebal shell

$$OD \text{ shell} = 2 \cdot ts + D = 2 \cdot \frac{1}{4} \text{ in} + (4,0242 \cdot 12 \text{ in}) = 48,7888 \text{ in}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung bubuk kafein (F-363)

Kapasitas : 677,7582 m³

ID : 1,2268 m

OD : 1,2392 m

Tebal shell : $\frac{1}{4}$ in

Tinggi tangki : 1,2268 m

Bahan konstruksi : Carbon stell SA-53

Jumlah : 1 buah

33. Air blower (G-331)

Fungsi : menghembuskan udara panas dari Rotary dryer menuju ke Spray dryer.

Data : kapasitas udara = 12313,5839 kg/batch = 12313,5839 kg/jam
 = 7,5407 lb/s

T udara = 210 °C = 410 °F = 670 °R

Tekanan udara dianggap 1 atm : 14,690 psia = 14,696 lb/in²

1 lbmol gas ideal pada 492 °R, 1 atm mempunyai volume 359,05 ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Densitas udara} &= \frac{BM}{V0} \times \frac{P}{P0} \times \frac{T0}{T} \times 1 \text{ lbmol} \\ &= \frac{29 \text{ lb/lbmol}}{359,05 \text{ ft}^3} \times \frac{14,696 \text{ psia}}{14,696 \text{ psia}} \times \frac{492^0 \text{ R}}{670^0 \text{ R}} \times 1 \text{ lbmol} \\ &= 0,3606 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Rate udara = Q = 7,540 lb/s / 0,3606 lb/ft³ = 20,9115 ft³/s

P₂ - P₁ = max 1,5

$$\begin{aligned}P \text{ blower} &= \frac{144 \times Q \times (P_2 - P_1)}{33000} \quad [8] \\ &= 0,1368 \text{ hp}\end{aligned}$$

Efisiensi motor = 90 %

$$Hp = \frac{0,1368}{0,9} = 0,1520 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat:

Type = centrifugal blower

Kapasitas = 20,9115 ft³/s

Power = 0,15 hp

Bahan = carbon steel

34. Condenser I (E-351)

Fungsi : Mengkondensasikan uap etanol dan etil asetat dari evaporator I

Tipe : Shell and Tube Heat Exchanger

Dasar pemilihan : luas perpindahan panas besar

Waktu operasi : 1 jam/batch

Banyak batch : 3 batch

Bahan masuk : Uap etanol = 1589,3192 kg/jam = 3730,7962 lbm/jam

Uap etil asetat = 7550,8022 kg/jam = 17724,8878 lbm/jam

Dari Neraca Panas:

Panas entalphy (Q) = 1.725.628,22 kJ/hari = 575209,4947.604,69 kJ/batch
= 545528,595 Btu/jam

Kebutuhan air = 256822,2032kg/batch = 602869,021 lbm/jam

Fluida Panas		Fluida Dingin	Beda Suhu
185 °F	Suhu Tinggi	122 °F	63 °F
131 °F	Suhu Rendah	86 °F	45 °F
54 °F	Beda Suhu	36 °F	18 °F

$$\Delta T_{LMID} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)} = \frac{63 - 45}{\ln(63 / 45)} = 53,4965 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_a = (122+86)/2 = 104 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_v = (185+131)/2 = 158 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Fluida panas dialirkan di dalam shell; fluida dingin di dalam tube

Untuk sistem Light organic- water; $U_D = 75\text{-}150 \text{ Btu/h ft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$ (Tabel 8 Kern)

Trial: U_D pada $150 \text{ Btu/h.ft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$

Pipa yang digunakan:

- Panjang pipa (L) : 10 ft

- OD : 1 in
- BWG : 16
- ID : 1,4 in

Dari Tabel 10 Kern didapat harga $a''t$ (outside surface per lin ft) = 0,2618 ft²

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T_{LMTD}} = \frac{545.528,595 \text{ Btu / jam}}{150 (\text{Btu / jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times 53,5^\circ\text{F}} = 67,9786 \text{ ft}^2$$

$$\text{Jumlah Tube (Nt)} = \frac{A}{Lt \times a''t} = \frac{67,9786}{10 \times 0,2618} = 25,9658$$

Diambil jumlah tube yang mendekati dari Tabel 9 Kern, didapat Heater dengan spesifikasi:

Heat Exchanger Tipe: 1-2 Shell and Tube HE

- Diameter dalam shell (ID): 17¼ in
- Baffle spacing : 16 in
- Diameter luar tube (OD) : 1 in, 16 BWG
- Panjang tube : 8 ft
- Pitch : 3/4 in triangular pitch
- Jumlah tube : 32
- Passes : 1 pass

Check harga A dan U_D :

$$A = Lt \times a''t \times Nt = 10 \times 0,2618 \times 32 = 83,776 \text{ ft}^2$$

$$U_D = Q / (A \cdot \Delta T_{LMTD})$$

$$= (545528,595) / (83,776 \times 53,5) = 131,7150 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Perpindahan Panas :

Fluida panas: Bagian Shell

Fluida dingin: Bagian Tube

Luas Perpindahan Panas

$$a_s = ID \times C'B/144 \text{ PT}$$

$$= 17\frac{1}{4} \times 0,1875 \times 16/144 .1$$

$$= 0,3593 \text{ ft}^2$$

$$a'_t = 0,2361 \text{ in}^2 \text{ (Tabel 10)}$$

$$a_t = N_t . a'_t / 144 \text{ n}$$

$$= 32 . 0,2361 / 144 . 1$$

$$= 0,0524 \text{ ft}^2$$

Loading

$$G_s = W/a_s$$

$$= 9140,1213 / 0,3593$$

$$= 25438,6902 \text{ lb/jam. ft}^2$$

$$G_t = w/a_t$$

$$= 256822,2032 / 0,0524$$

$$= 4901187,08 \text{ lb/jam. ft}^2$$

$$G'' = \frac{W}{L.N_t^{2/3}}$$

$$= \frac{9140,1213}{10 \times 32^{2/3}} = 90,6814$$

$$V = G_t / (3600\rho)$$

$$= 4901187,08 / (3600 \times 62,5)$$

$$= 21,783$$

$$T \text{ rata-rata} = 67,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (153,5 } ^\circ\text{F)}$$

$$\mu_{\text{etil asetat}} = 0,0109 \text{ cp}$$

$$\mu_{\text{etanol}} = 0,0101 \text{ cp}$$

$$\mu_1 = 0,0108 \text{ cp} = 0,0261 \text{ lb/ft h}$$

$$k_{\text{etil asetat}} = 0,0191 \text{ W/m K}$$

$$k_{\text{etanol}} = 0,0134 \text{ W/m K}$$

$$k_1 = 0,0189 \text{ W/m K} = 0,0109 \text{ Btu/h ft } ^\circ\text{F}$$

Bilangan Reynold

$$\mu = 0,0261 \text{ lbm/ft.jam}$$

$$D = 0,902/12 = 0,0751 \text{ ft (tbl. 10)}$$

$$N_{\text{Ret}} = D.G_t/\mu$$

$$= \frac{0,0751 \times 4901187,08}{0,0261}$$

$$= 1410264,918$$

Faktor Heat Transfer (jH), hi, dan hio

$$\text{Asumsi } h_o = 250$$

$$h_i = 500 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F (fig. 25)}$$

$$t_w = t_a + \frac{h_o}{h_o + h_{io}} (T_v - t_a)$$

$$h_{io} = h_i \frac{ID}{OD}$$

$$t_w = 153,5 + \frac{250}{250 + 451} (185 - 153,5)$$

$$= 500 \frac{0,902}{1}$$

$$= 164,734 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$= 451 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F}$$

$$t_f = (T_v + t_w) / 2 = 174,867 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$k_f = 0,0109 \quad [15]$$

$$s_f = 0,89 \quad [15]$$

$$\mu_f = 0,0108 \text{ cp} \quad [15]$$

dari fig 12.9 didapat

$$h = h_o = 250 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{451 \times 250}{451 + 250} = 160,8416 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R_D = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D} = \frac{160,8416 - 131,7150}{160,8416 \times 131,7150} = 0,0013 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$$

Pressure Drop :

Pada $T_v = 185 ^\circ\text{F}$

untuk $N_{re} = 1410264,918$

$$\mu_v = 0,0261 \text{ lbm/ft.jam} \quad [15] \quad f = 0,0001 \quad (\text{fig.26})$$

$$D_e = 0,52 / 12 = 0,0433 \text{ ft} \quad (\text{fig.28})$$

$$N_{Re}t = D_e \cdot G_s / \mu_v \quad \Delta P_t = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot L_n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_s} \quad (\text{Pers 7.45})$$

$$= \frac{0,043 \times 25438,6902}{0,0261} = 0,047 \text{ psi}$$

$$= \frac{0,0001 \times 4901187,08^2 \times 10 \times 2}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0517 \times 1}$$

$$= 41910,4857$$

$$f = 0,001 \quad (\text{fig 29})$$

$$(V^2/2g) = 0,5 \quad (\text{fig. 27})$$

$$\text{no.of croses, } N+1 = 12 \frac{L}{B} = 6$$

$$\Delta P_\tau = (4n/s)(V^2/2g) \quad (\text{Pers 7.46})$$

$$s = \rho / 62,5 = 0,0032$$

$$= (4 \times 2 / 1)(0,5) = 4 \text{ psi}$$

$$D_s = 17\frac{1}{4} / 12 = 4,3125 \text{ ft}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_\tau$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s} \quad (\text{Pers 12.47}) = 0,047 + 4 = 4,047 \text{ psi}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{0,001 \times 25438,6902^2 \times 1,43 \times 6}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0433 \times 0,0032}$$

$$= 0,3838 \text{ psi}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Condensor I (E311)
Jenis alat : 1-2 Shell and Tube HE
Diameter dalam shell (ID): 17¼ in
Baffle spacing : 16 in
Diameter luar tube (OD) : 1 in, 16 BWG
Pitch : ¾ in triangular pitch
Jumlah tube : 32
Passes : 1 pass

Pipa yang digunakan:

- Panjang pipa (L) : 10 ft
- OD : 1 in
- BWG : 18
- ID : 1,4 in

Bahan konstruksi : Stainless steel

Jumlah : 1 buah

Waktu operasi : 1 jam

35. Condenser II (E-351)

Fungsi : Mengkondensasikan uap etanol dan etil asetat dari evaporator 2

Tipe : Shell and Tube Heat Exchanger

Dasar pemilihan : Cocok untuk luas perpindahan panas yang besar

Waktu operasi : 1 jam/batch

Banyak batch : 3 batch

Bahan masuk: Uap etanol = 2434,611 kg/batch = 17145,1478 lbm/jam

Uap etil asetat = 93344,26 kg/batch = 657353,9437 lbm/jam

Dari Neraca Panas:

Panas entalphy (Q) = 5.685.628,16 kJ/hari = 1895209,387 kJ/batch
= 1797416,586 Btu/jam

Kebutuhan air = 448657,8004 kg/batch = 1053187,325 lbm/jam

Fluida Panas		Fluida Dingin	Beda Suhu
185 °F	Suhu Tinggi	122 °F	63 °F
131 °F	Suhu Rendah	86 °F	45 °F
54 °F	Beda Suhu	36 °F	18 °F

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)} = \frac{63 - 45}{\ln(63 / 45)} = 53,4965^{\circ}\text{F}$$

$$t_a = (122+86)/2 = 104^{\circ}\text{F}$$

$$T_v = (185+131)/2 = 158^{\circ}\text{F}$$

Fluida panas dialirkan di dalam shell; fluida dingin di dalam tube

Untuk sistem Light organic- water; $U_D = 75\text{-}150 \text{ Btu/h ft}^2\text{F}$ (Tabel 8 [14])

Trial: U_D pada $150 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{F}$

Pipa yang digunakan:

- Panjang pipa (L) : 10 ft
- OD : 1 in
- BWG : 18
- ID : 1,4 in

Dari Tabel 10 Kern didapat harga a'' t (outside surface per lin ft) = 0,2618 ft²

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T_{LMTD}} = \frac{1797416,586 \text{ Btu} / \text{jam}}{150 (\text{Btu} / \text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times 53,5^\circ\text{F}} = 223,9771 \text{ ft}^2$$

$$\text{Jumlah Tube (Nt)} = \frac{A}{L_t \times a''_t} = \frac{223,9771}{10 \times 0,2618} = 85,5527$$

Diambil jumlah tube yang mendekati dari Tabel 9 Kern, didapat Heater dengan spesifikasi:

Heat Exchanger Tipe: 1-2 Shell and Tube HE

- Diameter dalam shell (ID): 17¼ in
- Baffle spacing : 16 in
- Diameter luar tube (OD) : 1 in, 16 BWG
- Panjang tube : 8 ft
- Pitch : 1 in triangular pitch
- Jumlah tube : 92
- Passes : 2 pass

Check harga A dan U_D :

$$A = L_t \times a''_t \times N_t = 10 \times 0,2618 \times 92 = 240,856 \text{ ft}^2$$

$$U_D = Q / (A \cdot \Delta T_{LMTD})$$

$$= (1797416,586) / (240,856 \times 53,5) = 139,488 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Perpindahan Panas :

Fluida panas: Bagian Shell

Fluida dingin: Bagian Tube

Luas Perpindahan Panas

$$a_s = ID \times C'B/144 \text{ PT}$$

$$a'_t = 0,2361 \text{ in}^2 \text{ (Tabel 10)}$$

$$= 17\frac{1}{4} \times 0,1875 \times 16/144 \cdot 1$$

$$a_t = N_t \cdot a'_t / 144 \text{ n}$$

$$= 0,3593 \text{ ft}^2$$

$$= 92 \cdot 0,2361 / 144 \cdot 2$$

$$= 0,0754 \text{ ft}^2$$

Loading

$$G_s = W/a_s$$

$$= 95778,871 / 0,3593$$

$$= 126802,154 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$G_t = w/a_t$$

$$= 448657,8004 / 0,0754$$

$$= 5950368,706 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$G'' = \frac{W}{L.N_i^{2/3}}$$

$$= \frac{95778,871}{10 \times 92^{2/3}} = 469,978$$

$$V = G_t / (3600\rho)$$

$$= 5950368,706 / (3600 \times 62,5)$$

$$= 26,4460$$

$$T \text{ rata-rata} = 67,5^\circ\text{C} (153,5^\circ\text{F})$$

$$\mu_{\text{etil asetat}} = 0,0109 \text{ cp}$$

$$\mu_{\text{etanol}} = 0,0101 \text{ cp}$$

$$\mu_l = 0,0108 \text{ cp} = 0,0261 \text{ lb/ft h}$$

$$k_{\text{etil asetat}} = 0,0191 \text{ W/m K}$$

$$k_{\text{etanol}} = 0,0134 \text{ W/m K}$$

$$k_l = 0,0189 \text{ W/m K} = 0,0109 \text{ Btu/h ft }^\circ\text{F}$$

Bilangan Reynold

$$\mu = 0,0261 \text{ lbm/ft.jam}$$

$$D = 0,902/12 = 0,0751 \text{ ft} \quad (\text{tbl. 10})$$

$$N_{\text{Ret}} = D.G_t/\mu$$

$$= \frac{0,0751 \times 5950368,706}{0,0261}$$

$$= 1712155,9$$

Faktor Heat Transfer (jH), hi, dan hio

$$\text{Asumsi } h_o = 250$$

$$h_i = 600 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F} \quad (\text{fig. 25})$$

$$t_w = t_a + \frac{h_o}{h_o + h_{io}}(T_v - t_a)$$

$$h_{io} = h_i \frac{ID}{OD}$$

$$t_w = 153,5 + \frac{250}{250 + 496}(185 - 153,5) = 600 \frac{0,902}{1}$$

$$= 164,0563 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$= 541,2 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F}$$

$$t_f = (T_v + t_w) / 2 = 174,528 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$k_f = 0,0109 \quad [15]$$

$$s_f = 0,89 \quad [15]$$

$$\mu_f = 0,0108 \text{ cp} \quad [15]$$

dari fig 12.9 didapat

$$h = h_o = 250 \text{ Btu/jam ft}^{2\circ}\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{541,2 \times 250}{541,2 + 250} = 171,006 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$$

$$R_D = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} = \frac{171,006 - 136,52}{171,006 \times 136,52} = 0,0014 \text{ jam.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F/Btu}$$

Pressure Drop :

$$\text{Pada } T_v = 185 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{untuk } N_{re} = 616187,1571$$

$$\mu_v = 0,0261 \text{ lbm/ft.jam} \quad [15] \quad f = 0,0001 \quad (\text{fig.26})$$

$$D_e = 0,72 / 12 = 0,06 \text{ ft} \quad (\text{fig.28})$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{Re}t} &= D_e \cdot G_s / \mu_v & \Delta P_t &= \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_s} \text{ (Pers 7.45)} \\
 &= \frac{0,06 \times 126802,154}{0,0261} & &= 3,3925 \text{ psi} \\
 &= \frac{0,0001 \times 2139576,692^2 \times 10 \times 2}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0517 \times 1} \\
 &= 291729,0897 \\
 f &= 0,001 \text{ (fig 29)} & (V^2/2g) &= 0,5 \text{ (fig. 27)} \\
 \text{no.of croses, } N+1 &= 12 \frac{L}{B} = 6 & \Delta P_t &= (4n/s)(V^2/2g) \text{ (Pers 7.46)} \\
 s &= \rho / 62,5 = 0,0032 & &= (4 \times 2 / 1)(0,5) = 4 \text{ psi} \\
 D_s &= 21\frac{1}{4} / 12 = 1,77 \text{ ft} & \Delta P_T &= \Delta P_t + \Delta P_s \\
 \Delta P_s &= \frac{1}{2} \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_o \cdot s} \text{ (Pers 12.47)} & &= 3,3925 + 4 = 7,3925 \text{ psi} \\
 &= \frac{1}{2} \frac{0,001 \times 126802,154^2 \times 1,77 \times 6}{5,22 \cdot 10^{10} \times 0,0517 \times 0,0032} \\
 &= 9,8 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Condensor II (E-351)
 Jenis alat : 1-2 Shell and Tube HE
 Diameter dalam shell (ID): 17¼ in
 Baffle spacing : 16 in
 Diameter luar tube (OD) : 1 in, 16 BWG
 Pitch : 1 ¼ in triangular pitch

Jumlah tube : 92

Passes : 2 pass

Pipa yang digunakan:

○ Panjang pipa (L) : 10 ft

○ OD : 1 in

○ BWG : 18

○ ID : 1,4 in

Bahan kontruksi : Stainless steel

Jumlah : 1 buah

Waktu operasi : 3 jam

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

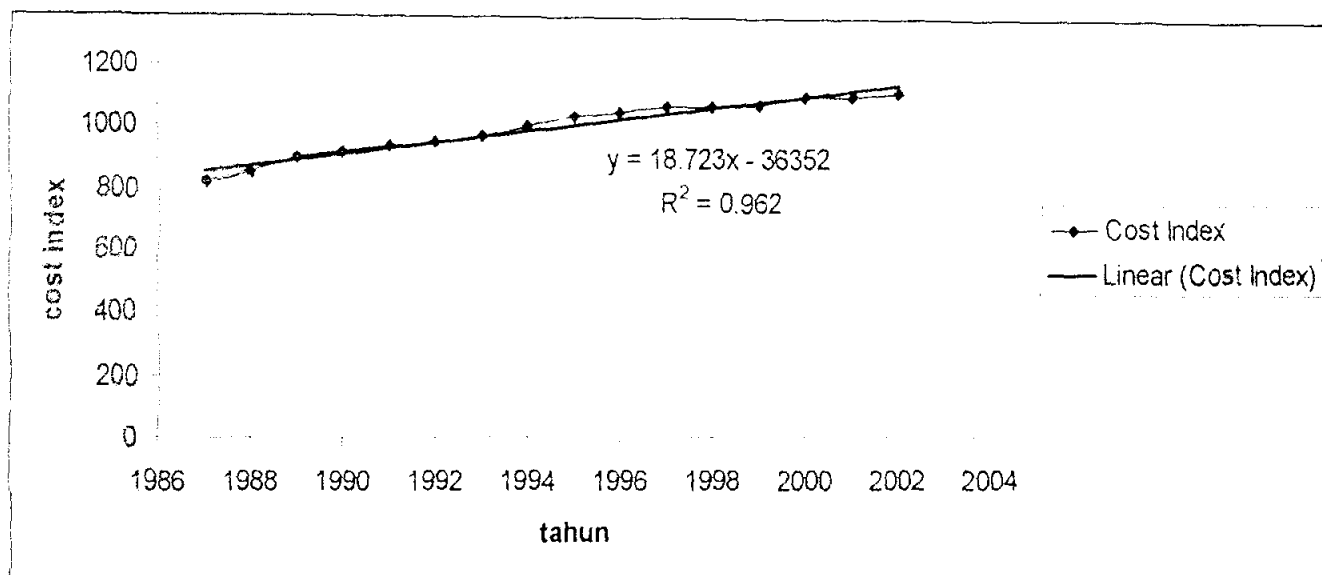
Harga peralatan sering mengalami perubahan karena kondisi ekonomi. Oleh karena itu, untuk memperkirakan harga peralatan sekarang diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sebelumnya menjadi harga sekarang. Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode *Cost Index* yang dihitung dengan persamaan :

$$\text{Harga alat tahun 2008} = \frac{\text{Cost index tahun 2008}}{\text{Cost index pada tahun A}} \cdot \text{Harga alat pada tahun A}$$

Pada perencanaan pabrik Kopi Instant Low Kafein ini, harga peralatan yang digunakan didasarkan pada harga alat yang terdapat pada pustaka Peters & Timmerhauss dan www.matche.com.

D.1. Perhitungan Harga Peralatan

Cost index yang digunakan adalah dari *Marshall & Swift Cost Index*. Diperkirakan pabrik Kopi Instant Low Kafein didirikan tahun 2007, sehingga dengan extrapolasi dari linierisasi data-data tahun sebelumnya didapatkan :



Gambar D.1 Grafik hubungan *cost index* vs tahun

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2002 = 1102,5

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2003 = 1150,169

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2008 = 1243,784

Contoh perhitungan :

Nama alat : Tangki *Leaching*

Kapasitas : 1759,933501 ft³

Bahan konstruksi : *Stainless steel*

Harga Tahun 2003 : \$ 147440

$$\text{Harga Tahun 2008} = \frac{1243,784}{1150,169} \times \$ 147440 = \$ 159440,4935$$

Dengan cara yang sama, harga peralatan disajikan pada Tabel D.1 dan D.2 untuk alat-alat proses dan Tabel D.3 untuk alat - alat utilitas.

Tabel D.1. Harga Alat Proses dari www.matche.com

Code	Nama Alat	Jumlah	Harga 2003 (US\$)	Harga 2008 (US\$)	Harga total (US\$)
20	Screen pada soaking drum (I)	1	5000	5406,9619	5406,9619
20	Screen pada soaking drum (II)	1	6280	6791,1442	6791,1442
21	Belt conveyor menuju roaster	1	1520	1643,7164	1643,7164
30	Roaster (Rotary dryer)	1	136920	148064,2456	148064,2456
31	Screw conveyor menuju hammer mill	1	1840	1989,7620	1989,7620
41	Screw conveyor menuju ke tangki leaching	1	1200	1297,6709	1297,6709
110	Tangki leaching	2	147440	159440,4935	318880,987
130	Tangki ekstraktor	4	154640	167226,5187	668906,0747
140	Decanter I	1	4240	4585,1037	4585,1037
310	Evaporator I	1	63700	68884,6950	68884,6950
350	Evaporator II	1	32300	34928,9741	34928,9741
320	Decanter II	1	2600	2811,6202	2811,6202
332	Screw conveyor menuju ke packing	1	1080	1167,9038	1167,9038
	TOTAL				1.265.358,8595

Tabel D.2 Harga Alat Proses dari Peter&Timmerhaus

Code	Nama Alat	Jumlah	Harga 2002 (US\$)	Harga 2008 (US\$)	Harga total (US\$)
140	Hammer mill	1	50000	56407,4376	56407,4376
211	Pompa menuju ke plate and frame filter press	1	17280	19494,4104	19494,4104
220	Plate and frame filter press	1	1320	1489,1564	1489,1564
222	Pompa menuju ke tangki ekstraktor	1	2880	3249,0684	3249,0684
231	Pompa menuju ke decanter I	1	2560	2888,0608	2888,0608

Pompa menuju ke <i>evaporator</i> I	1	2720	3068,5646	3068,5646
Pompa menuju ke tangki penampung etil	1	2160	2436,8013	2436,8013
<i>Condenser</i> II	1	3600	4061,3355	4061,3355
Pompa menuju ke <i>spray dryer</i> I	1	2400	2707,5570	2707,5570
<i>Spray dryer</i> I	1	700000	789704,1270	789704,1270
Tangki penampung kopi instan low kafein	1	20000	22562,9751	22562,9751
<i>Condenser</i> I	1	3600	4061,3355	4061,3355
Tangki larutan etil asetat-etanol	4	32800	37003,2791	148013,1164
Pompa menuju ke <i>evaporator</i> II	1	2640	2978,3127	2978,3127
Pompa menuju ke <i>spray dryer</i> II	1	1200	1353,7785	1353,7785
<i>Spray dryer</i> II	1	290000	327163,1383	327163,1383
Pompa dari tangki etil menuju ke ekstraktor	1	1680	1895,2899	1895,2899
TOTAL				1.399.220,3352

Tabel D.3 Harga Alat Utilitas

Code	Nama Alat	Jumlah	Harga 2002 (US\$)	Harga 2008 (US\$)	Harga total
-111	Pompa air sumur	1	1160	1308,6526	1308,6526
-113	Pompa ke <i>sand filter</i>	1	800	902,5190	902,5190
-120	<i>Sand filter</i>	1	17200	19404,1585	19404,1585
-121	Pompa ke <i>ion exchanger</i>	1	1160	1308,6526	1308,6526
-130	<i>Ion exchanger</i>	1	13200	14891,5635	14891,5635
-131	Pompa ke bak penampung	1	800	902,5190	902,5190
-133	Pompa ke bak air <i>boiler</i> dan air evaporasi	1	720	812,2671	812,2671
-140	<i>Boiler</i>	1	60000	67688,9252	67688,9252
-210	<i>Heat Exchanger</i>	1	50000	56407,4376	56407,4376
-211	<i>Air blower</i>	1	36000	40613,3551	40613,3551
-212	<i>Filter</i>	1	26000	29331,8676	29331,8676
TOTAL					233.571,9178

Asumsi : 1 US \$ = Rp 9.200

Jadi : Total harga alat = biaya alat proses + biaya alat utilitas

$$= \$ (1.265.358,8595 + 1.399.220,3352) : 233.571,9178$$

$$= US 2.898.151,1125 = Rp 26.662.990.234,7448$$

D.2. Perhitungan Harga Bahan Baku

Contoh perhitungan :

Biji kopi diperoleh dari petani di Lampung dengan harga = Rp 5860/kg. Dalam 1 hari dibutuhkan 37,5 ton/hari kopi.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan biji kopi setahun} &= 37,5 \text{ ton/hari} \cdot 1000 \text{ kg/1 ton} \\ &= 37500 \text{ kg/hari} \cdot 330 \text{ hari/ tahun} \\ &= 12.375.000 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\text{Jadi : harga beli} = \text{Rp } 5860/\text{kg} \times 12.375.000 \text{ kg/tahun} = \text{Rp } 72.517.500.000$$

$$\text{Ongkos kirim} = 3.800.000/\text{hari} \times 330 \text{ hari} = \text{Rp. } 1.254.000.000$$

Dengan cara yang sama, maka diketahui harga bahan baku seperti terlihat pada

Tabel D.4.

Tabel D.4 Harga Bahan Baku

Bahan	Rp/kg	kg/hari	kg/thn	Harga/thn (Rp)
Kopi	5860	37500	12.375.000	72.517.500.000
Ongkos kirim	-	-	-	1.254.000.000
Etil asetat (start up)	24500	101665,0596	101665,0596	2.490.793.960
Etil asetat (make up)	24500	2309,998715	762299,576	18.676.339.610
TOTAL				94.938.633.570

D.3. Perhitungan Harga Utilitas

Perhitungan harga utilitas terdiri dari biaya zeolit, NaCl untuk regenerasi, harga bahan baker, dan harga listrik. Contoh perhitungan biaya listrik diambil dari Bab VI (utilitas) diketahui bahwa lumen output dari pos satpam adalah 5379,2 lumen. Efficacy dari lampu Fluorescent adalah 85 lumen/watt. Sehingga,

$$\text{power} = \frac{5379,2 \text{ lumen}}{85 \text{ lumen/watt}} = 63,28470588 \text{ W} = 0,0633 \text{ kW}$$

jam 17.00-22.00 adalah Rp 880/kWh. Lampu di pos satpam menyala selama 12 jam/hari, yaitu dari jam 17.00 – 05.00 maka biaya listrik dihitung sebagai berikut:

a. Pada waktu beban puncak (17.00-22.00)

$$\text{kWh} = 5 \text{ jam} \times 0,0633 \text{ kW} = 0,3164 \text{ kWh}$$

$$\text{Harga listrik WBP} = 0,3164 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 880,00/\text{kWh} = \text{Rp. } 278,4527/\text{hari}$$

b. Pada waktu beban diluar puncak

$$\text{kWh} = 7 \text{ jam} \times 0,0633 \text{ kW} = 0,4430 \text{ kWh}$$

$$\text{Harga listrik LWBP} = \text{Rp } 440/\text{kWh} \times 0,4430 \text{ kWh} = \text{Rp } 194,9169/\text{hari}$$

Dengan cara yang sama, biaya listrik dihitung sebagai berikut :

Tabel D.5 Biaya Listrik dari Lampu

Ruang	Lumen Output	Efficacy	Waktu	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP	LWBP
Pos satpam	5379,2	85	12	0,0633	0,3164	0,4430	278,4527	194,9169
aman	12103,2	40	12	0,3026	1,5129	2,1181	1331,3520	931,9464
timbangan	4034,400	40	24	0,1009	0,5043	1,9163	443,7840	843,1896
Kantor	145238,4	85	12	1,7087	8,5434	11,9608	7518,2231	5262,7561
empat parkir	43033,6	40	12	1,0758	5,3792	7,5309	4733,6960	3313,5872
Area proses	134480	40	24	3,3620	16,8100	63,8780	14792,8000	28106,3200
Kantin	5379,2	85	12	0,0633	0,3164	0,4430	278,4527	194,9169
Gudang penyimpanan produk	21516,8	40	24	0,5379	2,6896	10,2205	2366,8480	4497,0112
empat ibadah	10758,4	85	12	0,1266	0,6328	0,8860	556,9054	389,8338
toilet + kamar mandi	5379,2	85	12	0,0633	0,3164	0,4430	278,4527	194,9169
Poliklinik	8068,8	85	12	0,0949	0,4746	0,6645	417,6791	292,3753
Bengkel	8068,8	85	12	0,0949	0,4746	0,6645	417,6791	292,3753
Laboratorium	16137,6	85	12	0,1899	0,9493	1,3290	835,3581	584,7507
Ruang kontrol	10758,4	85	24	0,1266	0,6328	2,4048	556,9054	1058,1203
pare part area	5379,2	85	12	0,0633	0,3164	0,4430	278,4527	194,9169
Gudang bahan baku	12103,2	40	24	0,3026	1,5129	5,7490	1331,3520	2529,5688
<i>folding & packing</i>	43033,6	40	24	1,0758	5,3792	20,4410	4733,6960	8994,0224
Area perluasan	30984,1	40	12	0,7746	3,8730	5,4222	3408,2510	2385,7757
utilitas	28240,8	40	24	0,7060	3,5301	13,4144	3106,4880	5902,3272
Generator	5379,2	85	12	0,0633	0,3164	0,4430	278,4527	194,9169
TOTAL							47943,2806	66358,5445

Tabel D.6 Biaya Listrik dari Alat

Alat	hp	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP	LWBP
Proses	215,85	160,4001	651,7791	1338,7925	573565,5948	589068,6978
Utilitas	4	2,9828	14,9140	56,6732	13124,3200	24936,2080
TOTAL					586689,9148	614004,9058

Total biaya listrik = (Listrik alat x 330 hari) + (listrik semua lampu x 330 hari)

+ (lampu tertentu x 35 hari) - (listrik mati / biaya BBM

generator)

$$\begin{aligned}
 &= (396.229.290,8) + (37.719.602,28) + (629.933,0345) - \\
 &\quad (10.306.128) \\
 &= \text{Rp } 424.272.698,1
 \end{aligned}$$

Tabel D.7. Biaya Utilitas

Biaya	Kg/thn atau L/thn	Rp/kg atau Rp/L	Harga/thn (Rp)
U/ regenerasi			
Pasir Silika	1.862,930165	30.000	55.887.904,96
Zeolit	15.859,27666	25.000	396.481.916,5
NaCl	3.237,174314	5.000	16.185.871,57
Bahan Bakar			
Batu bara	409.048,2	413,6	169.182.335,5
Minyak diesel	1989,6	5180	10.306.128
Listrik			424.272.698,1
TOTAL			1.072.316.855

D.4. Perhitungan Harga Bahan Kemasan

Produk kopi instan rendah kafein dikemas dalam bentuk sachet (50 gr) dan botol kaca (100 gr). Kemasan sachet terdiri dari PES/aluminium foil/PE

Tabel D.8 Harga Bahan Kemasan

Jenis Kemasan	Berat (gr)	Rp per kemasan	Jumlah kemasan per tahun	Harga kemasan per tahun
sachet + labeling	50	325	83.013.084	26.979.252.300
Botol kaca	100	2700	17.788.518	48.028.998.600
1 kardus berisi 120 sachet @ 50 gr		1750	691.775,7	1.210.607.475
TOTAL				76.218.858.380

D.5. Perhitungan Harga Jual Produk

Produk kopi instan rendah kafein yang dihasilkan adalah 5989,4 kg/batch sehingga dalam waktu 1 tahun, produk yang dihasilkan adalah

= 5989,4 $\frac{kg}{batch}$ $\times$ 3 $\frac{batch}{hari}$ $\times$ 330 $\frac{hari}{tahun}$ $\times$ 1000 $\frac{gr}{kg}$ = 5.929.506.000 gr/thn

Produk kopi instan rendah kafein dikemas dalam bentuk sachet dan botol kaca. Ditetapkan :

- 70% dalam kemasan sachet (42 gr) sehingga jumlah kemasan produk :

Kemasan sachet = $\frac{5.929.506.000 \text{ gr / thn} \times 70\%}{50 \text{ gr}}$ = 83.013.084 sachet/thn

- 30% dalam kemasan botol kaca (100 gr) sehingga jumlah kemasan produk :

Kemasan botol = $\frac{5.929.506.000 \text{ gr / thn} \times 30\%}{100 \text{ gr}}$ = 17.788.518 botol/thn

Selain itu, hasil samping dari pabrik kopi instan rendah kafein adalah kafein dan cake. Kafein dapat dijual ke industri farmasi dan cake dapat dijual pupuk.

Tabel D.9. Harga Jual Produk

Produk	Kemasan	Kapasitas	Rp/kemasan	Pendptn/ thn (Rp)
Kopi (sachet)	50 gr	83.013.084	5.500	456.571.962.000
Kopi (botol kaca)	100 gr	17.788.518	10.000	177.885.180.000
Cake	Per kg	6.197.448,141	500	3.098.724.071
Kafein	Per kg	620.935,278	20000	12.418.705.560
TOTAL				649.974.571.600

D.6. Perhitungan Gaji Karyawan

Jumlah karyawan di pabrik Kopi Instan Rendah Kafein adalah 102 orang yang terdiri dari :

1. Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah karyawan di bidang keuangan, personalia, pemasaran, dan pegawai *cleaning service* dengan jam kerja Senin-Jumat pukul 08.00-17.00.

2. Karyawan shift

Karyawan yang bekerja shift terdiri dari pegawai kesehatan, pegawai bagian bengkel, bagian *Quality Control*, bagian produksi, bagian utilitas, satpam, pegawai gudang bahan baku, dan pegawai gudang bahan jadi. Untuk karyawan proses dan pengemasan, pergantian yang diterapkan adalah :

Shift 1 : 07.00 – 15.00

Shift 2 : 15.00 – 23.00

Shift 3 : 23.00 – 07.00

Sedangkan untuk karyawan bagian keamanan, pergantian yang diterapkan adalah sebagai berikut : Shift 1 : 06.00 – 14.00

Shift 2 : 14.00 – 22.00

Shift 3 : 22.00 – 06.00

Pergantian shift dilakukan setiap dua hari sekali seperti terlihat pada tabel D.10.

Tabel D.10. Shift Pergantian Kerja

Shift \ Hari ke	1	2	3	4	5	6	7	8
1	P	P	S	S	M	M	L	L
2	S	S	M	M	L	L	P	P
3	M	M	L	L	P	P	S	S

Keterangan : P = pagi, S = siang, M = malam, L = libur.

Gaji dari masing-masing pegawai dapat dilihat pada tabel D.11.

Tabel D.11. Gaji Karyawan Keseluruhan

Jabatan	Jumlah (orang)	Gaji/bln (Rp)	Total Gaji/bln (Rp)
Direktur Utama	1	15000000	15.000.000
Sekretaris Direksi	1	1500000	1.500.000
Direktur Manufaktur	1	5000000	5.000.000
Direktur Produksi	1	5000000	5.000.000
Direktur Keuangan & Administrasi	1	5000000	5.000.000
Sekretaris	3	1500000	4.500.000
Manajer Teknik	1	2500000	2.500.000
Manajer Produksi	1	2500000	2.500.000
Manajer Administrasi	1	2500000	2.500.000
Kepala Produksi	1	2000000	2.000.000
Karyawan Proses	30	1200000	36.000.000
Staff Gudang Bahan Baku	2	800000	1.600.000
Karyawan Gudang Bahan Baku	9	700000	6.300.000
Staff Gudang Bahan Jadi	2	800000	1.600.000
Karyawan Gudang Bahan Jadi	9	700000	6.300.000
Karyawan QC & QA	9	1000000	9.000.000
Karyawan Pemasaran (Promosi)	3	700000	2.100.000
Staff Pembelian	2	800000	1.600.000
Staff Keuangan	2	800000	1.600.000
Personalia	3	800000	2.400.000
Kepala Keamanan	1	800000	800.000
Satpam	6	700000	4.200.000
Tim Kesehatan	2	400000	800.000
Cleaning Service	10	600000	6.000.000
Sopir + Kernet	10	900000	9.000.000
TOTAL	102		134.800.000

Gaji karyawan dalam 1 tahun dihitung sebanyak 13 bulan gaji (1 bulan gaji digunakan untuk tunjangan hari raya karyawan).

$$\begin{aligned}\text{Gaji karyawan dalam 1 tahun} &= \text{Rp } 134.800.000 \times 13 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 1.752.400.000\end{aligned}$$

D.7. Perhitungan Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah	= 8.075 m ²
Luas bangunan	= 3.518 m ²
Harga tanah per m ²	= Rp 300.000
Harga bangunan per m ²	= Rp 1.500.000
Harga tanah total	= Rp 2.422.500.000
Harga bangunan	= Rp 5.277.000.000
Total seluruh	= Rp 7.699.500.000

APPENDIX E
TUGAS KHUSUS
PERANCANGAN EVAPORATOR

APPENDIX E

TUGAS KHUSUS

PERANCANGAN EVAPORATOR

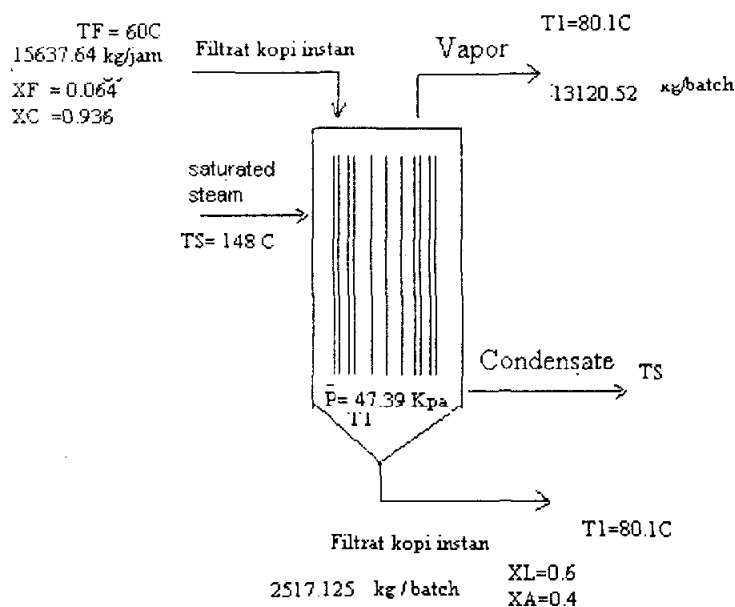
Untuk membuat kopi *instant low* kafein, sebelum menuju *spray dryer* larutan kopi instan low kafein diuapkan dengan menggunakan *evaporator*. *Evaporator* sendiri mempunyai berbagai macam jenis antara lain *horisontal evaporator*, *vertical evaporator*, *falling film evaporator* *forced-circulation evaporator* dan *agitated evaporator*. Pemilihan *evaporator* tergantung dari materi yang akan diuapkan, pada tabel E.1 dapat terlihat jenis *evaporator* dan kegunaannya.

Tabel E.1. Jenis evaporator dan penggunaannya

Jenis evaporator	Kegunaan
<i>Horisontal evaporator</i>	Bahan yang viskositasnya rendah, dan bahan yang tidak mudah berkerak.
<i>Vertical evaporator</i>	Bahan yang viskositasnya rendah, dengan luas perpindahan panas rendah misalnya Industri kaustik soda, gula, dan garam
<i>Falling film evaporator</i>	Bahan yang sensitif terhadap panas, misalnya jus buah-buahan
<i>Forced-circulation evaporator</i>	Larutan yang kental dan bahan yang mudah berkerak
<i>Agitated evaporator</i>	Bahan yang viskositasnya tinggi dan bahan yang “ <i>foaming liquid</i> ”

Dasar pemilihan :

Pada pabrik kopi instan low kafein ini, larutan kopi instan low kafein diuapkan dengan menggunakan vertical evaporator dengan jenis *short tube vertical evaporator* karena proses penguapan ini mempunyai luasan perpindahan panas yang kecil, yaitu 30 m^2 sampai 300 m^2 . Disamping itu larutan yang diuapkan mempunyai viskositas yang cukup rendah, yaitu : $0,33079 \text{ cp}$



Data dari neraca massa diperoleh :

Komponen masuk *evaporator*

Larutan kopi instant low kafein masuk *evaporator* sebanyak $15637,64 \text{ kg/jam}$ dengan massa komponen :

- Karbohidrat = $1005,53 \text{ kg/jam}$
- Kafein = $1,32 \text{ kg/jam}$
- Air = $12528,4 \text{ kg/jam}$
- Etil Asetat = $1551,58 \text{ kg/jam}$

$$\text{- Etanol} = 550,815 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa total} = 15637,64 \text{ kg/jam}$$

Fraksi massa kopi instan masuk evaporator :

$$= \frac{m. \text{ karbohidrat} + m. \text{ kafein}}{\text{total massa masuk evaporator}}$$

$$= \frac{1005,53 + 1,32}{15637,64} = 0,064$$

$$\text{Fraksi massa cairan} = 1 - 0,064 = 0,936$$

Komponen keluar *evaporator*

Komponen keluar *evaporator* berupa larutan kopi instan low kafein, uap air, etil asetat dan etanol. Kandungan air dalam larutan kopi instan low kafein adalah 60%.

Neraca massa :

$$F = L + V$$

Neraca komponen larutan kopi instan :

$$F \cdot XF = L \cdot XL + V \cdot XV$$

$$15637,64 \cdot 0,064 = L \cdot 0,4 + V \cdot 0$$

$$L = 2502,0224$$

$$V = F - L = 15637,64 - 2502,0224 = 13135,6176 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Larutan kopi instan keluar } \textit{evaporator} = 2502,0224 \text{ kg/jam}$$

Komponen keluar larutan kopi instan :

$$\text{- Karbohidrat} = 1005,53 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- Kafein} = 1,32 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- cairan} = 1495,1724 \text{ kg/jam}$$

Data dari neraca panas diperoleh :

Masuk evaporator dari App.B, didapatkan :

$$Q_{steam} = 31022406,05 \text{ kJ/jam} = 29403451,98 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Massa steam} = 14630,11875 \text{ kg/jam} = 32254,0593 \text{ lb/jam}$$

Keluar evaporator

- Mencari kenaikan titik didih

$$\Delta T_b = m \times K_b$$

X etanol dan X etil asetat kecil, maka K_b dapat didekati dengan menggunakan K_b air.

- Mencari molalitas

mol pada komponen larutan kopi instan low kafein :

$$\text{karbohidrat} = (1005,53 / 314) \times 1000 = 3202,3248 \text{ mol}$$

$$\text{kafein} = (1,32 / 194) \times 1000 = 6,8041 \text{ mol}$$

$$\text{Mol total} = 3209,1290 \text{ mol}$$

$$\text{Pelarut} = 14630,79 \text{ kg}$$

$$\text{Molalitas} = \frac{\text{mol total solute}}{1000 \text{ g pelarut}} = \frac{3209,129 \text{ mol}}{14630,79 \text{ kg} \cdot 1000} \times 1000 = 0,2193$$

$$\Delta T_b = m \times K_b$$

$$= 0,2 \times 0,52$$

$$= 0,1141 \approx 0,1$$

- Mencari tekanan evaporator

$$\text{Suhu keluar evaporator} = 80^\circ\text{C} + \text{kenaikan titik didih}$$

$$= 80^\circ\text{C} + 0,1 = 80,1^\circ\text{C}$$

Tekanan evaporator diperoleh dari Geankoplis, steam table A-2-9

P saat 80,1⁰C = 47,39 kPa

$$Steam\ economy = \frac{V}{S} = \frac{13135,6176kg / jam}{14630,11875kg / jam} = 0,9$$

(untuk range *steam economy* 0,9-0,95 → *single effect*) [10]

A. Menghitung Luas Permukaan Evaporator

$$U = 500\text{ Btu/jam ft}^2\text{ F} \qquad [10,table\ 9.31]$$

$$\Delta T = T_{steam}-T_1 = 298,4\text{ F} - 176,18\text{ F} = 122,22\text{ F}$$

$$Q = U.A.\Delta T$$

$$A = \frac{Q}{U.\Delta T} = \frac{29403451,98btu / jam}{500btu / jamft^2\text{ F}.122,22\text{ F}} = 481,1561ft^2 = 44,7019\text{ m}^2$$

Sesuai untuk spesifikasi *short tube*

B. Pengecekan Ud dan evaluasi *pressure drop*

(1) Panas yang ditransfer , Q = 31022406,05 kj/jam

= 29403451,98 btu/jam

(2) ΔT

Fluida panas		Fluida dingin	ΔT
298,4	Higher Temp. ⁰ F	176,18	122,22
298,4	Lower Temp. ⁰ F	140	158,4
0		36,18	36,18

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{122,22 - 158,4}{\ln\left(\frac{122,22}{158,4}\right)} = 139,529^{\circ}\text{ F}$$

$$(3) A = 481,1561 \text{ ft}^2$$

Dipilih pipa dengan ukuran :

$$OD = 1,5 \text{ in} = 0,125 \text{ ft}$$

1 7/8 in triangular pitch , 1 passes

Dipilih panjang tube = 8 ft

$$A = N_t \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

$$N_t = \frac{481,1561 \text{ ft}^2}{8 \text{ ft} \cdot \pi \cdot 0,125 \text{ ft}} = 153 \approx 160$$

Dari kern tabel 9 diperoleh ID = 29 in

Shell side	Tube side
ID = 29 in	Number; length = 160; 8ft
Baffle space = 12 in	OD; BWG; pitch = 1,5 in ; 8 ; 1 7/8 in triangular
Passes = 1	Passes = 1

(4) *Fluida panas : shell side, steam*

$$a_s = \frac{ID \cdot C' \cdot B}{144 \cdot P_t} = \frac{29 \cdot 0,375 \cdot 12}{144 \cdot 1,875} = 0,4833 \text{ ft}^2 \quad [14, p.138]$$

dimana : $C' = pt - OD$

$$= 1 \frac{7}{8} \text{ in} - 1,5 \text{ in} = 0,375 \text{ in}$$

$$B = \text{baffle space} = 12 \text{ in}$$

$$P_t = \text{pitch tube} = 1 \frac{7}{8} \text{ in} = 1,875 \text{ in}$$

(5) Massa steam = 14630,11875 kg/jam = 32254,0593 lb/jam

$$G_s = \frac{W}{a_s} = \frac{32254,0593 \text{ lb} / \text{j}}{0,4833 \text{ ft}^2} = 66732,5365 \text{ lb} / \text{jam ft}^2$$

(6) Pada $T_s = 298,4^\circ\text{F}$

$$\mu_{\text{steam}} = 0,0336 \text{ lb/jam ft}$$

$$De = 1,08 \text{ in} = 0,09 \text{ ft} \quad [14, \text{p.838}]$$

$$Re_s = \frac{De \cdot G_s}{\mu} = \frac{0,09 \text{ ft} \cdot 66732,5365 \text{ lb/jam} \cdot \text{ft}^2}{0,0336 \text{ lb/jam} \cdot \text{ft}} = 178747,8655$$

(7) untuk steam $h_o = 1500 \text{ Btu/jam ft}^\circ\text{F}$

fluida dingin : tube side , filtrat kopi instan low kafein

(4) Flow area , $a'_t = 1,075 \text{ in}^2$ [14, p.843]

$$a_t = \frac{N_t \cdot a'_t}{144 \cdot n} = \frac{160 \cdot 1,075}{144 \cdot 1} = 1,1944 \text{ ft}^2 \quad [14, \text{p.158}]$$

(5) Massa filtrat kopi masuk = $15637,64 \text{ kg/jam} = 34475,275 \text{ lbm/jam}$

$$G_t = \frac{W}{a_t} = \frac{34475,275 \text{ lb/jam}}{1,1944 \text{ ft}^2} = 28863,02095 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$V = G_t / (3600 \cdot \rho) = 28863,02095 / 3600 \cdot 50 = 0,1604 \text{ fps}$$

$$\mu = 0,247 \text{ cp} = 0,005928 \text{ lbm/ft} \cdot \text{jam}$$

$$D = 1,17 \text{ in} / 12 = 0,0975 \text{ ft} \quad [14, \text{p.843}]$$

$$Re_t = D \cdot G_t / \mu = 0,0975 \cdot 28863,02095 / 0,005928 = 474720,7394$$

(7) untuk ID = 1,17 in $\rightarrow f = 0,82$

$$T_a = (176,18 \text{ F} + 140 \text{ F}) / 2 = 158,09 \text{ F}$$

$$V = 0,1604 \text{ fps, didapatkan} \rightarrow h_i = 410 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F} \quad [14, \text{p.835}]$$

$$h_i = 410 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F} \cdot 0,82 = 336,2 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F}$$

(8) $h_{io} = h_i \cdot ID / OD = 336,2 \cdot 1,17 / 1,5 = 262,236 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}$

$$(9) U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{262,236 \cdot 1500}{262,236 + 1500} = 147,3236 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}$$

(10) R_d untuk filtrat kopi = R_d organik , diambil $R_d = 0,001 \text{ h.ft}^2 \text{ F/btu}$

[14,p.845]

$$(11) \quad \frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d = \frac{1}{147,3236} + 0,001 = 0,007788$$

$$= 128,4063 \text{ btu/jam.ft}^2\text{F}$$

Pengecekan Pressure Drop

Fluida panas : shell side , steam

Untuk $Re_s = 178747,8655 \rightarrow f = 0,0013 \text{ ft}^2/\text{in}^2$ [14,p.839]

Panjang pipa = 8 ft = 2,4384 m = 96,0010 in

(1) No. of crosses, $N + 1 = 12 \cdot L/B$ [14,p.147]

$$= 12 \cdot 96/12 \text{ in} = 96$$

$$D_s = 29/12 = 2,4167 \text{ ft}$$

Spesifik volume steam, $v = 6,6082 \text{ ft}^3/\text{lb}$ [14,p.816]

$$S = (1 / 6,6082) / 62,5 = 2,42 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s \cdot \Phi_s}$$

$$\Delta P_s = \frac{0,0013 \cdot 66732,5365^2 \cdot 2,4167 \cdot 96}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot 1,08 \cdot 1} = 0,0984 \text{ psi}$$

fluida dingin : tube side, filtrat kopi

(1) untuk $Re_t = 474720,7394$ didapatkan $f = 0,000085$ [14,p.836]

$$(2) \Delta P = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \Phi_s}$$

$$s = \rho/62,5 = 50/62,5 = 0,8$$

$$(3) \Delta P = \frac{0,000085 \cdot 28863,02095^2 \cdot 8,1}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 0,8 \cdot 1,17,1} = 1,1594 \cdot 10^{-5} \text{ psi}$$

$$(4) \Delta P_t = \frac{4n V^2}{s \cdot 2 \cdot g} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 0,16035^2}{0,8 \cdot 2 \cdot 32,17} = 0,001998 \text{ psi}$$

$$(5) \Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P$$

$$= 0,001998 \text{ psi} + 1,1594 \cdot 10^{-5} \text{ psi} = 0,00201 \text{ psi}$$

$$\Delta P \text{ total} = 0,00201 + 0,0984 = 0,1004 \text{ psi} < 10 \text{ psi} \rightarrow \text{memenuhi}$$

B. Menghitung Diameter dan Tinggi Evaporator

Bagian pemisahan liquid-uap (drum separator)

$$L = 2502,0224 \text{ kg/jam} = 5516,044 \text{ lb/jam} = 1,5322 \text{ lb/s}$$

$$V = 13135,6176 \text{ kg/jam} = 28959,23 \text{ lb/jam} = 8,0442 \text{ lb/s}$$

$$P \text{ uap} = 47,39 \text{ Kpa, dari [Geankoplis, tabel A-2-9] didapat :}$$

$$\text{Spesifik volume uap} = 3,407 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho_{\text{uap}} = 0,293 \text{ kg/m}^3 = 0,01829 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{filtrat kopi}} = 64 \text{ lb/ft}^3$$

$$\frac{w_L}{w_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = \frac{1,5322}{8,0442} \sqrt{\frac{0,01829}{64}} = 0,00322 \quad [34]$$

$$V_{\text{max}} = kv \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 0,35 \sqrt{\frac{64 - 0,01829}{0,01829}} = 20,7 \text{ ft/s}$$

$$V_{\text{design}} = 0,75 \cdot V_{\text{max}}$$

$$= 0,75 \cdot 20,7 \text{ ft/s} = 15,5249 \text{ ft/s}$$

$$qv = \frac{w_V}{\rho_V} = \frac{8,0442 \text{ lb/s}}{0,01829 \text{ lb/ft}^3} = 439,77 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{qv}{V_{design}} = \frac{439,77 \text{ ft}^3 / s}{15,5249 \text{ ft} / s} = 28,3270 \text{ ft}^2 = 2,6317 \text{ m}^2$$

$$A = \pi/4 \times D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 2,6317}{3,14}} = 1,8309 \text{ m}$$

$$\text{Rate liquida} = 15637,64 \text{ kg/jam} = 260,6273 \text{ kg/menit}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 20 \text{ menit}$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho} \times \text{waktu} = \frac{260,6273 \text{ kg / menit}}{1042 \text{ kg / m}^3} \times 20 \text{ menit} = 5,0024 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume liquid} = \pi/4 \cdot D^2 \cdot H_L$$

$$5,0024 \text{ m}^3 = \pi/4 \cdot 1,8309^2 \cdot H_L$$

$$H_L = 1,9008 \text{ m}$$

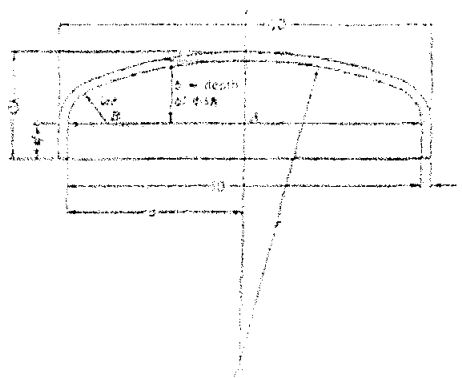
Dari tabel 4-11 Ludwig diperoleh tinggi ruang uap = 10 in

$$H_V = 10 \text{ in} = 0,27 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi drum separator} = H_V + H_L$$

$$= 0,27 \text{ m} + 1,9008 \text{ m} = 2,1708 \text{ m}$$

Perancangan Shell dan Tutup Evaporator



Tebal shell

$$P_{\text{operasi}} = \left(\frac{\rho H}{144} \right) \text{psi}$$

$$= \left(\frac{50 \text{ lb / ft}^3 \cdot 8 \text{ ft}}{144} \right) \text{psi} = 2,778 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 1,5 \cdot P_{\text{operasi}} = 1,5 \cdot 2,778 \text{ psi} = 4,1667 \text{ psi}$$

$$t_s = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot (f \cdot E - 0,6P)} + c \quad [27, \text{p.254}]$$

dimana :

$$P = P_{\text{design}} = 4,1667 \text{ psi}$$

$$ID = 1,8309 \text{ m} = 72,0861 \text{ in}$$

Konstruksi : bahan konstruksi = Stainless steel SA-240, grade S dengan

$$f = \text{stress maksimum yang diijinkan} = 75000 \text{ psi}$$

$$[27, \text{p.342}]$$

tipe sambungan = double-welded butt joint, dengan

$$E = \text{welded-joint efficiency} = 0,8$$

$$[27, \text{p.254}]$$

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$t_s = \frac{4,1667 \text{ psi} \cdot 72,0861 \text{ in}}{2(75000 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 4,1667) \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$= 0,1275 \text{ in} = 3/16 \text{ in}$$

Tebal dished head

$$t_s = 3/16 \text{ in}$$

$$OD = ID + 2 \cdot t_s$$

$$= 72,0861 \text{ in} + (2.3/16)$$

$$= 72.4611 \text{ in} = 1,8405 \text{ m}$$

Dari Brownell table 5.7, p.90 diperoleh :

OD standar = 78 in

r (crown radius/radius of dish) = 78 in

icr (inside corner radius/knuck radius) = $4 \frac{3}{4}$ in

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right) \quad [27, p.138]$$

$$= \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{78}{3/4}} \right) = 1 \frac{3}{4}$$

$$a = ID/2 = 72,0861/2 = 36,043 \text{ in}$$

$$AB = ID/2 - icr = (36,043 - 4 \frac{3}{4}) \text{ in} = 31 \frac{2}{7} \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 78 - 4 \frac{3}{4} = 73 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 78 - \sqrt{73,25^2 - 31 \frac{2}{7}^2} = 11 \frac{7}{9} \text{ in}$$

$$td = \frac{P.rc.W}{2.f.E - 0,2.P} + c \quad [27, p.138]$$

dimana :

$$P = P \text{ design} = 4,1667 \text{ psi}$$

Konstruksi : bahan konstruksi = Stainless steel SA-240, grade S dengan

stress maksimum yang diijinkan = 75000psi [27, p.342]

tipe sambungan = double-welded butt joint, dengan

$$E = \text{welded-joint efficiency} = 0,8 \quad [27, p.254]$$

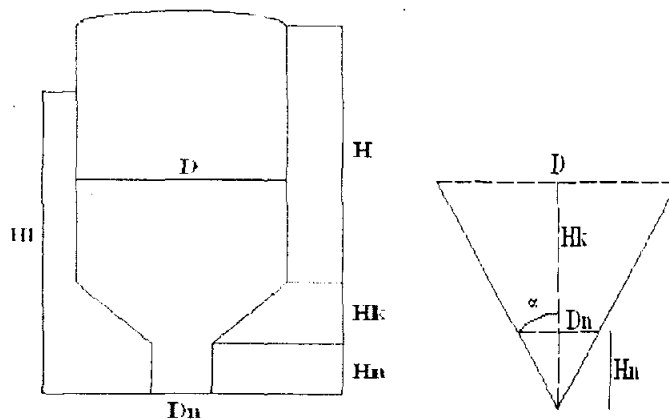
$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$

$$t_d = \frac{4,1667 \text{ psi} \cdot 78 \text{ in} \cdot 1,75}{2(75000 \text{ psi} \cdot 0,8) - (0,2 \cdot 4,1667)} + 1/8 \text{ in} = 0,129 \text{ in} = 3/16 \text{ in}$$

dipilih panjang *straight-flange* (sf) = 2 in [27,p.93]

$$\begin{aligned} \text{OA} &= t + b + \text{sf} \\ &= (3/16 + 11 \frac{7}{9} + 2) \text{ in} \\ &= 14 \text{ in} = 3/8 \text{ m} \end{aligned}$$

Perancangan Konis evaporator



Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi nozzle

Hl = tinggi liquid

Dn = diameter nozzle

$$H_n = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$= \frac{D_{\text{shell}} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

Diameter nozzle (D_n) = 8 inc $\approx$ 0,2032 m = 0,6667 ft [27, p. 96]

Ditetapkan : sudut konis = 120°

$$\alpha = 60^\circ$$

Tinggi shell = tinggi drum separator + tinggi tube

$$= 2,1708 \text{ m} + 2,438 \text{ m}$$

$$= 4,6088 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi konis (Hk)} &= \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{(1,8309 - 0,2032) \text{ m}}{2 \cdot \tan 60} = 0,4698 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal konis dihitung dengan ;:

$$t_k = \frac{P \times D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6P)} + c \quad [27, p.34]$$

dimana : t_k = tebal minimum konis, mm, in

P = internal design pressure, kPa, psi (gauge) = 4,1667 psi

α = sudut kemiringan konis

E = joint efficiency

c = corrosion allowance = 1/8 in

E = welded butt joint efficiency = 0,8

f = stress max yang diijinkan = 75000 psi

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } t_k &= \frac{4,1667 \text{ psi} \cdot 72,0861 \text{ in}}{2 \cdot \cos 60 (75000 \text{ psi} \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 4,1667)} + 1/8 \text{ in} \\ &= 0,1300 \text{ in} \\ &= 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Tinggi evaporator = tinggi drum separator + tinggi tube + tinggi dishead + tinggi konis

$$= 2,1708\text{m} + \left(\frac{8\text{ ft}}{3,2808} \right) \text{m} + 3/8 \text{ m} + 0,4698\text{m} = 5,454 \text{ m}$$

C. Perhitungan Tebal Isolasi

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} = \frac{80,1 + 30}{2} = 55,05^\circ\text{C} = 328 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{328} = 0,003048 / ^\circ\text{K}$$

$$N_{Gr} = \frac{H^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\mu^2}$$

$$= \frac{5,454^3 \cdot 1,0089^2 \cdot 9,8 \cdot 0,003048 \cdot 50,1}{(2,025 \cdot 10^{-5})^2} = 6,0265 \cdot 10^{11}$$

Dimana $\Delta T = T_w - T_b$

$$= 80,1 - 30 = 50,1^\circ\text{C}$$

dari Geankoplis, 1993 didapat :

$$\rho \text{ udara pada } T_f = 1,0089 \text{ kg/m}^3 \quad [10, \text{App.A.3-3}]$$

$$\mu \text{ udara pada } T_f = 2,03 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m s} \quad [10, \text{App.A.3-3}]$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad [10, \text{App.A.1}]$$

$$N_{Pr} = 0,86 \quad [10, \text{App.A.3-3}]$$

$$N_{Gr} \cdot N_{Pr} = 6,0265^{11} \cdot 0,86 = 5,1828^{11}$$

Untuk vertikal silinder dengan $N_{Gr} \cdot N_{Pr} > 10^9 = h = 1,24 \cdot \Delta T^{1/3} \quad [10, \text{table 4.7-2}]$

Diambil isolasi jenis aero gel dengan $k = 0,022499 \text{ W/m K}$

$$h_o = 1,24 \Delta T^{1/3}$$

$$= 1,24 \cdot 50,1^{1/3}$$

$$= 4,5712 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tebal isolator :

$$\Delta x_o = \frac{k}{h_o} = \frac{0,022499}{4,5712} = 0,004922 \text{ m}$$

D. Perencanaan Nozzle

1. Nozzle steam masuk evaporator

$$\text{Rate steam} = 32254,05928 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Dari Geankoplis pada } T = 298,4^\circ\text{F} \rightarrow \rho = 0,0524 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu_{\text{steam}} = 1,5898 \cdot 10^{-5} \text{ lb/ft.s}$$

$$q = \frac{\text{rate steam}}{\rho} = \frac{32254,05928 \text{ lb / jam}}{0,0524 \text{ lb / ft}^3} = 615535,4825 \text{ ft}^3 / \text{jam} = 170,9821 \text{ ft}^3/\text{s}$$

assumsi : aliran turbulent

$$Di_{(\text{opt})} = 3,9 (q)^{0,45} \cdot (\rho)^{0,13} \quad [21]$$

$$= 3,9 (170,9821)^{0,45} \cdot (0,0524)^{0,13}$$

$$= 26,8785 \text{ in}$$

$$\text{Ditetapkan diameter nozzle} = 28 \text{ in} = 2,33 \text{ ft} = 0,7112 \text{ m}$$

$$\text{Flow area (A)} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot ID^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 28^2 = 567,1273 \text{ in}^2 = 3,9384 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{q}{A} = \frac{170,9821 \text{ ft}^3 / \text{s}}{3,9384 \text{ ft}^2} = 43,4143 \text{ ft / s}$$

Cek aliran :

$$Nre = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{0,0524 \cdot 2,33 \cdot 43,4143}{1,5898 \cdot 10^{-5}} = 333868,9209$$

Karena $Nre > 2100$ (assumsi aliran turbulen $\rightarrow$ benar)

Digunakan non standar 150 lb forged slip-on flange [27,p.226]

Diameter luar flange, $A = 35$ in

Tebal flange, $T = 1 \frac{1}{4}$ in

Diameter luar yang menonjol, $R = 32$ in

Diameter *hub* pada alas, $E = 30,5$ in

Panjang *hub*, $L = 2 \frac{1}{4}$ in

Diameter dalam dinding pipa standar, $B = 28 \frac{2}{3}$ in

Jumlah lubang bolt = 36

Diameter lingkaran bolt = 1 in

Keliling bolt = 33 in

2. Nozzle filtrat kopi masuk evaporator

Rate filtrat kopi = 34475,2750 lb/jam

$\rho = 65$ lb/ft³

$\mu_{\text{filtrat kopi}} = 0,0059 \cdot 10^{-3}$ lb/ft.s

$$q = \frac{\text{rate filtrat}}{\rho} = \frac{34475,2750 \text{ lb / jam}}{65 \text{ lb / ft}^3} = 530,388 \text{ ft}^3 / \text{jam} = 0,1473 \text{ ft}^3/\text{s}$$

assumsi : aliran turbulent

$$\begin{aligned} D_{i(\text{opt})} &= 3,9 (q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \quad [21] \\ &= 3,9 (0,1473)^{0,45} (65)^{0,13} \\ &= 2,8345 \text{ in} \end{aligned}$$

Ditetapkan diameter nozzle = 3 in = 0,25 ft

$$\text{Flow area (A)} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot ID^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 3^2 = 7,065 \text{ in}^2 = 0,0491 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{q}{A} = \frac{0,1473 \text{ ft}^3 / \text{s}}{0,0491 \text{ ft}^2} = 3,0029 \text{ ft / s}$$

Cek aliran :

$$N_{re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{65,025 \cdot 3,0029}{0,0059} = 8231,6591$$

Karena $N_{re} > 2100$ (assumsi aliran turbulen $\rightarrow$ benar)

Digunakan standar 150 lb forged slip-on flange

Untuk pipa ukuran nominal 3 in :

Diameter luar flange, $A = 7,5$ in

Tebal flange, $T = 15/16$ in

Diameter luar yang menonjol, $R = 5$ in

Diameter *hub* pada alas, $E = 4 \frac{1}{4}$ in

Panjang *hub*, $L = 1 \frac{4}{9}$ in

Diameter dalam dinding pipa standar, $B = 3,88$ in

Jumlah lubang bolt = 4

Diameter lubang bolt = $\frac{3}{4}$ in

Diameter lingkaran bolt = $\frac{3}{8}$ in [27,p.222]

3. Nozzle filtrat kopi low kafein keluar evaporator

Rate susu kedelai = 2502,0224 kg/jam = 5516,044 lb/jam

$$\rho = 64 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu_{\text{filtrat kopi}} = 0,067 \text{ lb'/ft.s}$$

$$q = \frac{\text{rate filtrat}}{\rho} = \frac{5516,044 \text{ lb / jam}}{64 \text{ lb / ft}^3} = 86,1882 \text{ ft}^3 / \text{jam} = 0,0239 \text{ ft}^3/\text{s}$$

assumsi : aliran visous

$$D_{i(\text{opt})} = 3,0 (q)^{0,36} \cdot (\mu)^{0,18} \quad [21]$$

$$= 3,0 (0,0239)^{0,36} \cdot (0,067)^{0,18}$$

$$= 1,6547 \text{ in}$$

Ditetapkan diameter nozzle = 2 in = 0,1667 ft

Flow area (A) = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot ID^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2 = 3,14 \text{ in}^2 = 0,0218 \text{ ft}^2$

Kecepatan aliran = $\frac{q}{A} = \frac{0,0239 \text{ ft}^3 / s}{0,0218 \text{ ft}^2} = 1,0979 \text{ ft} / s$

Cek aliran :

$Nre = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{64 \cdot 0,1667 \cdot 1,0979}{0,067} = 174,7962$

Karena $Nre < 2100$ (assumsi aliran Viscous [laminar] → benar)

Digunakan standar 150 lb forged slip-on flange

Untuk pipa ukuran nominal 2 in :

Diameter luar flange, A = 6 in

Tebal flange, T = 3/4 in

Diameter luar yang menonjol, R = 3 5/8 in

Diameter *hub* pada alas, E = 3 7/8 in

Panjang *hub*, L = 1 in

Diameter dalam dinding pipa standar, B = 2,44 in

Jumlah lubang bolt = 4

Diameter lubang bolt = 3/4 in

Diameter lingkaran bolt = 5/8 in [27,p.222]

Spesifikasi evaporator :

Nama alat = evaporator

Fungsi = menguapkan air, etil asetat, dan etanol pada filtrat kopi sehingga diperoleh kandungan air dalam filtrat kopi keluar 60%

Tipe	= <i>short tube evaporator</i>
Dasar pemilihan	= cocok untuk industri makanan dengan luasan perpindahan panas yang tidak terlalu besar.
Kondisi operasi	= $T = 80,1^{\circ}\text{C}$ $P = 47,39 \text{ kPa (vacuum)}$
Sistem operasi	= kontinu
Tinggi evaporator	= 5,4540 m
Tebal shell	= $3/16 \text{ in} = 0,00635 \text{ m}$
D_i shell	= $72,0861 \text{ in} = 1,8309 \text{ m}$
D_o shell	= $72,4611 \text{ in} = 1,8405 \text{ m}$
Tebal tutup	= $3/16 \text{ in} = 0,004763 \text{ m}$
Bahan konstruksi shell dan tutup : stainless steel S-240 grade S	
Panjang tube	= $8 \text{ ft} = 2,4384 \text{ m}$
Jumlah tube	= 160
D_o tube	= $1 \frac{1}{2} \text{ in} = 0,0381 \text{ m}$
D_i tube	= $1,17 \text{ in} = 0,0297 \text{ m}$
Jumlah evaporator	= 1 buah

Perancangan jaket pemanas

a) Mencari luas perpindahan panas

$$\begin{aligned}
 A &= A_{\text{shell}} + A_{\text{konis}} \\
 &= (\pi \times D_{\text{rata-rata}} \times h_{\text{liquid}}) + (\pi \times (R_1 + R_2) \times \sqrt{v^2 + (R_1 - R_2)^2}) \\
 &= \left(\pi \times \frac{(OD + ID)_{\text{shell}}}{2} \times h_{\text{liquid}} \right) + (\pi \times (R_1 + R_2) \times \sqrt{v^2 + (R_1 - R_2)^2}) \\
 &= \left(\pi \times \frac{(4,2950 + 4,2802)m}{2} \times 3,7344m \right) + \\
 &\quad \pi \times (4,2802 + 0,2032) \times \sqrt{1,1183^2 + (4,2802 - 0,2032)^2} \\
 &= (50,2764 \text{ m}^2) + (59,5149 \text{ m}^2)
 \end{aligned}$$

$$A = 109,7913 \text{ m}^2$$

b) Mencari konduktivitas thermal (k) campuran

$$k \text{ campuran} = \frac{1}{\sqrt{\sum \left(\frac{\text{fraksimassa}}{k^2} \right)_{\text{komponen}}}} \dots\dots\dots [25]$$

- k etil asetat

$$\log k = A + B \left[1 - \frac{T}{C} \right]^{2/7} \dots\dots\dots [15]$$

$$k \text{ etil asetat} = 0,224788605 \text{ W/mK} \dots\dots\dots [15]$$

- k etanol

$$\log k = A + B \left[1 - \frac{T}{C} \right]^{2/7} \dots\dots\dots [15]$$

$$k \text{ etanol} = 0,226460594 \text{ W/mK} \dots\dots\dots [15]$$

- k air

$$\int_{T_1}^{T_2} k \, dT = 0,57109.(T_2-T_1)+8,8125.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-2,234533333.10^{-6}.$$

$$(T_2^3-T_1^3).....[15]$$

$$k \text{ air rata-rata} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} k}{(T_2 - T_1)}$$

$$k \text{ air rata-rata} = 0,657170766 \text{ W/mK}$$

- k karbohidrat

$$\int_{T_1}^{T_2} k \, dT = 0,20141.(T_2-T_1)+6,937.10^{-4}.(T_2^2-T_1^2)-1,443733333.10^{-6}.$$

$$(T_2^3-T_1^3).....[15]$$

$$k \text{ karbohidrat rata-rata} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} k}{(T_2 - T_1)}$$

$$k \text{ karbohidrat rata-rata} = 0,273278447 \text{ W/mK}$$

$$k \text{ campuran} = \frac{1}{\sqrt{\sum \left(\frac{\text{fraksimassa}}{k^2} \right)_{\text{komponen}}}}$$

$$= 0,2763 \text{ W/mK}$$

c) Mencari nilai C_p campuran

$$C_p \text{ campuran} = \sum (\text{fraksi massa} \times C_p \text{ tiap komponen})$$

$$= \left(\frac{5323,5845}{178901,5451} \times 48,34920518 \right) + \left(\frac{232,797}{178901,5451} \times 44,32992 \right) +$$

$$\left(\frac{66329,311}{178901,5451} \times 123,0980771\right) + \left(\frac{101665,06}{178901,5451} \times 60,71973926\right) + \left(\frac{5350,7926}{178901,5451} \times 81,83603971\right)$$

Cp campuran = 84,08918544 kJ/kg.°C = 84089,18544 J/kg.°C

= 20,0978 kkal/kg.°C

d) Mencari nilai U_D

$$\frac{h_j \times D_j}{k} = 0,36 \times \left(\frac{l^2 \times N \times \rho}{\mu}\right)^{2/3} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right) \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \dots\dots\dots[10]$$

$$\frac{h_j \times 4,2802}{0.2763} = 0,36 \times (3693123,7)^{2/3} \times \left(\frac{84089,1854 \times 0,6907.10^{-3}}{0.2763}\right) \times (1)^{0.14}$$

$h_j = 116716,5231 \text{ W/m}^2.\text{K} = 20554,8356 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$

$h_o = 1500 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \dots\dots\dots[14]$

$U_c = \frac{h_j \times h_o}{h_j + h_o} = 1397,9816 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$

$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d, \quad R_d = 0,001$

$U_D = 582,9826 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} = 2848,1965 \text{ kkal/jam.m}^2.\text{°C}$

e) Mencari waktu pemanasan awal

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U_D \times A \times \theta}{M \times Cp} \dots\dots\dots[14]$$

Keterangan :

$U_D = 582,9826 \text{ Btu/j im.ft}^2.\text{°F} = 2848,1965 \text{ kkal/jam.m}^2.\text{°C}$

$t_1 = \text{suhu bahan masuk} = 50,72^\circ\text{C}$

$$t_2 = \text{suhu bahan keluar} = 80^\circ\text{C}$$

$$T_1 = \text{suhu steam masuk} = 148^\circ\text{C}$$

$$\theta = \text{waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu bahan dari } 50,72^\circ\text{C ke } 80^\circ\text{C}$$

$$M = \text{massa bahan dalam tangki} = 46063,09 \text{ kg/batch}$$

$$C_p \text{ campuran} = 20,0978 \text{ kkal/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\ln \frac{(148 - 50,72)}{(148 - 80)} = \frac{2848,19654 \text{ kkal/jam.m}^2.^\circ\text{C} \times 109,7912991 \times \theta}{46063,09 \text{ kg/batch} \times 20,09779767 \text{ kkal/kg.}^\circ\text{C}}$$

$$\theta = 1,06010932 \text{ jam} \approx 1,0601 \text{ jam}$$

f) Mencari OD dan ID jaket

$$\text{Massa steam} = 6692,3086 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ steam pada } 148^\circ\text{C} = 0,525 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetric steam} &= \frac{6692,3086 \text{ kg/jam}}{0,525 \text{ kg/m}^3} = 12747,2544 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 3,5409 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan alir steam (v)} = 38 \text{ ft/s} = 11,5825 \text{ m/s}$$

$$\text{Rate volumetric} = A \times v$$

$$3,5409 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (ID_{\text{jaket}}^2 - OD_{\text{Shell}}^2) \times v$$

$$3,5409 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{\pi}{4} \times (ID_{\text{jaket}}^2 - (4,2950)^2) \times 11,5825 \text{ m/s}$$

$$ID_{\text{jaket}} = 4,3401 \text{ m}$$

$$ID_{\text{jaket}} = OD_{\text{shell}} + \text{jacket spacing}$$

$$4,3401 \text{ m} = 4,2950 \text{ m} + \text{jacket spacing}$$

$$\text{Jacket spacing} = 0,0451 \text{ m}$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = \text{ID}_{\text{jaket}} + (2 \times \text{jacket spacing})$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = 4,3401 \text{ m} + (2 \times 0,0451 \text{ m})$$

$$\text{OD}_{\text{jaket}} = 4,4303 \text{ m}$$

g) Menentukan tebal isolasi

$$Q = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{A_i \times h_i} + \frac{t_1}{k_1 \times A_1} + \frac{t_2}{k_2 \times A_2} + \frac{1}{A_o \times h_o}}$$

Asumsi : $A_i = A_1 = A_2 = A_o = A_{\text{jaket}} = 109,7913 \text{ m}^2$, sehingga persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- Q = panas yang hilang, J
 - A = luas perpindahan panas jaket = $109,7913 \text{ m}^2$
 - T_i = suhu steam = $148^\circ\text{C} = 421 \text{ K}$
 - T_u = suhu udara = $30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$
 - h_i = $1500 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} = 8517,45 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 - t_1 = tebal jaket = $0,0451 \text{ m}$
 - k_1 = konduktivitas thermal bahan jaket (carbon steel) = 45 W/m.K
- [10]
- t_2 = tebal isolator, m
 - k_2 = konduktivitas thermal isolator (aerogel, silica, opacified) = $0,013$

$Btu/jam.ft.^{\circ}F = 0,0225 \text{ W/m.K [14]}$

- $h_o = 1,24 \times (\Delta T)^{1/3} = 1,24 \times (T_v-T_u)^{1/3}$
- T_v = suhu di permukaan isolator, K

Panas yang hilang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\frac{Q}{A} = h_o \times (T_v - T_u) \dots\dots\dots(2)$$

Dilakukan trial harga T_v untuk mendapatkan tebal isolator yang memungkinkan untuk digunakan.

Dari hasil trial, diperoleh data-data sebagai berikut :

- $T_v = 33^{\circ}C = 306 \text{ K}$
- $h_o = 1,7884 \text{ W/m}^2.K$
- $\frac{Q}{A} = h_o \times (T_v - T_u) = 5,3652 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots(2)$
- $Q \text{ loss} = 589,0488 \text{ W}$

Substitusi hasil dari persamaan (2) ke persamaan (1) :

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots(1)$$

$$5,3652 \text{ W/m}^2 = \frac{T_i - T_u}{\frac{1}{h_i} + \frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

$t_2 = 0,482241377 \text{ m} = 48,2241 \text{ cm}$

Spesifikasi alat :

ID jaket	: 4,3401 m
OD jaket	: 4,4303 m
Jaket spacing	: 0,0451 m
Bahan konstruksi jaket	: carbon steel
Tebal isolasi	: 0,482241377 m = 48,2241 cm
Bahan konstruksi isolasi	: aerogel, silica, opacified
Jumlah	: 4 buah

APPENDIX F

TUGAS KHUSUS

PERANCANGAN TANGKI EKSTRAKTOR

APPENDIX F

TUGAS KHUSUS

PERANCANGAN TANGKI EKSTRAKTOR

Ekstraksi cair-cair yang juga dikenal ekstraksi dengan solvent merupakan metode untuk memisahkan komponen berdasarkan selektivitas dan koefisien distribusi suatu komponen pada 2 cairan yang tidak saling larut, biasanya air dan solvent organik.

Pada proses pengadukan kedua cairan yang tidak saling larut berkontak dan terjadi tranfer massa, dimana untuk mencapai kesetimbangan diperlukan waktu. Setelah transfer massa (komponen yang ingin dipisahkan) telah mencapai kesetimbangan maka kedua cairan tersebut akan dipisahkan..

Ada 2 macam peralatan ekstraksi cair-cair, yaitu dengan menggunakan tangki dimana pencampuran terjadi dari aliran cairan itu sendiri (centrifugal ekstraktor) dan tangki dengan menggunakan pengaduk untuk pencampuran kedua cairan (mixer settler).

Pada prarencana pabrik kopi instan rendah kafein, kafein pada filtrat kopi diekstrak dengan menggunakan solvent etil asetat. Untuk proses ekstraksi ini digunakan tangki berpengaduk. Proses ekstraksi dengan menggunakan solvent etil asetat berlangsung selama 4 jam dengan suhu 80°C. Setelah proses ekstraksi selesai solvent yang mengandung kafein dan filtrat kopi dipisahkan dengan decanter dan selanjutnya diproses sampai menjadi kopi instan rendah kafein.

TANGKI EKSTRAKTOR

Fungsi = untuk mengekstrak kafein dari filtrat kopi

Tipe = Silinder vertikal berpengaduk dengan tutup atas *dish head* dan tutup bawah konis.

Dasar pemilihan = mudah dalam pemindahan liquid

1. Volume Tangki

Kapasitas : 46063,0925 kg/batch

Suhu larutan masuk = 30°C

Suhu larutan keluar = 70 °C

ρ kopi pada suhu 80°C: 1042,36 kg/m³

ρ etilasetat-etanol : 752,766 kg/m³

$$\frac{1}{\rho_{campuran}} = \frac{X_{larkopi}}{\rho_{larkopi}} + \frac{X_{etilasetat-etanol}}{\rho_{etilasetat-etanol}}$$

$$\frac{1}{\rho_{campuran}} = \frac{0,3901}{1042,36} + \frac{0,6099}{752,766}$$

$$\rho_{campuran} = 844,2800 \text{ kg/m}^3$$

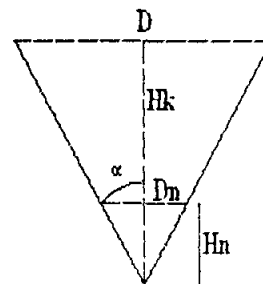
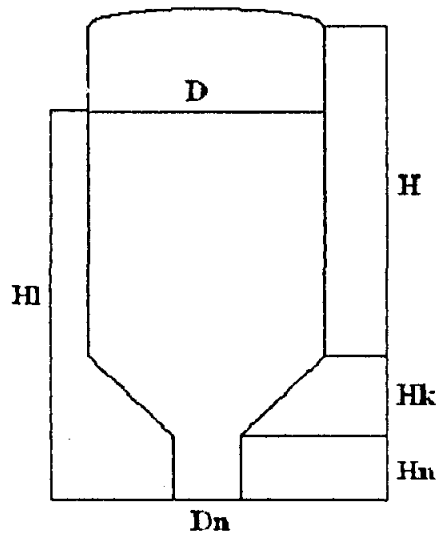
$$\begin{aligned} \text{Volume larutan} &= \frac{\text{kapasitas}}{\rho \text{ larutan}} = 46063,0925 / 844,2800 = 54,5590 \text{ m}^3 \\ &= 1925,2542 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Asumsi :

Volume larutan = 80 % volume tangki.

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan}}{0,8} = 54,5590 / 0,8 \\ &= 68,1987 \text{ m}^3 = 1925,2542 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi Tangki



Ditetapkan : $\frac{H}{D} = 1$ [21]

Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

H_k = tinggi konis

H_n = tinggi nozzle

H_s = tinggi shell

D_n = diameter nozzle

$$H_n = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{D_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{D_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \end{aligned}$$

Diameter nozzle (D_n) = 8 inc $\approx 0,2032$ m = 0,6667 ft

[27, p. 96]

Ditetapkan : sudut konis = 120°

$$\alpha = 60^\circ$$

$$\begin{aligned}\text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \\ &= \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)\end{aligned}$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot D^3$$

$$\text{Trial : tebal dish head (td)} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume dish head (ft)} &= 0,000049 \cdot D^3 \rightarrow \text{di mana } D \text{ dalam inchi} \\ &= 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot D^3 \rightarrow \text{di mana } D \text{ dalam ft}\end{aligned}$$

$$\text{Untuk tebal dish head} = \frac{3}{8} \text{ in, sf (straight flange) yang diambil adalah 2 in [27, p-93]}$$

$$\text{sf} = 2 \text{ in} = 0,1666 \text{ ft}$$

$$\text{Volume sf} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot 0,1666 = 0,1308 \cdot D^2$$

$$\text{Volume tangki} = \text{volume shell} + \text{volume dish head} + \text{volume sf} + \text{volume konis}$$

$$2406,5678 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot D^3 + 0,1308 \cdot D^2 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$2406,5678 \text{ ft}^3 = 0,785 \cdot D^3 + 0,1308 \cdot D^2 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$2406,5678 = D^3 \left(0,785 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \right) - \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot D_n^3 + 0,1308 \cdot D^2$$

$$= 0,8605 \cdot D^3 + 0,1308 \cdot D^2 - 0,02238$$

$$D = 14,039 \text{ ft} = 4,2801 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = D = 14,039 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg} \alpha} \cdot (14,039^3 - 0,6667^3) \\ &= 626,9340 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{larutan dalam konis}} = H_k - H_n &= \frac{D - D_n}{2 \cdot \text{tg} \alpha} = \frac{(14,039 - 0,6667) \text{ ft}}{2 \cdot \text{tg} 60} \\ &= 3,8603 \text{ ft} \end{aligned}$$

3. Tebal Shell, Dish head dan Konis

$$V_{\text{larutan dalam shell}} = V_{\text{larutan}} - V_{\text{larutan dalam konis}}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{\text{larutan dalam shell}} = 1925,2542 \text{ ft}^3 - 626,9340 \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot (14,039 \text{ ft})^2 \cdot H_{\text{larutan dalam shell}} = 1298,3202 \text{ ft}^3$$

$$H_{\text{larutan dalam shell}} = 8,3915 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{larutan dalam tangki}} &= H_{\text{larutan dalam shell}} + H_{\text{larutan dalam konis}} \\ &= 8,3915 \text{ ft} + 3,8603 \text{ ft} = 12,2518 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= \rho \cdot g \cdot H_{\text{larutan dalam tangki}} \\ &= 844,2800 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{62,43 \text{ lbf/ft}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot 1 \text{ lbf/lbm} \cdot \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2} \cdot 12,2518 \text{ ft} \\ &= 4,4845 \text{ lbf/in}^2 = 4,4845 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{udara luar}} + P_{\text{hidrostatik}} \\ &= 14,696 \text{ psi} + 4,4845 \text{ psi} = 19,1805 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi : } P_{\text{design}} = 1,2 \cdot P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \cdot P_{\text{operasi}} = 1,2 \cdot 19,1805 \text{ psi} = 23,0166 \text{ psi}$$

Tebal shell

$$t_s = \frac{P \cdot ID}{2 \cdot f \cdot E} + c$$

di mana P = tekanan design = 23,0166 psi

ID = diameter shell = 14,039 ft

Material yang digunakan : Stainless Steel SA-304

$f = 16598,813 \text{ lb/in}^2$ [21, p.555]

Konstruksi yang digunakan : double welded butt joint

E = efisiensi sambungan = 85 %

c = faktor korosi = 3 mm = 0.1181 in [21, p.556]

$$t_s = 23,0166 \times 14,039 \times 12 \text{ in} / (2 \times 16598,813 \times 0,85) + 0,1181 \text{ in}$$

$$= 0,2641 \text{ in} \sim \frac{5}{16} \text{ in}$$

$$OD \text{ shell} = 2 \cdot t_s + D = 2 \cdot \frac{5}{16} \text{ in} + (14,039 \cdot 12 \text{ in}) = 169,093$$

Tebal konis

$$t = \frac{P \times D \times Z}{2 \cdot f \cdot E}$$

dimana t : tebal sambungan antara konis dan shell

Untuk $\alpha = 60^\circ$ maka $Z = 3,2$ [30]

$$t = 0,4397 \text{ in} \sim \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$t_k = \frac{P \times ID}{2 \cos \alpha (fE - P)} + c$$

$$= \frac{23,01667 \times 168,468}{2 \cdot \cos 60^\circ ((16598,813 \times 0,85) - 23,01667)} + 0,1181$$

$$= 0,3944 \sim \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\text{Tebal konis } \frac{7}{16} \text{ in.}$$

Tebal sambungan antara shell dan konis yang digunakan adalah $\frac{7}{16}$ in.

Tebal dish head (td)

$$rc = ID = 14,039.12 \text{ in} = 168,468 \text{ in}$$

$$icr = 6 \% . rc = 6 \% . 168,468 \text{ in} = 10,1080 \text{ in}$$

di mana : rc : radius of dish

icr : inside-corner radius

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

w : stress-intensification factor

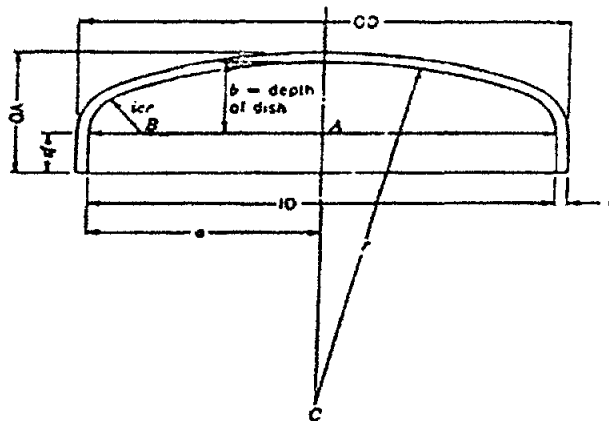
$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{168,468 \text{ in}}{10,108 \text{ in}}} \right) = 1,7706$$

$$td = \frac{P . rc . w}{2 . f . E - 0,2 . P} + c$$

$$= \frac{23,01667 \text{ lb/in}^2 . 168,468 \text{ in} . 1,7706}{2 . 16598,813 \text{ lb/in}^2 . 0,85 - 0,2 . 23,01667 \text{ lb/in}^2} + 0,1181 \text{ in}$$

$$= 0,3766 \text{ in}$$

Tebal dish head diambil $\frac{3}{8}$ in (= trial memenuhi)



$$sf = 2 \text{ in}$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{168,468 \text{ in}}{2} = 84,234 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = 84,234 \text{ in} - 10,1080 \text{ in} = 74,1259 \text{ in}$$

$$BC = rc - icr = 168,468 \text{ in} - 10,1080 \text{ in} = 158,3599 \text{ in}$$

$$b = rc - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 168,468 \text{ in} - \sqrt{(158,359 \text{ in})^2 - (74,159 \text{ in})^2}$$

$$= 28,5279 \text{ in}$$

$$OA = td + b + sf = \frac{3}{8} \text{ in} + 28,5279 \text{ in} + 2 \text{ in}$$

$$= 30,9029 \text{ in} = 2,5752 \text{ ft}$$

$$H \text{ tangki total} = H_{shell} + H_{konis} + OA$$

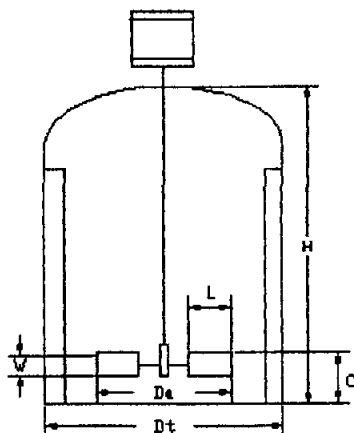
$$= 14,039 + 3,8603 + 2,575$$

$$= 20,4746 \text{ ft} = 6,2422 \text{ m}$$

4. Agitator

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *45° pitched six blade turbine*
- Dasar pemilihan *45° pitched six blade turbine* : cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s).

- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah *baffles*.



Dimensi pengaduk :

$$Da = 0,3 \cdot Dt = 0,3 \cdot 14,039 \text{ ft} = 4,2117 \text{ ft} = 1,2837 \text{ m}$$

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot Dt = \frac{1}{12} \cdot 14,039 \text{ ft} = 1,1699 \text{ ft}$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{8} \rightarrow W = \frac{1}{8} \cdot Da = \frac{1}{8} \cdot 4,2117 \text{ ft} = 0,5264 \text{ ft}$$

$$\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} \cdot Dt = \frac{1}{3} \cdot 14,039 \text{ ft} = 4,6796 \text{ ft}$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \rightarrow L = \frac{1}{4} \cdot Da = \frac{1}{4} \cdot 4,2117 \text{ ft} = 1,0529 \text{ ft}$$

di mana :

Da : diameter pengaduk

Dt : diameter tangki

L : panjang blade

W : lebar paddle

C : jarak dari dasar tangki

J : lebar baffle

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H_{liq}}{D_t} \quad [28]$$

$$= 0,8442 \times 12,2518 / 14,039$$

$$= 0,7368 = 1 \text{ pengaduk}$$

Kecepatan agitator ditentukan dengan persamaan :

$$N_c = K \cdot D^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_c}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \left(\frac{\rho_c - \rho_d}{\rho_c} \right)^{0,26} \quad [32]$$

Dimana : K = 750 untuk pengaduk yang terletak di pusat tangki

D = diameter pengaduk, m

μ_c = viskositas fase kontinu, kg/m³.s

ρ_c = densitas fase kontinu, kg/m³

ρ_d = densitas fase disperse, kg/m³

$$N_c = 750 \cdot 1,2837^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{0,485 \cdot 10^{-3}}{1042,36} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \left(\frac{1042,36 - 873}{1042,36} \right)^{0,26}$$

$$= 109,2943 \text{ rpm}$$

Ditetapkan $N > N_c = 109,2943566 \text{ rpm}$

$$N = 110 \text{ rpm} = 1,833333333 \text{ rps}$$

μ_{mixed} dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mu_{mixed} = \exp\{\epsilon(\text{fraksimol} \ln \mu)\}$$

$$\text{Xetil-asetat} = 25416,265 / 46063,0925$$

$$= 0,6098$$

$$\text{Xlarutan-kopi} = 17971,4231 / 46063,0925$$

$$= 0,3901$$

$$\mu_{\text{etil-asetat}} = 0,2784 \text{ cp}$$

$$\mu_{\text{larutan-kopi}} = 0,427 \text{ cp}$$

$$\mu_{\text{mixed}} = 0,6907 \text{ cp}$$

$$N_{RE} = \frac{N \cdot Da^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,83 \text{ rps} \cdot (1,284 \text{ m})^2 \cdot 844,28 \text{ kg/m}^3}{0,6907 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 3693123,7$$

Nilai N_p dapat dicari dari Geankoplis, grafik 3.4-4, p.145

$$N_p = 1,2$$

Power pengaduk:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot Da^5$$

$$= 1,2 \cdot 844,2800568 \text{ kg/m}^3 \cdot (1,833 \text{ rps})^3 \cdot (1,283 \text{ m})^5$$

$$= 21766,0911 \text{ J/s} = 29,1888 \text{ hp}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 80 \%$$

$$\text{Power motor} = \frac{29,188 \text{ hp}}{0,8} = 36,4860 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Kapasitas} : 46063,0925 \text{ m}^3$$

$$\text{ID} : 4,2801 \text{ m}$$

$$\text{OD} : 4,2949 \text{ m}$$

$$\text{Tebal shell} : \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\text{Tebal konis} : \frac{7}{16} \text{ in}$$

$$\text{Tebal dish head} : \frac{3}{8} \text{ in}$$

Tinggi tangki	: 6,2422 m
Jumlah tangki	: 4 buah
Jenis pengaduk	: 45° pitched six blade turbine
Jumlah pengaduk	: 1 buah
Power pengaduk	: 36,4860 hp
Jumlah tangki	: 4 buah

Waktu pengosongan tangki

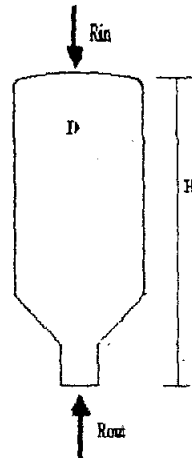
Neraca massa cairan

$$R_{in} - R_{out} = R_{acc}$$

$$0 - \rho Q = \frac{d(\rho V)}{dt}$$

$$- \rho A_2 v_2 = \rho A_1 \frac{dH}{dt}$$

$$- A_2 v_2 = A_1 \frac{dH}{dt}$$



Persamaan Bernoulli :

$$(\Delta P) + \Delta h \cdot g \cdot \rho + 0,5 \Delta V^2 \cdot g \cdot \rho = 0$$

$$0 + \Delta h \cdot g \cdot \rho + 0,5 \Delta V^2 \cdot g \cdot \rho = 0$$

$V_1 = 0$, dianggap laju pengeluaran air dari atas tangki lambat

$$\Delta h \cdot g \cdot \rho + 0,5 (V_2^2 - 0^2) \cdot g \cdot \rho = 0$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

$$- A_2 \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = A_1 \frac{dH}{dt}$$

Boundry condition $t = 0 \rightarrow h = h$

$$t = t \rightarrow h = 0$$

$$-A2\sqrt{2.g.h} = A1 \frac{dH}{dt}$$

$$-\int_0^t \frac{A2}{A1} dt = \int_h^0 \frac{1}{h\sqrt{2.g.h}} dh$$

$$-\frac{A2}{A1} t = \frac{1}{\sqrt{2.g}} \int_h^0 h^{-\frac{1}{2}} dh$$

$$-\frac{A2}{A1} t = \frac{1}{\sqrt{2.g}} \left\{ \frac{1}{1-\frac{1}{2}} h^{1-\frac{1}{2}} \right\}_h^0$$

$$-\frac{A2}{A1} t = -\frac{1}{\sqrt{2.g}} 2.h^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{A2}{A1} t = \sqrt{\frac{2}{g}} h^{\frac{1}{2}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2}{g}} h^{\frac{1}{2}} \left(\frac{A1}{A2} \right)$$

$$t = \sqrt{\frac{2}{g}} h^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D1^2}{D2^2} \right)$$

Untuk tangki ekstraktor dengan : $h = h \text{ tangki} = 6,2422 \text{ m}$

$$D2 = Dk = 0,2032 \text{ m}$$

$$D1 = D \text{ tangki} = 4.2801 \text{ m}$$

Maka didapatkan waktu pengosongan tangki = 4907,6795s = 81,7946 menit

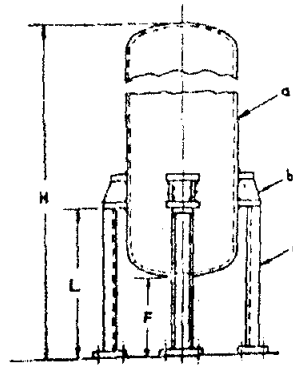
Perancangan Braket dan Lug support untuk tangki ekstraktor

Fig. 11.1 Vessel supported on brackets.
(a) shell (b) bracket (c) leg

Tangki yang disangga diatas braket

- a. tangki
- b. braket
- c. leg

suatu tangki dengan data-data perancangan sebagai berikut :

Diameter tangki	= 4,2801 m
Tinggi tangki	= 6,2422 m
Jarak kosong dari dasar tangki ke fondasi, F	= 1,5 m
Jumlah braket	= 8 buah
Diameter lingkaran baut	= 4,5 m [28]

Tinggi braket dari fondasi

'Bearing pressure' yang diijinkan untuk beton = 35 kg/cm^2

Rancangan :

1. Beban kompresi maksimum
2. Braket
 - a. base plate
 - b. web plate

3. Penyangga kolom untuk braket

4. Base plate untuk kolom

Perhitungan :

1. Beban kompresi maksimum

$$P_w = K \cdot P_2 \cdot H \cdot O_d$$

Dengan : K = koefisien yang bergantung pada bentuk

$$= 0,85 \text{ untuk tangki konis}$$

$$P_2 = \text{Tekanan angin, untuk tinggi tangki} < 30 \text{ ft} = 97,647 \text{ kg/cm}^2$$

[27, Tabel 9.1]

$$O_d = \text{Diameter luar tangki} = 4,2949 \text{ m}$$

$$P_w = 0,7 \times 97,647 \times 4,2949$$

$$= 1832,5632 \text{ kg}$$

$$P = \frac{4 \cdot P_w \cdot (H - F)}{n \cdot D_b} + \frac{\sum W}{n}$$

$$= 7477,0530 \text{ kg}$$

Dengan : H = tinggi tangki diatas fondasi = tinggi tangki total = 7,7422m

F = jarak kosong dari dasar tangki = 1,5 m

D_b = diameter lingkaran baut = 4,5 m

n = jumlah braket = 8 buah

$\sum W$ = Beban maksimum tangki

$$\rho_{\text{shell}}, \rho_{\text{dishead}}, \rho_{\text{konis}} = \rho_{\text{stainless steel}} = 7817 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lar-kopi}} = 844,2800 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{Shell}} = \frac{\pi}{4} \times (O_d^2 - I_d^2) \times h \times \rho$$

$$= 3330,5766 \text{ kg}$$

$$W_{dishhead} = \left(\left(\frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \right)_{hsf} + \left(2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (OD^2 - ID^2)_{OA} \right) \right) \times \rho$$

$$= 25,6776 \text{ kg}$$

$$W_{konis} = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_n^2 - ID_n^2) \cdot H_n \right) \times \rho$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} = 0,0586 \text{ m}$$

$$H_k = \frac{D_{shell}}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = 1,1769 \text{ m}$$

$$W_{konis} = 228,779 \text{ kg}$$

$$W_{larutan} = 54,5590 \text{ m}^3 \times 844,2800 \text{ kg/m}^3 = 49648,1265 \text{ kg}$$

$$P = 7477,0530 \text{ kg}$$

2. Braket

a. Base palte : dari tabel 13.2 ukuran base plate yang cocok

$$a = 4,25 \text{ m} = 235 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm},$$

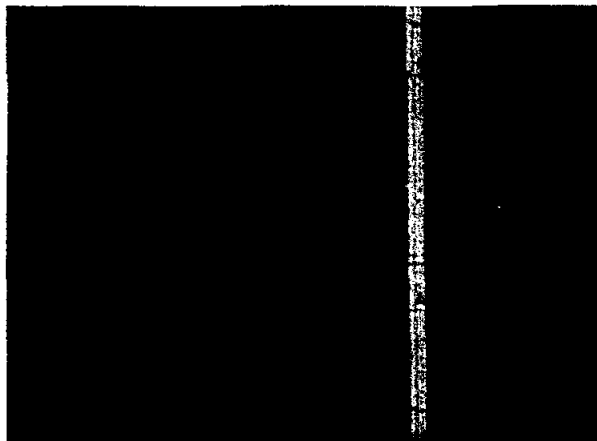


Fig Detail Braket

$$P_{av} = \frac{P}{ab} = 0,8796 \text{ kg/cm}^2 \quad [28, \text{pers 13.8}]$$

$$f = 0,7.P_{av} \cdot \frac{B^2}{T_i^2} \cdot \left(\frac{a^4}{b^4 + a^4} \right)$$

Dengan : f = allowable stress = 2964,189 kg/cm²

P_{av} = tekanan rata- rata terhadap plate = 0,8796 kg/cm²

T_i = tebal base plate

T_1 = 0,2882 cm = 2,88 mm

Dipilih tebal base plate T_i = 4 mm

b. Web (gasket) thick plate → setiap braket → ada 2 gasket → ada 2 gasket

$$\text{Bending moment tiap plate} = \frac{P}{2} \times C$$

Dengan : P = gaya

c = jarak antara dinding dan baut = 10,2514 cm

Stress yang dialami oleh sisi plate gasket

$$f = \frac{3.Pc}{T^2.c^2} \times \frac{1}{\cos \alpha} \quad [28, \text{ pers. 13.12}]$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$f = \frac{3.Pc}{T^2.c^2} \times \left(\frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right)^{-1}$$

T_2 = 0,5519 cm = 5,5192 mm

Diambil tebal plate mm.

3. Penyangga (kolom) untuk braket

Dipilih sebagai kolom penyangga braket adalah tipe channel. Ukuran yang dipilih adalah tipe ISME 150. dari tabel C-3. Battacharyya :

Ukuran : 150 mm x 75 mm

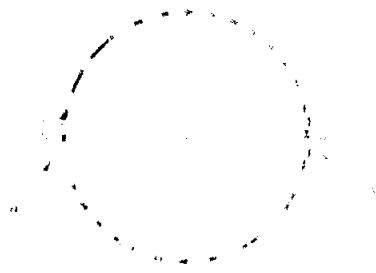
$$\text{Area cross section (A)} = 62,93 \text{ cm}^2$$

$$\text{Modulus of section (Z}_{yy}) = 24,2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Radius of gyration (r}_{yy}) = 2,83 \text{ cm}$$

$$\text{Weight} = 25 \text{ kg/m}$$

$$\text{Height of foundation} = 3,5 \text{ m}$$



$$\text{Equivalent length of colom : } le = \frac{\text{weight}}{2} = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Slenderness ratio } \frac{le}{r} = 61,8374 = 62$$

$$f = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{Z}$$

$$= 2021,9697 \text{ kg/cm}^2$$

dari persamaan 13.14 untuk kolom panjang

$$f = \frac{\sum W}{n.A} \left[1 + a \left(\frac{le}{r} \right)^2 \right] + \frac{\sum W.Z}{n.Z}$$

Dengan le = panjang efektif kolom

$$a = \text{kontatanta} = 7500$$

$$r = \text{radius gyration}$$

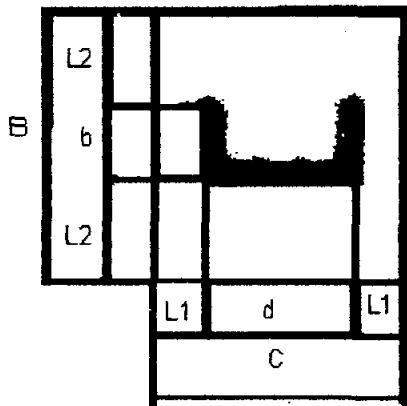
$$f = 2072,5146 \text{ kg/cm}^2$$

dari kedua harga f terhitung < allowable strees yang diizinkan yaitu 2964,189

kg/cm² dan maka kolom tipe channel yang dipilih sudah memadai.

4. Perancangan plat dasar untuk kolom.

Ukuran kolom 100 x 400 dianggap bahwa plat dasar memiliki kelebihan 20 cm pada setiap sisi channel.



$$\text{Sisi B} = 0,8 \times 100 + 2 \times 20 = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi C} = 0,95 \times 400 + 2 \times 20 = 420 \text{ mm}$$

$$\text{Bearing presurre, } p_b = 14,8354 \text{ kg/cm}^2$$

Ini lebih kecil daripada tekanan bearing terhadap beton = 35 kg/cm²

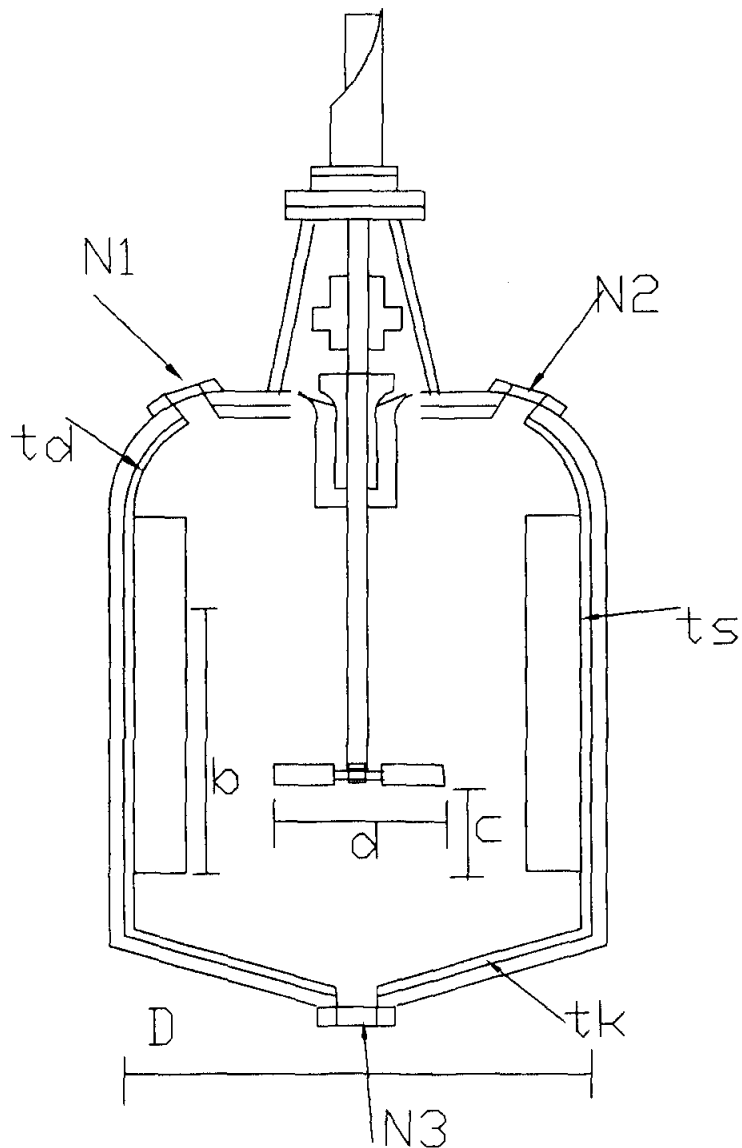
$$M = \frac{P_b L_1^2}{2} \quad \text{atau} \quad M = \frac{P_b L_2^2}{2}$$

Diambil mana yang lebih besar

$$f = \frac{Gm}{t^2} = \frac{M}{t^2/6} = \frac{P_b L_2^2 / 2}{t^2 / 6} \quad [28, \text{ pers. 12/18}]$$

$$t = 0,2450 \text{ cm} = 2,4506 \text{ mm}$$

Dipilih tebal base plate yaitu 4 atau 5 mm.



Keterangan gambar =

b = lebar pengaduk = 0,5264 ft

BW = Lebar Baffle = 1,1699 ft

c = tinggi pengaduk = 46796 ft

d = diameter pengaduk = 4,2116 ft

H = tinggi larutan = 12,2518 ft

M = motor = 36,48 Hp

n = jumlah pengaduk = 6

ts = tebal shell = 0,0365 ft

tk = tebal konis = 0,0365 ft

td = tebal head = 0,03125 ft

ID = 14,0215 ft

OD = 14,09071 ft

tebal isolasi = 0,1582 ft

tinggi ekstraktor = 20,3409 ft

$N1$ = diameter nozzle etil asetat masuk = 0,666 ft

$N2$ = diameter nozzle larutan masuk = 0,4166 ft

skala = 1:47

Gambar F.1. Ekstraktor berpengaduk

TUGAS KHUSUS III

HACCP

TUGAS KHUSUS III

HACCP

I. Pendahuluan

HACCP merupakan singkatan dari *Hazard Analysis and Critical Control Point*. HACCP merupakan suatu sistem dalam industri makanan yang bertujuan untuk memastikan bahwa produk makanan yang diproduksi aman untuk dikonsumsi. HACCP merupakan suatu sistem yang dapat digunakan untuk dapat mengontrol berbagai macam area dalam industri makanan (area bahan baku, produk jadi, proses produksi, pemeliharaan alat, penyimpanan, pengepakan, distribusi, dan konsumsi konsumen) yang mempunyai peluang besar untuk dapat terkontaminasi, baik oleh mikroorganisme patogen, obyek fisik, obyek kimia, maupun dapat disebabkan karena kondisi penyimpanan dan kesalahan cara penggunaan.

Tujuh prinsip sistem HACCP: [40]

1. Menganalisa semua kemungkinan kontaminan yang bisa terjadi, dan melakukan pengukuran untuk mencegah kontaminan masuk dalam proses produksi.
2. Mengidentifikasi titik kritis yang harus dikontrol pada proses produksi.
3. Menetapkan batasan kritis untuk pencegahan pada tiap-tiap *critical control points*.

4. Menetapkan peralatan yang diperlukan untuk memonitor CCP
Menetapkan prosedur dari hasil *monitoring* untuk melakukan penyesuaian proses.
5. Menetapkan tindakan korektif yang diambil ketika *monitoring* menandai adanya kelebihan dari suatu batas kritis ditetapkan.
6. Menetapkan prosedur pencatatan dokumen sistem HACCP.
7. Menetapkan prosedur untuk verifikasi bahwa sistem HACCP sedang/ sudah bekerja dengan tepat.

Metode Pelaksanaan HACCP [40]

Suatu analisa keselamatan produk bagi konsumen pada Pabrik *Coffee low Caffeine* meliputi analisa saat bahan baku biji kopi diterima, hingga produk *Coffee low Caffeine* sudah dimasukkan ke dalam mesin *packaging*. Secara umum ada beberapa langkah menyusun sistem HACCP dalam pabrik ini, yaitu :

1. Mengidentifikasi semua kontaminan yang ada dan mungkin ada, yaitu meliputi kontaminan fisika, kimia, dan mikrobiologi.
2. Menentukan apakah kontaminan-kontaminan tersebut berpengaruh terhadap kesehatan konsumen jika mengkonsumsinya.
3. Pencegahan yang bisa dilakukan agar kontaminan tersebut tidak terikut dalam proses produksi.
4. Menentukan titik kritis, batasan, ataupun kontrol yang harus dilakukan agar kontaminan dapat dihilangkan dari produk.

Dari definisi diatas maka HACCP dapat dibagi kedalam tiga kelas, yaitu biologi, kimia, dan fisik. [40]

I.1 Biologi

Kontaminasi makanan secara biologi ini dapat dibagi kedalam tiga tipe, yaitu bakteri, virus dan parasit (protozoa dan cacing). Dalam tabel 1 dibawah ini tercantum jenis-jenis bakteri, virus, dan parasit yang berbahaya jika dikonsumsi. *International Commission of Microbiological Specifications for Food* (ICMSF 1986) membagi mikroorganisme ini kedalam beberapa bagian menurut tingkat bahaya yang dapat ditimbulkan.

Tabel G.1. Mikroorganisme dan Parasit berbahaya berdasarkan tingkat bahaya

Tingkat Bahaya	Jenis bakteri, virus dan parasit
I. Resiko Berat	• <i>Clostridium botulinum</i> types A, B, E and F • <i>Shigella dysenteriae</i> • <i>Salmonella typhi</i> :paratyphi A, B • <i>Hepatitis A and E</i> • <i>Brucella abortis</i> : B.suis • <i>Vibrio cholerae</i> O1 • <i>Vibrio vulnificus</i> • <i>Taenia solium</i> • <i>Trichinella spiralis</i>
II. Resiko Menengah : beresiko untuk dapat menyebar luas	• <i>Listeria monocytogenes</i> • <i>Salmonella spp</i> • <i>Shigella spp</i> • <i>Enterovirulent Escherichia coli</i> (EEC) • <i>Streptococcus pyogenes</i> • <i>Rotavirus</i> • <i>Norwalk virus group</i> • <i>Entamoeba histolytica</i> • <i>Diphyllobothrium latum</i> • <i>Ascaris lumbricoides</i> • <i>Cryptosporidium parvum</i>

III. Resiko Menengah : beresiko untuk menyebar terbatas	• <i>Bacillus cereus</i> • <i>Campylobacter jejuni</i> • <i>Clostridium perfringens</i> • <i>Staphylococcus aureus</i> • <i>Vibrio Cholerae, non-O1</i> • <i>Vibrio parahaemolyticus</i> • <i>Yersinia enterocolitica</i> • <i>Giardia lamblia</i> • <i>Taenia saginata</i>
---	---

Dalam tahap pengembangan HACCP, prosesor makanan harus mempunyai tiga tujuan dasar untuk dapat mencegah timbulnya bahaya biologi ini, yaitu :

1. Pembunuhan / penghilangan / pembersihan / pengurangan resiko kontaminasi
2. Pencegahan re-kontaminasi (pencegahan akan kembali timbulnya kontaminasi)
3. Pencegahan terhadap pertumbuhan dan produksi toksin

Mikroorganisme dapat dihilangkan dengan proses pemanasan, pembekuan dan pengeringan. Setelah mikroorganisme dapat dihilangkan, harus dipastikan bahwa mikroorganisme tidak akan kembali lagi sehingga produk makanan aman untuk dikonsumsi. Jika kontaminan yang ada tidak dapat dihilangkan secara total, maka pertumbuhan mikroba dan produksi toksin harus dihambat. Pertumbuhan mikroba dapat dihambat melalui karakter intrinsik dari makanan yang diproduksi. Misalnya saja melalui pH dan *water activity* (a_w) atau dengan penambahan garam dan pengawet lainnya. Selain itu, pertumbuhan mikroba dapat dihambat dari kondisi produk makanan saat

dikemas (*aerobic* atau *an-aerobic*) serta temperatur penyimpanan (pendinginan atau pembekuan).

I.2 Kimia

Kontaminasi secara kimia dapat disebabkan karena penggunaan bahan kimia dalam produksi atau karena dihasilkan dari suatu proses kimia. Semua bahan makanan menggunakan bahan kimia dan semua bahan kimia dapat menjadi racun pada level dosis tertentu.

Kontaminasi secara kimia ini dapat dibagi kedalam 2 kelompok, yaitu *naturally occurring* dan *added chemicals*. Pada tabel G.2 dapat dilihat beberapa bahan kimia yang terjadi secara natural dan bahan kimia yang ditambahkan selama proses pembuatan.

Tabel G.2. Jenis-jenis Kontaminan Kimia

Jenis timbulnya kontaminasi	Kontaminan kimia
I. <i>Naturally occurring chemicals</i>	• <i>Mycotoxins (e.g. aflatoxin)</i> • <i>Scrombotoxin (histamine)</i> • <i>Ciguatoxin</i> • <i>Mushroom toxins</i> • <i>Shellfish toxins</i> - <i>Paralytic shellfish poisoning (PSP)</i> - <i>Diarrheic shellfish poisoning (DSP)</i> - <i>Neurotoxic shellfish poisoning (NSP)</i> - <i>Amnesic shellfish poisoning (ASP)</i> • <i>Pyrrolizidine alkaloids</i> • <i>Phytohemagglutinin</i> • <i>Polychlorinated biphenyls (PCBs)</i>
II. <i>Added chemicals</i>	• <i>Agricultural chemical Pesticides, fungicides, fertilizers, insecticides, antibiotics, and growth hormones</i> • <i>Prohibited substances</i>

	Direct Indirect • <i>Toxin elements and compounds</i> <i>Lead, zinc, arsenic, mercury, and cyanide</i> • <i>Food Additives</i> <i>Direct</i> <i>Preservatives (nitrite and sulfiting agents)</i> <i>Flavor enhancers (monosodium glutamate)</i> <i>Nutritional additives (niacin)</i> <i>Color additives</i> <i>Secondary direct and indirect</i> <i>Plant chemicals (e.g. lubricants, cleaners, sanitizers, cleaning compounds, coating and paint)</i> • <i>Chemicals intentionally added (sabotage)</i>
--	--

Karena penggunaan bahan kimia dalam batas yang tidak wajar sangat berbahaya, maka diperlukan sebuah sistem pengontrolan untuk mencegah penggunaan bahan kimia secara berlebihan. Pada tabel G.3. dapat dilihat suatu sistem pengontrolan dalam suatu produksi.

Tabel G.3. Pengontrolan Bahan Kimia

Area pengontrolan		Jenis-jenis kontrol yang dilakukan
I.	Pengontrolan sebelum menerima bahan baku	• Spesifikasi bahan baku • Sertifikat atau garansi dari vendor (pengawas) • “<i>Spot checks</i>” (pengecekan kadar bahan kimia dalam bahan baku)
II.	Pengontrolan bahan baku sebelum digunakan	• Meninjau kembali tujuan dari penggunaan bahan kimia • Memastikan kemurnian, komposisi, dan penamaan yang tepat dari bahan kimia

		• Mengontrol jumlah bahan kimia yang digunakan
III.	Pengontrolan pada area penyimpanan dan kondisi penyimpanan	• Menjaga kondisi operasi (suhu, kelembaban, dll) penyimpanan agar dapat mencegah timbulnya "<i>naturally occurring toxicants</i>"
IV.	Inventaris semua bahan kimia yang digunakan	• Meninjau kegunaan suatu bahan kimia • Mencatat atau mendokumentasikan kegunaan bahan kimia

I.3. Fisik

Kontaminasi secara fisik sering dideskripsikan sebagai material asing dan hal ini termasuk semua material yang tidak normal ditemukan dalam makanan yang dapat mengakibatkan penyakit atau luka pada individu. Material asing yang paling banyak ditemukan adalah kaca. Sedangkan keluhan adanya material asing paling banyak ditemui dalam roti.

Kontaminasi fisik ini merupakan komplain yang paling sering dilaporkan. Salah satu alasannya adalah karena material asing memberikan luka-luka secara langsung dan nyata. Tabel G.4 menunjukkan material asing dan sumber material ini berasal, serta luka-luka yang dapat ditimbulkan.

Tabel G.4. Sumber material asing dan luka yang ditimbulkan

Material Asing	Luka-luka yang dapat ditimbulkan	Sumber Material Asing
Kaca	Teriris, berdarah : membutuhkan operasi untuk menemukan dan mengeluarkan kaca	Botol, guci, peralatan penerangan, perkakas, dll
Kayu	Teriris, infeksi : membutuhkan operasi untuk mengeluarkannya	Ladang, pallet, kardus, bangunan, dll
Batu	gigi patah	Ladang, bangunan, dll
Logam	Teriris, infeksi :	Mesin-mesin, lading, kawat,

	membutuhkan operasi untuk mengeluarkannya	pegawai, dll
Insulation (penyekat, Isolasi)	Tercekik	Material bangunan, dll
Serangga dan bakteri	Penyakit : membutuhkan pengobatan dokter	Bahan baku, air proses, pegawai dll

Metode yang sering digunakan untuk mengontrol material asing adalah dengan adanya spesifikasi bahan baku, dan pemeriksaan bahan baku yang disertai dengan sertifikat dan garansi dari vendor (pengawas).

Berbagai macam tindakan pencegahan dan pengontrolan mutu produk dapat dilakukan untuk menghindarkan dan mencegah adanya material asing dengan seksama.

II. Uraian Proses

Hal-hal yang perlu diperhatikan meliputi berbagai macam proses. Dimulai dengan memeriksa setiap bahan baku yang akan digunakan sampai dengan proses akhir dari pembuatan kopi instant rendah kafein. Seluruh proses yang dijalankan harus memenuhi setiap titik kritis yang ada.

Biji kopi yang dibeli dari petani akan disimpandalam warehouse selama 20 hari. Kelembaban udara didalam warehouse dijaga pada RH 65%. Hal ini dikarenakan kelembaban udara mempengaruhi rasa dan aroma dari biji kopi. Biji kopi yang keluar dari warehouse akan masuk kedalam proses *Soaking*, dimana biji kopi akan dibersihkan dari pengotor-pengotornya seperti plastik, dedaunan, ranting, pasir dan lain sebagainya dengan menggunakan *belt washer yang dilengkapi dengan vibrating screen*.

Biji kopi yang sudah bersih dari pengotor akan masuk kedalam proses *Roasting*. Proses ini bertujuan untuk mengurangi 72 % kadar air mula-mula dalam biji dengan menggunakan *Rotary dryer roaster*. Suhu keluaran biji dijaga pada 225⁰C. Keluar dari *Roasting*, biji kopi akan masuk ke dalam *Hammer mill* yang dilengkapi *screen* pada suhu 220⁰C, yang berfungsi untuk mengancurkan atau menggiling biji sehingga menjadi *coffee mass*. *Coffee mass* yang diinginkan mempunyai 80 mesh.

Coffee mass tersebut akan masuk ke dalam tangki *leaching* dengan penambahan air sebanyak 5 kali massa kopi yang masuk. Proses ini digunakan untuk mencampurkan kopi yang dapat larut dalam air dengan air yang ditambahkan dengan suhu operasi sebesar 80⁰C.

Larutan kopi tersebut dimasukkan kedalam *filter press* untuk memisahkan antara kopi tak larut air (*cake*) dengan kopi larut air. Kandungan air dalam *cake* sebesar 5%. Larutan kopi akan diproses menjadi kopi instan rendah kafein dan produk samping yaitu kafein akan dijual pada perusahaan farmasi dan minuman berenergi. Sedangkan *cake* yang dihasilkan akan dijual sebagai pupuk kepada para petani

II.1 Proses Ekstraksi

Larutan kopi yang keluar dari *filter press* akan dimasukkan ke dalam tangki ekstraksi untuk mengambil kafein pada larutan kopi tersebut. Bahan yang masuk akan dicampur dengan campuran etil asetat 95% dan etanol 5%. Kafein yang terdapat pada larutan kopi tersebut akan larut dalam

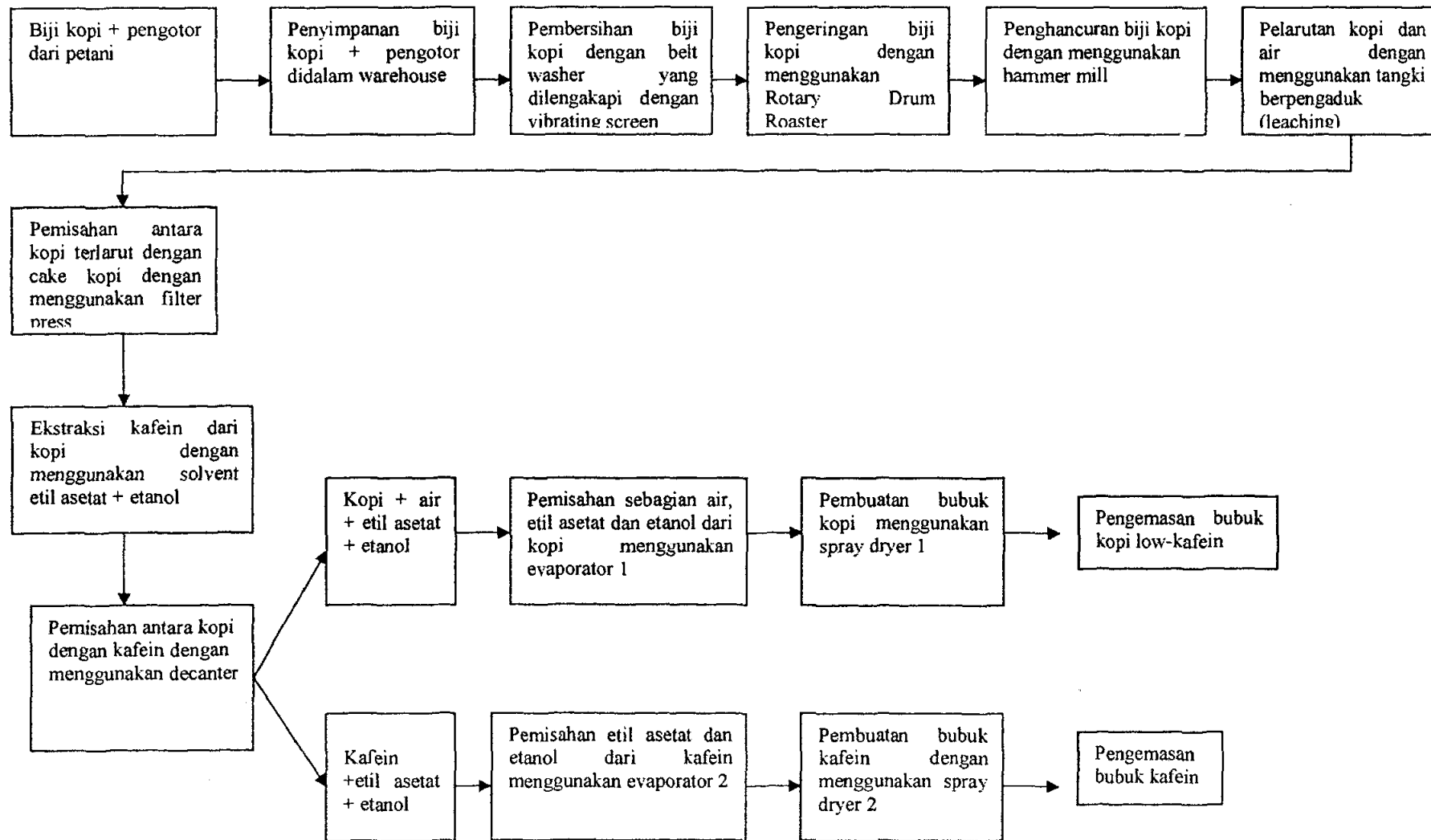
etil asetat.suhu operasi pada tangki ekstraksi sebesar 80⁰C. Kafein yang terekstrak dalam etil asetat sebesar 97%.

Selanjutnya larutan kopi dan larutan kafein akan dimasukkan ke dalam tangki *decanter*. Proses ini digunakan untuk memisahkan kedua larutan tersebut berdasarkan perbedaan berat jenis.

II.2 Pembuatan bubuk kopi

Larutan kopi akan dimasukkan ke dalam evaporator. Suhu operasi pada proses ini sebesar 100⁰C. Proses ini bertujuan untuk memekatkan larutan kopi dengan kandungan air pada produk sebesar 60%. Setelah itu produk yang keluar dari evaporator akan dimasukkan ke dalam *spray dryer* untuk membuat bubuk kopi dengan kandungan air sebesar 11%. Produk bubuk kopi yang keluar dari *spray dryer* diharapkan tidak mengandung jamur dan bakteri (mati pada waktu proses). Selain itu produk yang dihasilkan tidak akan terlihat menggumpal.

Sedangkan pada produk samping, larutan kafein akan dimasukkan ke dalam evaporator. Suhu operasi pada proses ini sebesar 85⁰C. Proses ini bertujuan untuk memekatkan larutan kafein dengan kandungan etil asetat pada produk sebesar 60%. Setelah itu produk yang keluar dari evaporator akan dimasukkan ke dalam *spray dryer* untuk membuat *Caffeine Powder* dengan kandungan etil asetat sebesar 0,01%. Produk *Caffeine Powder* ini akan dijual kepada pabrik minuman penambah energi dan farmasi.



Gambar 1. Blok diagram proses *pembuatan kopi Instant rendah kafein*

Stage	Kontaminan	Pengaruh kontaminan terhadap kesehatan	pengaruh kontaminan terhadap kesehatan	Pencegahan	Titik kritis / batasan / kontrol
1. Penerimaan bahan baku. 1.1 Biji kopi	Biologi : - jamur	Tidak	-	Jamur akan mati saat proses <i>roasting</i>	Jamur dalam bahan baku biji kopi max 3% [35]
	Kimia : - Insektisida	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan dapat mengganggu kesehatan	-	Insektisida dalam bahan baku kopi max 2% [37]
	Fisik : - logam, ranting pohon, tanah, pasir, dsb	Tidak	-	Logam, ranting pohon, tanah, pasir, dsb akan hilang pada saat proses pencucian dengan <i>belt washer</i> yang dilengkapi dengan <i>vibrating screen</i> .	Logam, ranting pohon, plastik, tanah, pasir = max 1%
1.2 Etil asetat + etanol	Biologi : -	Tidak	-	Memastikan bahan yang diterima bersih. (tidak ada kotoran, serangga, dll)	-
	Kimia : -	Tidak	-	Melakukan uji laboratorium pada bahan dan disesuaikan dengan spesifikasi produk. (pengukuran densitas)	Kemurnian : etil asetat 95% dan etanol 5% Densitas : 0,9 gr/ cm ³
	Fisik : -	Tidak	-	Memastikan bahan sesuai spesifikasi produk yang	Warna : tak berwarna

				dipesan	
1.3 Air Proses	Biologi : -Coliform	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Pada saat proses, air akan dipanaskan sehingga bakteri akan mati	1,3 x 10–1,5 x 10 koloni/gr[41]
	Kimia : - Logam berat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Aluminium : max 200 µg/l Timbal : max 25 µg/l Besi : max 250 µg/l pH : 7 Pestisida : max 0,5µg/l [40]
	Fisik : - pasir, kerikil, logam dll	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Turbiditas : max 4 NTU [40]
2. Penyimpanan raw material. 2.1 Biji kopi	Biologi : - jamur, serangga	ya	-	- Menjaga kondisi penyimpanan tetap higienis, kering, dan sejuk - Ada ventilasi udara yang dilengkapi filter dalam gudang.	Jamur = max 3-4% [35]
	Kimia : -Insektisida	Tidak	-	Menjaga kondisi penyimpanan tetap higienis, kering	Insektisida dalam bahan baku kopi max 2%. [37]
	Fisik : - pasir, tanah, dsb	Tidak	-	Menjaga kondisi penyimpanan tetap higienis	Logam, ranting pohon, plastik, tanah, pasir = max 1%

				dan bersih	
2.2 Etil asetat + Etanol	Biologi :	Tidak	-	Menjaga kondisi ruang penyimpanan	-
	Kimia :	Tidak	-	Menjaga kondisi penyimpanan tetap higienis dan tertutup	-
	Fisik :	Tidak	-	Menjaga kondisi penyimpanan tetap higienis dan sejuk	-
2.3 Air Proses	Biologi : - <i>Coliform</i>	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Menjaga kondisi penyimpanan dengan melakukan pembersihan	1,3 x 10–1,5 x 10 koloni/gr[41]
	Kimia : - Logam berat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Menghilangkan kandungan logam berat dengan <i>Ion-Exchanger</i>	Aluminium : max 200µg/l Timbal : max 25 µg/l Besi : max 250 µg/l pH : 7 Pestisida : max 0,5µg/l [40]
	Fisik : - pasir, kerikil, logam dll	Tidak	-	Melakukan penyaringan dengan <i>sand filter</i> untuk menghilangkan pengotor	Turbiditas : max 4 NTU [40]
3. Proses pencucian	Biologi :	Tidak	-	Bakteri dan spora jamur	

	Dalam air : - Coliform			akan mati saat proses <i>roasting</i>	
	Kimia : - logam berat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Air proses telah melewati <i>Ion-exchanger</i>	-
	Fisik : logam, ranting pohon, tanah, pasir, dsb	Tidak	-	Pengotor akan disaring dengan <i>vibrating screen</i>	-
3.2. Pengeringan biji kopi dengan <i>Rotary Drum Roaster</i> (225 °C, 1 jam)	Biologi : mikroba dan jamur dalam <i>Rotary Drum Roaster</i>	Tidak	-	Mikroba (bakteri patogen) otomatis banyak yang mati saat proses <i>roasting</i>	Suhu pengeringan 225°C, dimana pada suhu >62°C bakteri patogen telah mati [37]
	Kimia :	Tidak	-	-	-
	Fisik :	Tidak	-	-	-
3.3. Penghancuran biji kopi dengan <i>Hammer Mill</i>	Biologi : mikroba, Yeast dan jamur dalam <i>Hammer mill</i>	Tidak	-	- Bakteri dan spora jamur akan mati saat proses <i>grinding</i> - Melakukan pembersihan alat secara berkala	Yeast dan jamur = max 100 cfu/gr Suhu <i>grinding</i> 110°C, dimana pada suhu >62°C bakteri patogen telah mati [38]
	Kimia :	Tidak	-	-	-

	Fisik :	Tidak	-	-	-
3.4. Leaching (80 °C, 1 jam)	Biologi : Dalam air - <i>Coliform</i>	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan pembersihan tangki <i>leaching</i> secara berkala	-
	Kimia : Dalam air -logam berat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Aluminium : max 200 µg/l Timbal : max 25 µg/l Besi : max 250 µg/l pH : 7 Pestisida : max 0,5µg/l [40]
	Fisik : Dalam air -Pasir, logam dll	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Turbiditas : max 4 NTU [40]
3.5 Pemisahan padat- cair dengan menggunakan <i>Filter press</i> (80 °C, 1 jam)	Biologi : Dalam air - <i>coliform</i>	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan pembersihan filter press secara berkala	1,3 x 10–1,5 x 10 koloni/gr[41]
	Kimia : Dalam air - Logam berat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Aluminium : max 200 µg/l Timbal : max 25 µg/l Besi : max 250 µg/l pH : 7 [40]

	Fisik : Dalam air - Pasir, logam dll	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	Melakukan uji kelayakan air proses untuk bahan makanan	Turbiditas : max 4 NTU [40]
3.6. <i>Ekstraksi</i> (80 °C, 5 jam)	Biologi : Dalam alat - Mikroba dan jamur dalam tangki ekstraktor Dalam air - <i>coliform</i>	Tidak	-	- Mikroba mati saat proses ekstraksi karena suhu yang tinggi - Melakukan pembersihan tangki ekstraksi secara berkala	Suhu ekstraksi 80°C, dimana pada suhu >62°C bakteri patogen telah mati [38]
	Kimia : -	Tidak	-	-	-
	Fisika : -	Tidak	-	-	-
3.7 Pemisahan cair – cair dengan menggunakan <i>Decanter</i> (60 °C, 5 menit)	Biologi : Dalam air - <i>coliform</i>	Tidak	-	Melakukan pembersihan tangki decanter secara berkala	1,3 x 10–1,5 x 10 koloni/gr[41]
	Kimia :	Tidak	-	-	-
	Fisik :	Tidak	-	-	-
3.7. <i>Evaporasi 1</i> (80°C, 2 jam)	Biologi : Dalam alat - Mikroba dalam evaporator 1 Dalam air - <i>coliform</i>	Tidak	-	Mikroba (bakteri patogen) mati saat proses evaporator	Yeast = max 10 cfu/gr [39] Jamur = max 50 cfu/gr [39] Bakteri aerobik =max100cfu/gr Suhu evaporator 80°C, dimana pada suhu >62°C bakteri patogen telah mati [38]

	Kimia : sisa etanol dan etil asetat	Tidak	Sisa etanol dan etil asetat akan diuapkan lagi dalam <i>spray dryer</i>	-	-
	Fisik : -	Tidak	-	-	-
3.8 Pembuatan powder dengan menggunakan <i>spray dryer</i> (104 °C, 2 jam)	Biologi : - <i>Mesophilic aerobic</i> Bacteria - Yeast dan jamur - <i>Coliform</i> - <i>S.Aureus</i>	Tidak	-	Bakteri dan spora jamur akan mati saat proses <i>spray dryer</i> karena suhunya mencapai 104 °C	<i>Mesophilic Aerobic Bacteria</i> = 180-360 cfu/m ³ [39] Yeast dan jamur = 70 – 430 cfu/m ³ [39] <i>Coliform</i> = 1-3 cfu/m ³ [39] <i>S.Aureus</i> = 1-1,7cfu/m ³ [39]
	Kimia : sisa etanol dan etil asetat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	-	Etanol dan etil asetat = 0,0001 [22]
	Fisik : -	Tidak	-	-	-

3.9. Evaporasi 2 (85°C, 2 jam)	Biologi : Dalam alat - Mikroba dalam tangki evaporator Dalam air - <i>coliform</i>	Tidak	-	Mikroba (bakteri patogen) otomatis banyak yang mati saat proses evaporasi	Yeast = 10 cfu/gr [39] Jamur = 50 cfu/gr [39] Bakteri aerobik = 100 cfu/gr Suhu evaporator 85°C, dimana pada suhu >62°C bakteri patogen telah mati [38]
	Kimia : -	-	-	-	-
	Fisik :-	Tidak	-	-	-
3.10. Pembuatan powder dengan menggunakan spray dryer2 (104°C, 2jam)	Biologi : - <i>Mesophilic aerobic Bacteria</i> - Yeast dan jamur. - <i>Coliform</i> - <i>S.Aureus</i>	Tidak	-	Bakteri dan spora jamur akan mati saat proses <i>spray dryer</i> karena suhunya mencapai 85 °C	<i>Mesophilic Aerobic Bacteria</i> = 180-360 cfu/m ³ [39] Yeast dan jamur = max 70 – 430 cfu/m ³ [39] <i>Coliform</i> = 1-3 cfu/m ³ [39] <i>S.Aureus</i> = 1-1,7cfu/m ³ [39]
	Kimia : sisa etanol dan etil asetat	Tidak	Jika melebihi batas yang diijinkan akan mengganggu kesehatan	-	-
	Fisik : Tidak ada	Tidak	-	-	-
3.11. Pengemasan	Biologi : yeast, jamur, <i>coliform</i> , <i>salmonela</i>	Tidak	-	-	Yeast dan Jamur = max 100 cfu/gr [39] <i>Coliform</i> = max 3 cfu/gr [39] <i>Salmonella</i> = max 5 cfu/25g[39]

	Kimia : tinta cetak pada packing	Tidak	-	-	Tinta (merk, tulisan) pada packing tertulis dengan rapi
	Fisik : ukuran partikel, hasil <i>packing</i>	Tidak	-	Dilakukan sampling setiap <i>batch</i> . Jika melebihi spesifikasi ukuran partikel yang ditentukan maka <i>powder</i> akan direcycle	Ukuran partikel = max 8 mesh[37] <i>Packing</i> - Botol kaca = tidak retak, terlabeli dengan baik dan rapi - <i>Sachet</i> = diisi dengan gas inert, tinta tercetak dengan rapi dan tidak menembus ke dalam. <i>Tercantum shelf-life</i> produk pada label

STEAM JET EJECTOR

Fungsi : memvakumkan ruang dalam barometric condenser

Tekanan yang harus divakumkan = 47,39 Kpa = 6,878 psi

Total uap yang ditangani = 13969,63 kg/jam = 30797,44 lb/jam

Dari Ludwig didapatkan data sebagai berikut :

$W's$ = 3,25 lb steam/lb uap yang ditangani [Ludwig vol I, fig. 6-28B]

K = non condensable load factor = 0,6 [Ludwig vol I, fig. 6-28C]

F = factor tekanan steam = 1,21 [Ludwig vol I, fig. 6-28D]

Kebutuhan steam yang digunakan :

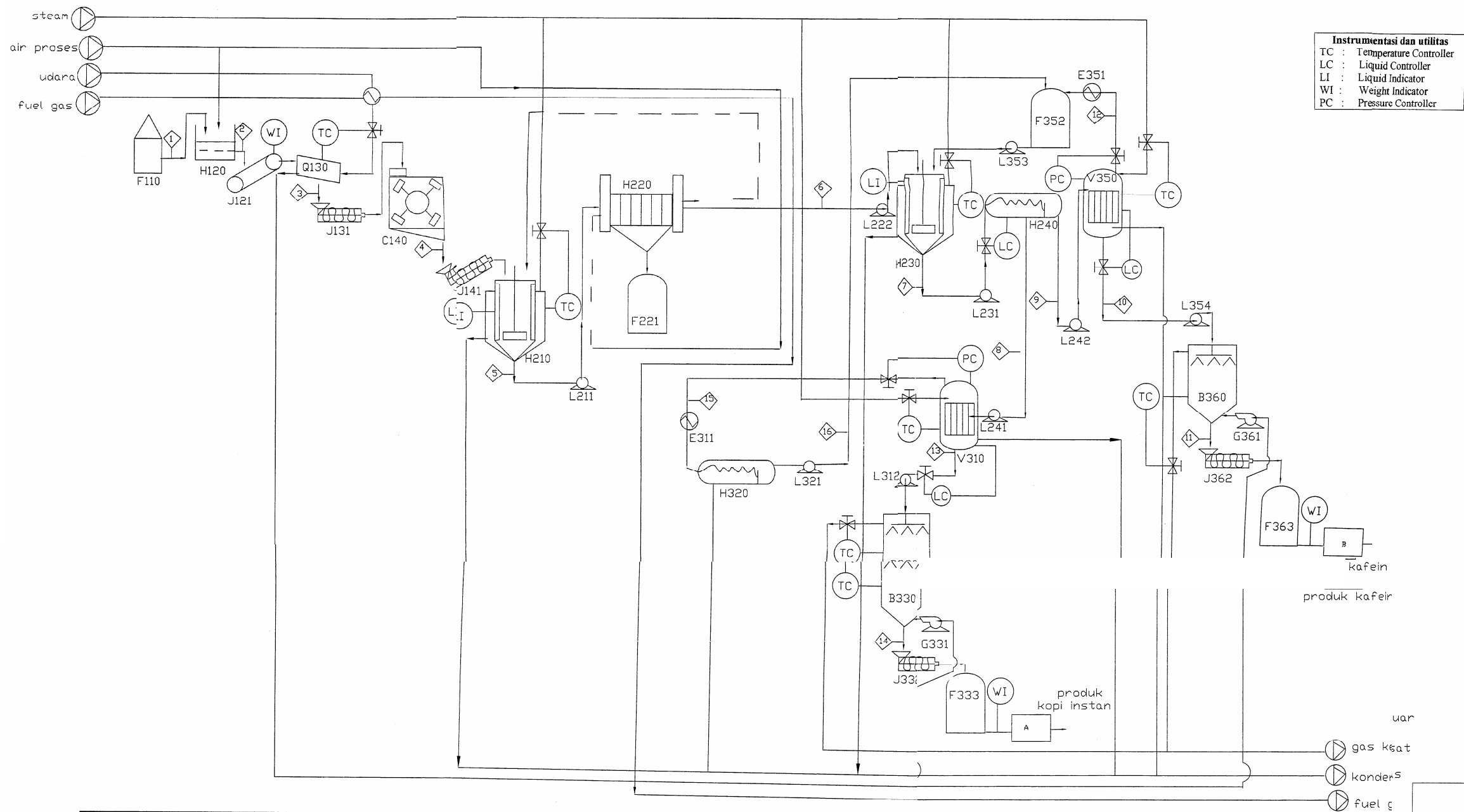
$$\begin{aligned} W_s &= w's \times w_m \times F \times K \\ &= 3,25 \times 30797,44 \times 1,21 \times 0,6 \\ &= 72666,56 \text{ lb/jam} = 32990,62 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Fungsi = memvakumkan ruang dalam barometric condenser

P = 47,39 Kpa

Tipe = *single stage ejector*



Instrumentasi dan utilitas
 TC : Temperature Controller
 LC : Liquid Controller
 LI : Liquid Indicator
 WI : Weight Indicator
 PC : Pressure Controller

Kode	Nama Alat
F110	Ware House
H120	Soaking screen
J121	Belt conveyor
Q130	Roaster
J131	Belt conveyor
C140	Hammer Mill
J141	Screw conveyor
H210	Tangki Leaching
L211	Pompa
H220	Filter press
F221	Tangki penampung cake
L222	Pompa
H230	Tangki ekstraktor
L231	Pompa
H240	Decanter
L241	Pompa
V310	Evaporator 1
L312	Pompa
B330	Spray dryer 1
G331	Blower
J332	Screw conveyor
L321	Pompa
H320	Decanter 2
E311	Condenser 1
L242	Pompa
V350	Evaporator 2
L344	Pompa
B360	Spray dryer 2
G361	Blower
J362	Screw conveyor
E351	Condenser 2
F352	Tangki penampung etil asetat
L353	pompa

Aliran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Mass Stream (kg)																
Karbohidrat	6390	6390	6390	6390	9339,434	5323,5845	5323,5845	5323,5845	0	0	0	0	5323,5845	5323,5845	0	0
Kafein	247,5	247,5	247,5	247,5	306,3118	232,797	232,797	69,839	225,8131	225,8131	225,8131	0	6,9839	6,9839	0	0
Selulosa	3712,5	3712,5	3712,5	3712,5	3712,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air	1485	1485	504,693	504,693	69820,33	66329,311	66329,311	66329,311	0	0	0	0	7995,846	658,834	58333,464	0
Kotoran	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0	0	0	101665,06	8214,5368	93450,522	338,7196	338,7196	93111,803	0	0	8214,5368	7550,8022
Etanol	0	0	0	0	0	0	5350,7926	2916,1819	2434,6106	0	0	2434,611	0	0	2916,1819	1589,3192

Digambar Oleh :
 Monica C.P 5203002044
 Dicky 5203002052
 Shirley P.D 5203002079
 Luna Zahra 5203002083

Flowsheet Prarencana Pabrik Kopi Instan Rendah Kafein

Disetujui oleh

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Setiyadi, MT NIK. 51.88.0137	Antaresti, ST, M.Engg NIK. 521.99.0396

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA
 SURABAYA
 2006**